

erweisen. Ein verknöchertes Ligamentum pterygo-spinosum wird hierbei keine Schwierigkeiten bereiten. Ein verknöchertes Ligamentum crotaphitico-buccinatorium kann dagegen die Punktion unmöglich machen.

Zusammenfassung

Es wird der Verlauf von 2 Ligamenten an der Schädelbasis beschrieben, nämlich des Ligamentum pterygo-spinosum und des Ligamentum crotaphitico-buccinatorium. Zuweilen sind diese ganz oder teilweise verknöchert. In diesem Falle könnten Schwierigkeiten bei der Punktion durch das Foramen ovale entstehen. Jedoch scheint dies nur bei einem ganz oder teilweise verknöchertem Ligamentum crotaphitico-buccinatorium der Fall zu sein. Dieses erweisen Röntgenphotos von anatomischem Schädelmaterial.

Schrifttum

1. Haertel, Fr., Fortschr. Röntgenstr. Nr. 27 (1919/21). — 2. Ders., Med. Klin. Nr. 14 S. 582 (1914). — 3. Götze, Fortschr. Röntgenstr. Nr. 27 (1919/21). — 4. v. Brücke, Röntgenprax. H. 9 (1934).

Aus der Psychiatrischen und Nervenlinik der Reichsuniversität in Utrecht
(Prof. Dr. L. Bouman)

Subtraktion

Eine röntgenographische Methode zur separaten Abbildung bestimmter Teile
des Objekts

Von Dr. B. G. Ziedses des Plantes

Mit 18 Abbildungen

Das Grundprinzip

Bei der röntgenographischen Untersuchung kann man mittels einer einfachen Methode Einzelbilder derjenigen Teile des Objekts erhalten, die nur in einem bestimmten Augenblick aber nicht mehr in einem anderen Augenblick zum schattengebenden Objekt gehören, wie z. B. die kontrastgefüllten Blutgefäße bei der Arteriographie.

Wie die Methode vor sich geht, werde ich an einem einfachen Beispiel klarmachen.

Macht man zuerst ein Röntgenogramm von nebeneinanderliegenden Metallziffern (Abb. 1a) und nachfolgend ein Röntgenogramm, nachdem man die Ziffer 2 entfernt hat (Abb. 1b), so werden

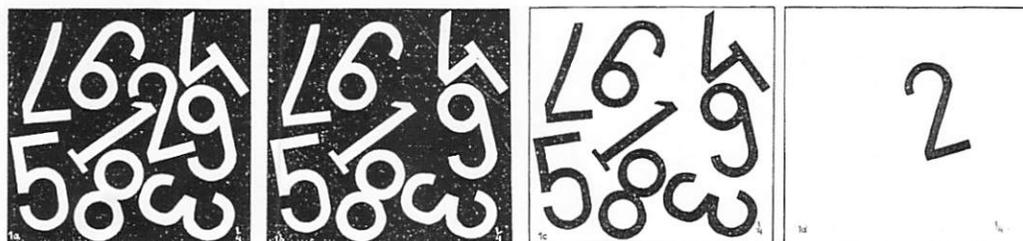


Abb. 1a. Röntgenogramm von nebeneinanderliegenden Metallziffern.

Abb. 1b. Röntgenogramm wie der Abb. 1a, welches nach Entfernung der Ziffer 2 hergestellt wurde.

Abb. 1c. Diapositiv des Röntgenogramms der Abb. 1b.

Abb. 1d. Kopie des Röntgenogramms der Abb. 1a nach Überdeckung mit dem Diapositiv in Abb. 1c.

sich die zwei Bilder dadurch voneinander unterscheiden, daß auf dem ersten Bilde die Ziffer 2 vorkommt und auf dem zweiten nicht. Macht man von dem zweiten Röntgenogramm ein Diapositiv (Abb. 1c) und überdeckt man das erste Röntgenogramm (Abb. 1a) mit diesem Diapositiv, so wird nur die Ziffer 2 sichtbar bleiben. Macht man eine Kopie, so wird man ein separates Bild der Ziffer 2 erhalten (Abb. 1d).

Weil mittels dieser Methode die Differenz zwischen zwei Röntgenogrammen dargestellt wird, habe ich für die Methode den Namen „Subtraktion“ gewählt.

