

III

N.º 37

António Pedro Ferreira de Carvalho

Radioterapia

TESE DE DOUTORAMENTO

apresenta á

FACULDADE DE MEDICINA DO PORTO



19513 FMP

Porto - 1921.

proprietário

N.º 37

António Pedro Pereira de Carvalho

Radioraynia

Radioraynia

❧ Composição e impressão—Tipografia «MINERVA» de Cruz, Sousa & Barbosa, Lim.ª—Famalicão.—Escritório no Porto: R. 31 de Janeiro, 165-1.º—Portugal

1967-1981

António Pedro Ferreira de Carvalho

Radioterapia

TESE DE DOUTORAMENTO

apresenta á

FACULDADE DE MEDICINA DO PORTO



Porto - 1921.

Faculdade de Medicina do Pôrto

DIRECTOR

Prof. Dr. Maximiano Augusto de Oliveira Lemos

SECRETÁRIO

Prof. Dr. Alvaro Teixeira Bastos

CORPO DOCENTE

PROFESSORES ORDINÁRIOS

Anatomia descritiva	Prof. Dr. Joaquim Alberto Pires de Lima.
Anatomia topográfica	Prof. Dr. Hernani Bastos Monteiro
Histologia e Embriologia	Prof. Dr. Abel de Lima Salazar
Fisiologia geral e especial	Prof. Dr. Antônio de Almeida Garrett
Farmacologia	Prof. Dr. José de Oliveira Lima
Patologia geral	Prof. Dr. Alberto Pereira Pinto de Aguiar
Anatomia patológica	Prof. Dr. Augusto Henrique de Almeida Brandão
Bacteriologia e Parasitologia	Prof. Dr. Carlos Faria Moreira Ramalhão
Higiene	Prof. Dr. João Lopes da Silva Martins Júnior
Medicina legal	Prof. Dr. Manuel Lourenço Gomes
Medicina operatória e pequena cirurgia	Prof. Dr. Antônio Joaquim de Sousa Júnior
Patologia cirúrgica	Prof. Dr. Carlos Alberto de Lima
Clinica cirúrgica	Prof. Dr. Alvaro Teixeira Bastos
Patologia médica	Prof. Dr. Alfredo da Rocha Pereira
Clinica médica	Prof. Dr. Tiago Augusto de Almeida
Terapêutica geral	Prof. Dr. José Alfr. ^o Mendes de Magalhães
Clinica obstétrica	Vago (1)
História da Medicina e deontologia	Prof. Dr. Maximiano Augusto de Oliveira Lemos
Dermatologia e Sifilografia	Prof. Dr. Luís de Freitas Viegas
Psiquiatria	Prof. Dr. Antônio de Sousa Magalhães e Lemos
Pediatria	Vago (2).

PROFESSORES JUBILADOS

José de Andrade Gramaxo }
Pedro Augusto Dias } Lentes catedráticos

(1) Cadeira regida pelo Prof. livre Manuel António de Moraes Frias.

(2) Cadeira regida pelo Prof. ordinário António de Almeida Garrett.



A' saúdosa memória de

meu Pai

Com profunda saúdade desfolho
sôbre a vossa campa estas humil-
des flores, preito de homenagem e
veneração.



A MINHA MÃE

Jâmais o meu reconhecimento po-
derá igualar o vosso sacrificio.

A MEU PADRASTO

Nunca esquêcerei o que vos devo.
Obrigado pela vossa franca e
leal amizade.

A minha Espôsa

*Este livro também é teu,
porque simboliza uma das
tuas grandes aspirações.*

A meus filhos

Fernanda e Jorge

A meu Irmão Augusto

A grandeza de teu carácter renderá proito
a minha eterna gratidão. Obrigado pela tua
dedicação incomparável.

A minha Cunhada Austrílica
e a meus Sobrinhos

A minha dedicação

A meus Irmãos

Adelaide
Luís
Luciano

Os meus verdadeiros amigos.

A' memória de meu Sogro

A minha Sogra

Obrigado por tudo.

A meus Cunhados

A meus Sobrinhos.

Ao Ilustre Corpo Docente

da

Faculdade de Medicina do Porto

Ao meu Ilustre Presidente de tese

Dr. Álvaro Teixeira Bastos

Homenagem ao vosso saber.



Duas palavras

Este livro obedece a um fim único — o cumprimento da lei — que me não permite o livre exercício da clínica sem que elle exista.

Saído ontem da Escola, sem o estudo especializado da radiologia, parecerá estranho, àqueles que hão-de apreciar este trabalho, que eu tenha abordado assunto de tanto interêsse.

Foi a minha entrada para os serviços de Radiologia no Hospital de S. Marcos, em Braga, e o gôsto que tenho por trabalhos desta natureza, que resolveram

a escolha do assunto. E', portanto, este livro o fruto duma aprendizagem aturada, a sùmula de dois anos de trabalho, com vontade de saber.

Era natural que, tratando-se de uma terapêutica nova, algumas observações clínicas viessem atestar a veracidade do que escrevo sôbre a cura pelos raios de Röntgen; assim será e, sempre que me seja possível, chamarei em meu auxílio a opinião abalisada dos grandes mestres da radioterapia, mas não apresentarei observações senão de doentes tratados por mim, sob uma técnica por vezes minha, e que curaram radicalmente ou sofreram melhoras consideráveis pela acção dos raios X, sem que nenhum tratamento adjuvante os viesse auxiliar.

Terminarei estas singelas palavras apresentando os meus mais vivos protestos de agradecimento aos Ex.^{mos} Senhores Dr. Henrique Teles e Dr. Manuel Bragança, que tam gentilmente puseram ao meu dispor o seu vastíssimo saber, contribuindo assim para levar a cabo êste trabalho, pois que, sem o seu auxilio, os meus esforços resultariam inúteis.

Pedirei também ao douto júri que me ha-de julgar, que considere o meu trabalho como o que é — o livro dum principiante — e que me leve em conta os erros que nêle encontrarem.

Natureza dos raios X

Quando a descarga eléctrica se dá no ar, produz-se sob os aspectos bem conhecidos do arco, fâisca e eflúvio eléctricos.

Se a descarga se dá no vazio toma aspectos variados, segundo a rarefacção dos gases.

A passagem da fâisca num tubo contendo um gás rarefeito, isto é, um tubo de Krookes ou de Geissler, traduz-se por fenómenos luminosos característicos para cada pólo.

A uma pressão de poucos milímetros de mercúrio, parte do pólo positivo, ou anodo, uma coluna luminosa,

a luz positiva, de coloração variável segundo o gás contido no tubo e que se dirige para o catodo, não chegando todavia a atingi-lo, ficando sempre separada dêle pelo chamado espaço obscuro de Faraday.

Se por cima do tubo se coloca um íman, vê-se o feixe luminoso inflectir-se para o seu lado, retomando depois a direcção inicial.

Continuando a rarefazer o gás a luz positiva alonga-se, empalidece mais-e-mais, e acaba por desaparecer.

A luz negativa é muito menos extensa que a luz positiva. Ela fórma apenas uma baínha luminosa em volta do catodo, muito pouco espêssa.

Esta baínha aumenta em espessura e superficie, acabando por envolver todo o catodo, se se leva a rarefacção do gás muito longe.

A luz negativa nunca toca a superficie do catodo, ficando sempre separada dêle pelo espaço obscuro de Hittorff, que aumenta proporcionalmente à rarefacção do gás.

Quando a pressão no interior do

tubo atinge $0^{\text{m}},001$ de mercúrio, temos realizado um tubo de Krookes e vê-se então aparecer o feixe negativo ou feixe catódico (Wiedmann).

Neste grau de rarefacção a luz positiva já não existe; o espaço obscuro de Hittorff tem então alguns milímetros de extensão. Do catodo, parte um feixe luminoso, contrastando pela sua maior luminosidade com o resto da luz negativa. Êste feixe não termina no anodo: partindo do catodo, normalmente à sua superfície, caminha sempre em linha recta, seja qual fôr a posição do anodo. Se o catodo tem a fórma de um espelho côncavo, o feixe catódico toma a fórma de um cone cujo vértice coïncide com o foco do espelho.