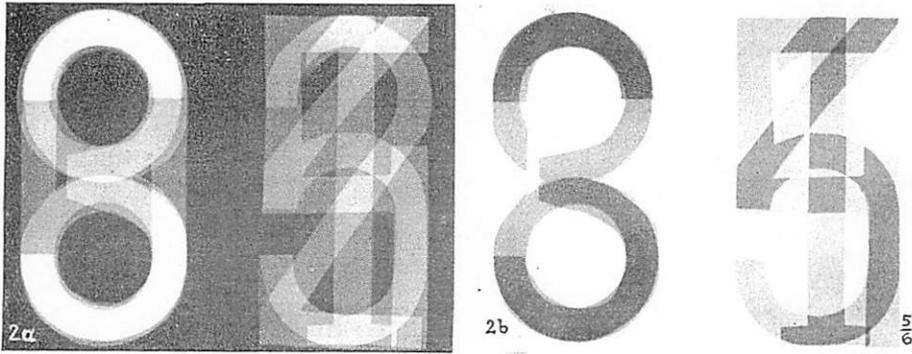


Abb. 2a. Röntgenogramm von sich überdeckenden Metallziffern.

2b. Diapositiv eines Röntgenogramms, welches nach Entfernung der Ziffer 9 und 2 hergestellt wurde.

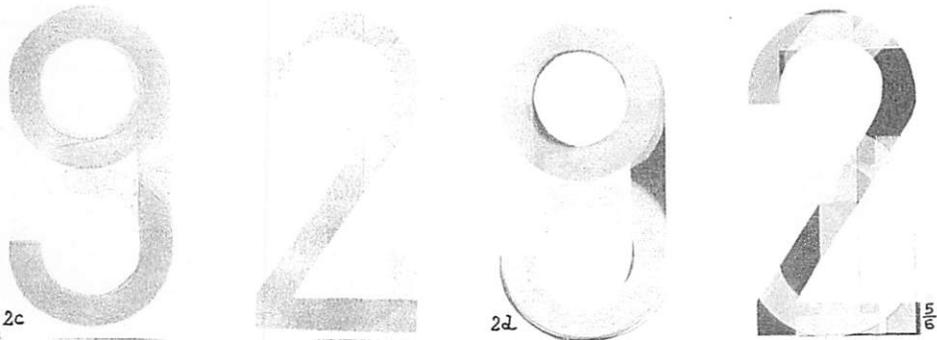


Abb. 2c. Kopie des Röntgenogramms der Abb. 2a, nach Überdeckung mit dem Diapositiv aus Abb. 2b.

Abb. 2d. Analoge Kopie von Röntgenogrammen, welche mit einer zu heterogenen Strahlenmischung gemacht wurden.

Das erwähnte Beispiel ist ganz einfach gewählt worden.

Es liegen alle Metallziffern nebeneinander, man hat also nur mit Weiß und Schwarz zu tun.

Verwickelter wird die Sache, wenn die Metallziffern einander teilweise überdecken. Damit man alsdann mittels der Subtraktion ein separates Bild einer Ziffer erhalten kann, muß an jeder Stelle des Filmes die Schwärzung der Absorptionskapazität im korrespondierenden Objektteile umgekehrt proportional sein.

Die Resultate, welche man so erhalten kann, sind aus der Abb. 2 ersichtlich.

In der Abb. 2a ist ein Röntgenogramm der Ziffern 3, 6, 8 und 9 links und der Ziffern 1, 2, 4 und 5 rechts dargestellt.

Die Abb. 2b zeigt ein Diapositiv von einem Röntgenogramm, welches angefertigt worden ist, nachdem die Ziffern 9 und 2 entfernt worden sind.

Aus der Abb. 2c ist ersichtlich, welches Resultat man erhält, wenn man das Röntgenogramm aus der Abb. 1a mit dem Diapositiv (Abb. 1b) überdeckt.

Es ist hier ein hartes, ziemlich homogenes Strahlengemisch verwendet worden. Die Abb. 2d zeigt das Resultat, welches wir erhalten haben, als ein heterogenes Strahlengemisch benutzt wurde. (Es sei zur Erklärung dieses Falles auf die theoretischen Bemerkungen verwiesen.)

Es ist ohne weiteres klar, daß man in gleicher Weise Kontrastflüssigkeiten, die in der Zeit zwischen zwei Aufnahmen eingebracht worden sind, als separates Bild sichtbar machen kann.

Selbstverständlich müssen die zwei Aufnahmen des Patienten genau unter denselben Bedingungen gemacht werden.