Continuando ainda a rarefazer o gás, o feixe catódico vai-se reduzindo cada vez mais até se transformar em um pequeno pincel luminoso, quasi cilíndrico e que parte do vértice do espelho catódico.

No ponto onde êste feixe choca a parede do tubo, aparece uma mancha,

verde ou azul, segundo a natureza do vidro.

Os raios catódicos gozam de propriedades notáveis; êles representam um estado particular da matéria, o *estado radiante*.

O seu estudo levou à conclusão de que são constituídos por corpúsculos electrizados negativamente, verdadeiros projecteis, transportando-se com uma velocidade média considerável de 40 a 50:000 quilómetros por segundo, ou seja cêrca de $\frac{1}{6}$ da velocidade da luz. Esta velocidade varia com a diferença de potencial nos electrodos do tubo: pôde descer a 20:000 quilómetros, ou subir a 150:000 por segundo.

Estas determinações são simples médias, porque o feixe catódico não é homogêneo; comprehende corpúsculos de velocidades diferentes, dando, pelo seu desvio desigual sob a acção de um campo magnético, um verdadeiro espectro.

Numerosas experiências mostram que o quociente da carga eléctrica

dos corpúsculos catódicos pela sua massa é constante nas diversas condições experimentais e permite caracterizar o corpúsculo de electricidade negativa e pensar que a carga e a massa são constantes (Turpain). O corpúsculo catódico aparece assim como a unidade de electricidade negativa, o átomo de electricidade (Jaugeas). Designa-se pelo nome de *eléctron*.

Se a carga do *eléctron* é igual à carga do átomo do hidrogéneo libertado pela corrente eléctrica nas soluções electrolíticas, a massa do *eléctron* é 1:800 vezes menor do que a do átomo do hidrogéneo que constitue a mais pequena quantidade de matéria conhecida. A concepção do *eléctron* é das mais fecundas da física moderna que pôde chamar-se a física electrónica; intervém na interpretação de um grande número de fenómenos e encontra-se na base das teorias modernas sôbre a constituição da matéria.

«O *eléctron* constitue a carga elé-

ctrica individual do ião electrolítico, a causa da valência química dos átomos; pertence à estrutura do átomo, representado por um centro, em volta do qual um conjunto de eléctrons está em evolução rápida; é o agente perturbador causa das radiações térmicas e luminosas; é a causa da corrente eléctrica. A sua existência independente dos raios catódicos e dos raios β do rádio, permitiu o estudo dos seus caracteres próprios; deve ser considerado como desprovido de suporte material, sendo a sua massa de origem exclusivamente electromagnética.» — Jaugeas.

Os eléctrons proveem de duas origens: uns são trazidos pela corrente, outros resultam da dissociação das moléculas do gás residual. Efectivamente os gases residuais de uma empôla de Crookes em funcionamento sofrem uma dissociação dos seus átomos em corpúsculos positivos que se dirigem para o catodo, *raios canais*, e negativos, eléctrons, que se dirigem para o anodo, raios catódicos.

Por outro lado, a corrente eléctrica é considerada hoje como a resultante de um transporte de eléctrons, concepção esta baseada na teoria electrónica dos metais: — Todo o metal encerra eléctrons em estado livre, provenientes da dissociação de alguns dos seus átomos; o átomo privado de um eléctron (carga negativa), transforma-se em um ião (carga positiva). O eléctron livre, em estado de agitação permanente apresenta movimentos da mesma natureza que os das partículas gasosas na teoria cinética dos gases; é móvel nos metais como as partículas de água nos poros de uma esponja (Langevin).

Se o eléctron encontra um ião, recombinam-se, e dão um átomo neutro. Estes fenómenos espontâneos, independentes de toda a causa exterior, repetem-se muitas vezes por segundo. Os metais serão então constituídos por átomos neutros, iões positivos e em número igual de eléctrons.

Conhecemos assim a natureza e origem do feixe catódico.