Aus der Abb. 3 ist das Resultat bei der Arteriographie an der Leiche ersichtlich.

Abb. 3a ist die Kopie eines normalen Arteriogramms.

Abb. 3b zeigt das Resultat der Subtraktion. Diese Abbildung ist also eine Kopie, welche man erhält, wenn das Arteriogramm überdeckt wird mit einem Diapositiv eines Röntgenogramms, welches angefertigt wurde, bevor die Blutgefäße mit Kontrastflüssigkeit gefüllt waren.

Bei der Beschreibung der Technik werde ich noch ein Beispiel der Subtraktion bei der Ventrikulographie am Lebenden zeigen (Abb. 6).

Technische Ausführung

Herstellung der Röntgenogramme und Lagerung des Patienten

Selbstverständlich müssen die zwei Aufnahmen, welche man subtrahieren will, so gemacht werden, daß die zwei Bilder (das eine Röntgenogramm und das Diapositiv des anderen Röntgenogramms) einander genau überdecken. Es soll sich also der Patient bei den zwei Aufnahmen genau in derselben Lage zur Röhre und zum Film befinden.

Für die verschiedenen Körperteile wird man dies in verschiedener Weise erreichen können.

Eine besondere Fixationsmethode verwende ich für den Schädel.

Bei der Enzephalographie z. B. ist es notwendig, den Schädel nach der Insufflation wieder genau in dieselbe Lage zu bringen wie zuvor. Wir erreichen es mit einem einfachen Hilfsapparat. Der Apparat besteht aus einer Metallplatte (Abb. 4a), welche die gleiche Form wie die Zahnreihen hat, und die an das Aufnahmegerät angeschraubt werden kann. Nachdem man die Platte erhitzt hat, wird sie beiderseits mit einer Substanz belegt (Abb. 4b), welche bei Erwärmung weich wird und nach Abkühlung wieder hart ist. (Man kann solche Substanz in jedem Geschäft für zahntechnische Apparate erhalten.)

Nachdem die belegte Platte in warmem Wasser (unter der Warmwasserleitung) erwärmt ist, läßt man den Patienten einbeißen und man erhält so einen Abdruck der Zahnreihen (Abb. 4c). Wird die Platte jetzt nach Abkühlung an das Aufnahmegerät festgeschraubt, so wird der Kopf des Patienten jedesmal genau in dieselbe Lage kommen, wenn man den Patienten sich wieder mit den Zähnen in den entsprechenden Gruben festbeißen läßt, wie in der Abb. 5 ersichtlich.

Das Verfahren bei der Enzephalographie geht also folgenderweise vor sich.

Der Patient wird zuerst fixiert, wie in Abb. 5 ersichtlich.

Es bleiben dann die Röhre, Einbeißapparat und Buckyblende mit Kassettenhalter an Ort und Stelle.

Es wird alsdann der Patient insuffliert, welcher Eingriff in einem separaten Operationszimmer vorgenommen werden kann. Nach der Insufflation legt man den Patienten wieder auf das Aufnahmegerät (oder setzt ihn wieder vor das Gerät) und läßt ihn wieder einbeißen. Es kann jetzt die zweite Aufnahme gemacht werden.

Wie zwei derart gemachte Aufnahmen sich genau überdecken, ist ersichtlich aus der Abb. 6. Die Abb. 6a zeigt ein gewöhnliches Ventrikulogramm; Abb. 6b eine Kopie, welche hergestellt wurde nach Überdeckung mit dem Diapositiv einer Aufnahme, welche vor der Insufflation gemacht worden war.

Es ist auch möglich, stereoskopische Bilder anzufertigen. Man braucht dann nur die Röhre nach der Insufflation an den zwei gleichen Stellen zu bringen wie zuvor.

Schon oben wurde erwähnt, daß die Schwärzungen im Röntgenogramm möglichst der Absorptionskapazität an verschiedenen Stellen des Objekts umgekehrt proportional sein müssen, damit man ein gutes Differentialbild erhält.



Abb. 3a. Gewöhnliches Arteriogramm des Schädels (a. p.) nach Einspritzung von Thorotrast in die Arteria carotis communis.

Es müssen also die Schwärzungen im geradlinigen Teil der Gradationskurve des Filmes liegen und es muß eine ziemlich harte, homogene Strahlung verwendet werden.

Für wenig absorbierende Körperteile soll man also noch ein Kupferfilter verwenden. Die Aufnahmen vom Schädel können ohne besondere Filter gemacht werden, weil die weichen Strahlen größtenteils schon im Objekt selbst absorbiert werden.

Die Herstellung der Diapositive

Die Herstellung der Diapositive kann auf zwei verschiedene Arten vor sich gehen. Erstens kann man eines der Röntgenogramme bei der Entwicklung sofort umkehren. Wir haben die Technik verwendet, wie sie von E. Forster vorgeschlagen wurde.

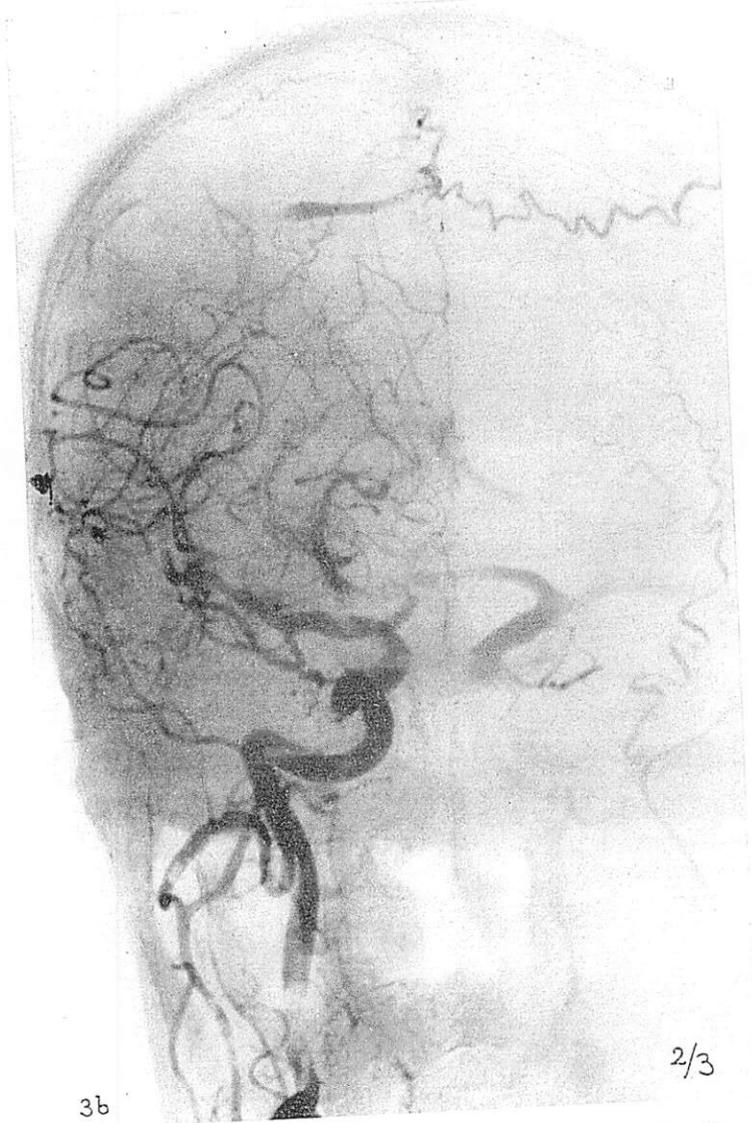


Abb. 3b. Das Resultat der Subtraktion. Es ist auch die Kontrastfüllung des Kapillargebietes sichtbar.

Es hat diese Arbeitsweise den Vorteil, daß das Diapositiv genau das umgekehrte Originalbild ist. Es bestehen jedoch zwei große Nachteile.

Erstens ist das Verfahren sehr zeitraubend.
Zweitens ist die Gesamtschwärzung, wenn man Diapositiv und Negativ aufeinanderlegt, ebenso groß wie die maximale Schwärzung, welche der Film geben kann.

Man kann also Negativ samt Diapositiv nicht in Durchsicht betrachten, sondern muß Kopien machen. Wir verwenden darum diese Methode nicht mehr und machen jetzt die Diapositive, indem wir auf weich arbeitenden photographischen Filmen kopieren.

Es ist uns gelungen, Material zu wählen, wo die Schwärzungen des Diapositivs diejenige des Negativs in dem in Betracht kommenden Gebiete ziemlich genau ausfüllen.

Es braucht die maximale Schwärzung im Diapositiv nicht groß zu sein, und zwar aus folgendem Grunde.