William Röntgen, (físico alemão nascido em Lennep em 1845), quando em 1895, no laboratório de Würzburg, procedia a várias experiências com um tubo de Crookes encerrado em uma caixa de cartão negro, notou que um fragmento de platinocianeto de bário, colocado fóra da caixa, se tornava vivamente luminoso.

Êste fenómeno não podia ser attribuído aos raios catódicos que Röntgen sabia serem incapazes de atravessar o cartão; nestas condições êle concluiu tratar-se de uma nova espécie de radiações que, em virtude das suas propriedades desconhecidas, denominou *raios X*.

Vejâmos qual é a origem dos raios X.

Como disse, os corpúsculos catódicos possuem uma certa fôrça viva, que, segundo o princípio da conservação da energia, não póde ser aniquilada.

O feixe catódico chocando com um obstáculo qualquer a fôrça viva dos seus corpúsculos é transformada

e libertada sob várias fórmãs: energia calorífica, química, luminosa e raios X.

Os raios de Röntgen são, pois, originados pelo choque de eléctrons sôbre as paredes da empôla ou sôbre o anodo dos tubos de Krookes.

Nos tubos de Krookes, em que o feixê catódico cai sôbre a parede de vidro, é toda a região iluminada que emite raios X; mas Röntgen observou que havia grande vantagem em empregar a platina para esta transformação de energia, por razões que adiante veremos, e nos primitivos tubos especiais para produção de raios X o fluxo catódico cai sôbre uma lâmina de platina iridiada, o *anticatodo*.

Estabelecida assim a natureza dos raios X, vamos estudar as suas propriedades gerais.

Propriedades gerais dos raios X

Todo o ponto batido pelos raios catódicos emite raios X duma maneira igual em todos os sentidos.

Os raios X não transportam electricidade e não são desviáveis pelos ímans, o que os distingue dos raios catódicos. Provocam a descarga dos corpos electrizados, quer positiva, quer negativamente e êste efeito dá-se mesmo que os raios X não toquem a superfície do corpo electrizado; basta que atravessem o gás que os circunda.

Sob a influência dos raios X a explosão de uma fâisca entre dois

condutores eléctricos dá-se muito mais facilmente.

E' muito intensa a acção dos raios de Röntgen sôbre os corpos fosforescentes e fluorescentes. Debaixo da sua acção o vidro da empôla toma uma coloração verde se é de base cálcio, potássio ou sódio, e azul se é de base chumbo. Os corpos mais sensíveis aos raios X são o tungstato de cálcio, o platinocianeto de potássio e, sobretudo, o platinocianeto de bário no estado cristalizado que emite uma bela côr amarela e serve para o fabrico dos *écrans* radioscópicos.

Os raios de Röntgen gozam também de propriedades químicas: impressionam as chapas fotográficas e as diversas soluções usadas em fotografia apresentam a mesma sensibilidade para os raios X, que para as radiações luminosas.

Pelas propriedades químicas, luminescentes e actínicas, os raios X apròximam-se das radiações ultravioletas; parecia diferenciarem-se pelas suas leis de propagação, pois, ao pas-

so que as radiações ultravioletas apresentavam fenómenos de reflexão, refração, difracção, interferência e polarização, nenhuma destas propriedades podia ser afirmada, duma maneira certa, nos raios X. Mas recentemente tem-se provado fenómenos de difracção (Friedrich, Knipping e Lane) e polarização (Barkla e Haga) que tendem a confirmar a hipótese de que os raios X são *radiações de ordem luminosa situados na escala das radiações muito além das ultravioletas, isto é, de comprimento de onda muito mais curto que estes.*

Assim como as radiações luminosas e ultravioletas se dividem numa série infinita de variedades caracterizadas por propriedades diferentes, posto que pertencendo a uma mesma forma de energia, assim também os raios X formam uma série de espécies diferentes, de transição insensível, caracterizados, sobretudo, pela sua transmissão nos diversos meios. Esta propriedade explica o facto de certos raios X, produzidos por empôlas mui-

to duras, isto é, de vazio muito acentuado, *raios duros, penetrantes*, conseguem atravessar certos corpos, que os raios *moles, pouco penetrantes*, produzidos por empôlas de vazio pouco acentuado não logram franquear.