Wenn man z. B. ein Röntgenogramm des Schädels betrachtet, so könnte die Schwärzung im Gebiete des Hirnschädels 1,7, im Gebiete des Gesichtschädels 2,7 und außerhalb des eigentlichen Bildes 4,3 sein, wie in einem Durchschnittsfall, wo wir die Schwärzungen gemessen haben. Will man



Abb. 4. Metallgerüst. — Metallgerüst, bekleidet mit „Kerr“. — Der Hilfsapparat mit Abdruck der Zahnreihen. Hilfsapparat zur Fixierung des Patienten.

jetzt z. B. Luft im Hirnschädel mittels der Subtraktion separat darstellen, so braucht das Diapositiv nur die Schwärzungen bis zu 1,7 auszufüllen. Will man auch noch etwas im fazialen Schädelgebiete sichtbar machen, so braucht man ein Diapositiv, das bis zu 2,7 die Schwärzungen ausfüllt.

Im allgemeinen soll man die Schwärzungen des Diapositivs nicht zu groß wählen. Oft ist es sogar erwünscht, daß sie relativ geringer sind, damit noch etwas vom Allgemeinbild sichtbar bleibt und man z. B. nicht nur Kontrastflüssigkeit sieht.

Es bleibt noch die Frage, von welchem Röntgenogramm man das Diapositiv herstellen soll.

Im allgemeinen haben wir die besten Erfolge gehabt, wenn das Differentialbild im Durchsicht hell auf dunklem Grunde erscheint.

Bei der Arteriographie kann man das Diapositiv also am besten vom Röntgenogramm ohne Kontrastfüllung und bei der Enzephalographie vom Röntgenogramm mit Luftfüllung anfertigen.

Theoretische Bemerkungen

Wenn man überlegt, was bei der Subtraktion eigentlich geschieht, so hat man mit Addierung und Subtraktion von Schwärzungen zu tun.

Es ist jedem Röntgenologen geläufig, daß man die Schwärzungen (Logarithmen des Quotienten der auffallenden und durchgelassenen Lichtintensität) zweier Filme addiert, wenn man die Filme aufeinanderlegt.

Nehmen wir jetzt an, daß wir die Kontrastflüssigkeit in einem Blutgefäß mittels der Subtraktion als separates Bild darstellen wollen. Betrachten wir einen überall gleich dicken Anteil des Gefäßes, so wird man auf dem Subtraktionsbild auch überall dieselbe Schwärzung erhalten, wenn auf dem originalen Röntgenogramm der Schwärzungsunterschied zwischen Gefäßbild und Umgebung überall der gleiche war.

Im allgemeinen wird der Schwärzungsunterschied zwischen dem Gefäßbild und der nächsten Umgebung in verschiedenen Anteilen des Bildes ungleich groß sein. Wo z. B. auf dem Arteriogramm das Schattenbild eines Gefäßes von dem Schatten des Orbitaldaches überdeckt ist, wird der Schwärzungsunterschied zwischen dem Bild des Orbitaldaches und dem Gefäßbild an dieser Stelle im allgemeinen geringer sein als der Schwärzungsunterschied an einem helleren Anteil des Bildes.

Auf dem Subtraktionsbild wird man also an der Stelle des Orbitaldaches auch eine Aufhellung des Gefäßbildes wahrnehmen.

Damit man ein überall gleiches Bild des Blutgefäßes erhält, soll die Schwärzung überall der totalen Absorptionskapazität der sich im Bilde überdeckenden Teile umgekehrt proportional sein.

Was die Schwärzungen im Diapositiv betrifft, so ist es selbstverständlich, daß die Summe der Schwärzungen im Diapositiv und im Negativ, von dem es gemacht worden ist, an allen Stellen denselben Wert haben soll.

Um die Sache klarzumachen, sind in der Abb. 7 die verschiedenen Bilder von einem Blutgefäß und seiner Umgebung stark schematisiert dargestellt worden.

I ist das Röntgenogramm, welches bei Kontrastfüllung eines Blutgefäßes gemacht worden ist.

Man sieht in diesem Bilde den Gefäßschatten, welcher von verschiedenen starken Schatten anderer Objektteile überdeckt ist.

II ist das Röntgenogramm ohne Kontrastfüllung.

III ist das Diapositiv von II.

IV ist das Resultat, welches man erhält, wenn man I und III aufeinanderlegt und in der Durchsicht betrachtet.

Betrachten wir jetzt die korrespondierenden Stellen 1, 2, 3, 4, 5 und 6 in den verschiedenen Bildern.

Es sind die Schwärzungen an den verschiedenen Stellen im Bilde I

$a; b; c; (a - x_1); (b - x_2)$ und $(c - x_3)$.

Sie sind dann im Bilde II entsprechend

$a; b; c; a; b;$ und c .

Sei die Totalschwärzung, wenn man die Bilder II und III gegenseitig überdeckt, m , so ist die Schwärzung im Bilde III an den verschiedenen Stellen

$(m - a); (m - b); (m - c); (m - a); (m - b)$ und $(m - c)$.

Überdeckt man jetzt I mit III, so wird also die Schwärzung an den verschiedenen Stellen im Bilde IV

$(a + m - a); (b + m - b); (c + m - c); (a - x_1 + m - a); (b - x_2 + m - b)$

und

$(c - x_3 + m - c)$,

oder umgerechnet: $m; m; m; (m - x_1); (m - x_2)$ und $(m - x_3)$.

Haben x_1, x_2 und x_3 denselben Wert, so wird man also ein homogenes Bild des Blutgefäßes (mit einer Aufhellung x) wahrnehmen.

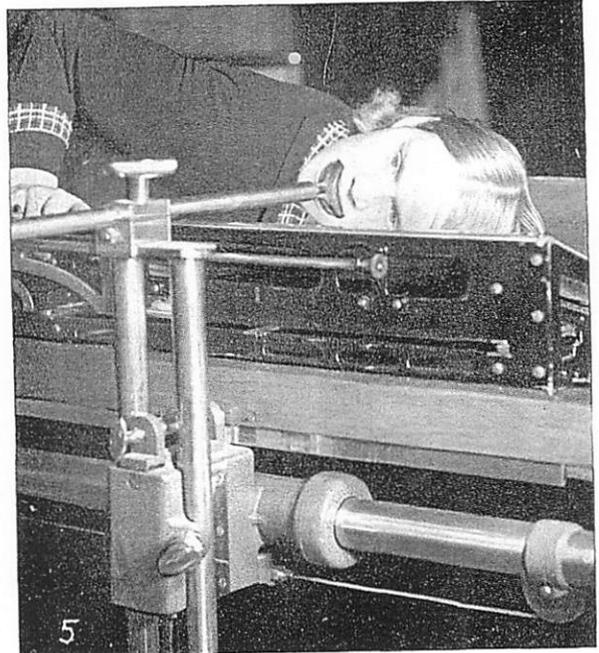


Abb. 5. Die Fixierung einer Patientin während der Aufnahme mittels des Hilfsapparates der Abb. 4.

In der Abb. 2d ist das Resultat ersichtlich, welches man erhält, wenn x_1 , x_2 und x_3 nicht denselben Wert haben, wenn also der Schwärzungsunterschied zwischen einem bestimmten Bildteil und der Umgebung nicht überall denselben Wert hat.

Betrachtet man ein Objekt, welches, was den Absorptionskoeffizienten betrifft, homogen ist, so kann man also sagen:

Bei einem gewissen Dickenunterschied des Objekts soll an allen Stellen des Röntgenogramms ein konstanter Schwärzungsunterschied erzeugt werden, oder m. a. W. es soll die Schwärzung des



Abb. 6a. Ventrikulogramm eines Patienten mit Verschuß des Aquaeductus Sylvii.

Röntgenogramms an jeder Stelle der Dicke der absorbierenden Schicht (im Objekt) umgekehrt proportional sein.

Man könnte auch sagen, es soll der Quotient der Differentiale der Schwärzung und der Objektdicke $\left(\frac{dS}{dD}\right)$ konstant sein.

Es bestehen also folgende zwei Bedingungen für ein gutes Gelingen der Subtraktion:

1. Die Schwärzung des Röntgenogramms muß an jeder Stelle der Absorptionskapazität des korrespondierenden Objektteiles umgekehrt proportional sein.
2. Die Summe der Schwärzung des Diapositivs und des Röntgenogramms, von dem es angefertigt worden ist, muß an jeder Stelle des Bildes denselben Wert haben.

Daß für die Erfüllung der ersten Bedingung ein homogenes Strahlengemisch notwendig ist, wird aus der Abb. 8 klar.

Es ist dort bei *a* das Verhältnis zwischen Dicke der absorbierenden Schicht (*D*) und Schwärzung (*Z*) angegeben, und zwar gestrichelt für ein homogenes, ausgezogen für ein heterogenes Strahlengemisch.