Esta absorpção selectiva para os raios de fraca penetração, varia de um corpo para outro e caracteriza o que se chama o *radiocroísmo da matéria*. Certos corpos, como o alumínio, possuem um radiocroísmo ao máximo, ao passo que outros apresentam um poder absorvente quasi igual para todos os raios; tais corpos denominam-se *aradiocróicos*.

Sagnac mostrou que quando os raios X caem sôbre um corpo, êste emite em todos os sentidos *raios secundários* (raios S). Os raios secundários são heterogêneos, isto é, comprehendem um conjunto de raios moles e duros cuja penetração média varia com os raios X produzidos pelo tubo e que se denominam raios primários.

Os raios secundários são tanto

mais penetrantes quanto o são também os primários, mas sempre menos penetrantes que êstes, porque são de comprimento de onda maior, em conformidade com a *lei da degradação da energia*.

Os raios secundários são essencialmente diferentes dos raios X. Curie e Sagnac mostraram que êles transportam electricidade negativa e Dorn encontrou raios S desviáveis pelos ímans, o que os apròxima dos raios catódicos; isto levou Castex a formular o seguinte princípio: *Quando os raios catódicos encontram um obstáculo, transformam-se parcialmente em raios X e inversamente, quando os raios X encontram um obstáculo, transformam-se parcialmente em raios catódicos* (1). Todavia, resta ainda fazer a demonstração prática dêste princípio.

Os raios X propagam-se em linha recta sob a fórmula de ondas esféricas

(1) Esta emissão de électrons pelo choque dos raios S sôbre um corpo denomina-se efeito Hertz-Halwachs.

e atravessam todos os corpos conhecidos, mas de uma maneira diferente de uns para os outros. De todos os corpos, o mais opaco é o chumbo e o mais transparente dos metais é o alumínio. Duma maneira geral, os corpos teem para os raios X uma transparência que é inversamente proporcional à sua densidade. Os corpos não metálicos são imensamente mais transparentes.

Os raios X moles são fortemente absorvidos ao atravessar os corpos, o que não succede com os raios duros. Parece que os raios X formam um espectro, análogo ao espectro solar, sendo cada uma das radiações componentes caracterizada pelo seu coeficiente de absorpção para uma substância dada. As aplicações terapêuticas dos raios X repousam sôbre a propriedade de transparência ou opacidade dos corpos em presença dêles.

O estudo destas propriedades é de uma importância considerável em radiologia.

A princípio os experimentadores

determinaram apenas o grau de transparência comparada dos diversos corpos usuais, sem se importarem com a natureza dos raios com que operavam. Mais tarde, quando a heterogeneidade dos raios X foi demonstrada, no estudo da transparência tinha forçosamente que entrar-se em consideração com a natureza dos raios empregados.

Finalmente, procurou-se determinar as leis numéricas desses fenômenos necessários ao aperfeiçoamento dos meios de investigação. Entre os mais notáveis trabalhos sôbre êste assunto, sobresaem os de L. Benoist.

Em primeiro lugar torna-se necessário precisar bem as condições de medida e transparência.

E' evidente a necessidade dum corpo estalão, sob uma espessura dada; o corpo escolhido por Benoist foi uma lâmina de parafina de 75 milímetros de espessura. Mede-se para cada corpo a espessura sob a qual apresentam a mesma transparência que o estalão, para uma mesma espécie de raios X.

Esta espessura podia, evidentemente, exprimir-se em milímetros, mas convencionou-se adoptar um outro meio de expressão nas aplicações numéricas: substitue-se a espessura em milímetros pelo pêso, em decigramas, de um centímetro quadrado de substância que, sob uma espessura dada, apresente a mesma transparência que o estalão, e o número que exprime êste pêso denomina-se *equivalente de transparência* da substância considerada. Dizer, por exemplo, que o equivalente de transparência do ferro é 2,7, quer dizer que uma placa de ferro pesando 2,7 decigramas por centímetro quadrado, apresenta a mesma transparência que uma lâmina de parafina de 75 milímetros de espessura.