Bei *b* ist eine Metalltreppe angegeben, mittels deren das Röntgenogramm angefertigt wurde, in welchem die Schwärzungen von uns gemessen worden sind.

Aus der Abbildung ist ohne weiteres klar, daß die Schwärzungsunterschiede bei bestimmten Differenzen der Dicke des Objekts an verschiedenen Stellen des Filmes sehr verschieden sind, wenn man ein heterogenes Strahlengemisch benutzt.



Abb. 6b. Das Resultat der Subtraktion. Eine Kopie nach Überdeckung des Röntgenogramms ohne Luft, mit dem Diapositiv des Ventrikulogramms.

Benutzt man eine mehr homogene Strahlenmischung, so sind die Differenzen einander mehr gleich. In der Abbildung sind diese Differenzen bei *c* noch einmal gesondert angegeben.

Dieser Teil der Abbildung gibt also eine Darstellung des Verhältnisses zwischen Quotient der Differenziale von Schwärzung und Dicke der absorbierenden Schicht $\left(\frac{dZ}{dD}\right)$ einerseits und der Dicke der absorbierenden Schicht (*D*) andererseits.

Praktische Anwendungen des Verfahrens

Wie schon oben erwähnt wurde, kann die Methode mit Erfolg verwendet werden bei der Arteriographie, wie z. B. aus der Abb. 3 ersichtlich ist. Nicht nur werden Gefäße, die sonst von der Knochen-

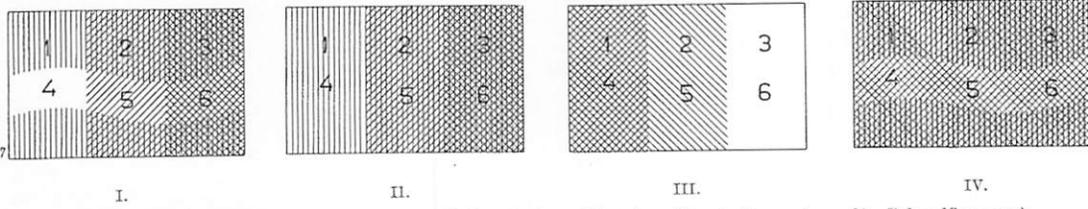


Abb. 7. Schematische Darstellung der Subtraktion. (Man beachte insbesondere die Schraffierung.)

I. Teil eines Arteriogramms. II. Entsprechender Teil des Röntgenogramms ohne Kontrastfüllung. III. Diapositiv des Röntgenogramms II. IV. Resultat, wenn man I und III aufeinanderlegt und in Durchsicht betrachtet.

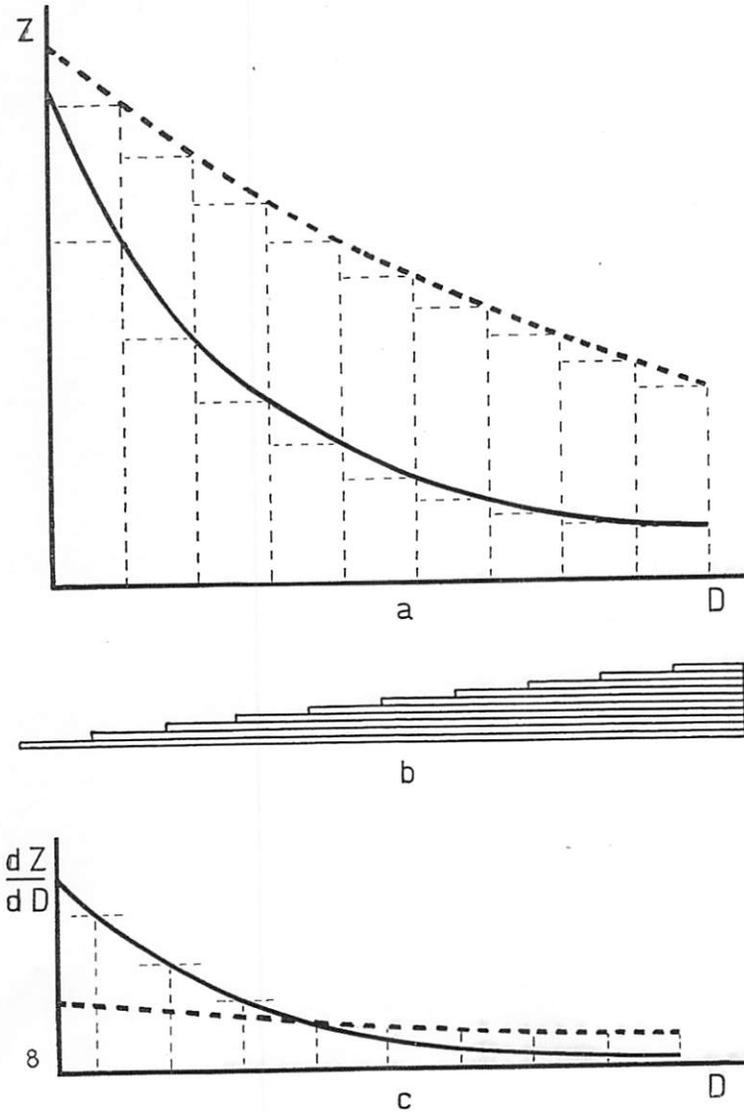


Abb. 8.

zeichnung zuviel überdeckt werden, gesondert sichtbar, es ist auch möglich, einen Eindruck von der Füllung des Kapillargebietes zu erhalten.

Bei der Enzephalographie und der Ventrikulographie kann die Deutung des Bildes mittels der „Subtraktion“ oft sehr erleichtert werden. Auch bei der Myelographie haben wir schon gute Resultate erhalten.

Die Anwendungsmöglichkeiten sind nicht nur beschränkt auf die Gebiete, wo man Kontrastflüssigkeiten benutzt.

Man kann auch Skeletteile, die bei einer Operation entfernt worden sind, als separates Bild darstellen, sowie eigentlich alle anderen Veränderungen des Objekts.

Nicht nur Teile des schattengebenden Objekts, die in einem Augenblick vorhanden sind und in einem anderen Augenblick nicht, kann man separat abbilden.

Wenn ein bestimmter Teil des Objekts während der einen Aufnahme sich bewegt und während einer anderen Aufnahme in Ruhe ist, so wird der in Betracht kommende Teil auf dem ersten Bilde nur einen verwischten Schatten und auf dem zweiten Bilde einen scharfen Schatten erzeugen.

Subtrahiert man jetzt, so wird man wieder ein separates Bild des bewegten Objektteiles erhalten.

Schließlich kann man mittels der Subtraktion von zwei mit kurzer Zwischenzeit gemachten Bildern die Bewegung der Organe nachkontrollieren. Dort, wo die Organe (z. B. die pulsierenden Arterien in der Brusthöhle) sich bewegt haben, wird man Doppelschatten wahrnehmen, während alle anderen Teile des Bildes verschwinden.

Es wird die Methode von uns noch zu kurz verwendet, um die Wichtigkeit der verschiedenen Anwendungen beurteilen zu können. Erst die Zukunft wird zeigen, wo es sich lohnt, das an sich einfache Verfahren zu benutzen.

Zusammenfassung

Es werden nacheinander zwei analoge Röntgenogramme desselben Objektes angefertigt, und zwar vor und nach einer Abänderung des Objektes, z. B. vor und nach der Einspritzung einer Kontrastflüssigkeit.

Überdeckt man das eine Röntgenogramm mit dem Diapositiv des anderen, so erscheint die Differenz (z. B. der Schatten der Kontrastflüssigkeit) als separates Bild.

Das Verfahren erfordert bestimmte Schwärzungsverhältnisse im Film und im Diapositiv. Es gibt also bestimmte Bedingungen hinsichtlich der Strahlenmischung, der Dicke der Silberschicht usw.

Es wird für die Schädelaufnahmen eine spezielle Fixationsmethode angegeben, um den Schädel für beide Aufnahmen genau in dieselbe Lage bringen zu können.

Schrifttum

Forster, E., Verfahren zur Herstellung direkter Röntgenpositive, Röntgenpraxis 4 S. 182. — Ziedses des Plantes, B. G., Een methode om bepaalde onderdeelen van het röntgenologisch te onderzoeken voorwerp afzonderlijk in beeld te brengen, Nederl. Tijdschr. Geneesk. 78 S. 762 (1934). — Derselbe, Planigraphie en Subtractie, Röntgenographische Differentiatiemethoden, Kemink en Zoon N. V., Utrecht (1934). — Derselbe, Planigraphie und Subtraktion. Bericht des IV. Intern. Rad.-Kongr. in Zürich 2 S. 173.