Os equivalentes de transparência não variam na mesma proporção quando se modifica a espessura do estalão; se êste fôr uma lâmina de parafina de $2 \times 75 = 150$ milímetros, o equivalente de transparência de ferro não será $2 \times 2,7 = 5,4$; se agruparmos os corpos sob o ponto de vista dos seus

equivalentes de transparência, a sua ordem no agrupamento não se altera quando se muda a espessura no estalão: a transparência do ferro será sempre inferior à do potássio e superior à do chumbo, por exemplo.

Nenhum corpo é perfeitamente transparente aos raios X. Um corpo que é exposto a um feixe de raios X emitidos por uma empôla qualquer, transmite apenas uma parte dos raios incidentes e os outros são absorvidos. Assim:

Feixe emergente = Feixe incidente - fracção absorvida

Se um corpo **A** deixa passar apenas 10 % do feixe incidente é porque absorve 90 %; 10 é a transparência dêste corpo e 90 a sua opacidade e, se êste corpo se apresenta em uma placa de um decigrama por centímetro quadrado de superfície aqueles números representarão respectivamente a transparência específica e opacidade específica do corpo **A**.

Assentes estas noções sôbre a opacidade e transparência e sua determi-

nação, e sabendo o que seja o equivalente de transparência, estamos aptos a interpretar as leis de Benoist:

Primeira lei: *A transparência de um corpo para uma espécie dada de raios X e para um estalão determinado e independente do seu estado físico.*

A água terá o mesmo equivalente de transparência quer se apresente no estado sólido, líquido ou gasoso. Resulta daqui que a temperatura não influe na transparência e conseqüentemente na opacidade.

Segunda lei: *A transparência dos corpos simples medida sempre em condições bem definidas, é uma função determinada e geralmente decrescente dos seus pesos atômicos.*

Quanto maior fôr o pêso atômico, menos será a transparência e portanto maior a opacidade.

Assim, o chumbo cujo pêso atômico é 207, tem como equivalente de transparência 0,8; inversamente o hidrogénio de pêso atômico 1, o seu equivalente é 805. Pelo quadro seguinte, podemos verificar a exactidão da lei.

C	E	P. A.	C	E	P. A.	C	E	P. A.
H	805	1	Ca	5,7	40	Cd	1,5	112
Li	115	7	Ti	5	50	Sn	1,5	118
Bo	74	11	Cr	3,9	52,5	Sb	1,5	120
C	70	12	Mn	3,5	55	I	1,5	127
N	51,3	14	Fe	2,7	56	Te	1,5	128
O	44,5	16	Ni	2,8	59	Ba	1,5	137
Fl	35,7	19	Cu	2,5	63	Ta	1	182
Na	28	23	Zn	2,4	66	An	0,9	197
Mg	25	24	As	1,7	75	Pt	0,9	197,5
Al	20,6	27	Se	1,6	79,5	Hg	0,9	200
Si	15,6	28	Br	1,5	80	Tl	0,9	204
P	13,5	31	Sr	1,3	87,5	Pb	0,8	207
S	11,3	32	Pd	1,5	106,5	Bi	0,8	210
Cl	9	35,5	Ag	1,5	108	Ur	0,8	240
K	6,3	39						

C — corpos simples.

E — equivalentes de transparência.

P. A. — pesos atômicos.

Terceira lei: *A transparência dum corpo é independente do modo de agrupamento dos seus átomos ou das suas moléculas.*

Os corpos simples alotrópicos e os compostos isómeros tem o mesmo equivalente de transparência, no estado amorfo ou cristalizado.

Quarta lei: *A transparência é independente do estado de liberdade ou de combinação dos átomos.*

Por conseqüência, a transparência duma mistura ou duma combinação de diversos corpos nas mesmas proporções, tem o mesmo equivalente.

A propriedade de transparência é *inerente ao átomo*, e independente da ligação do átomo, seja com átomos semelhantes ou diferentes.

A transparência específica aparece assim como uma nova propriedade da matéria, semelhante à massa, pêsô atômico ou calor específico.

Por esta lei podemos determinar o coeficiente de transparência dum composto, desde que lhe conheçâmos a composição.

Seja M a massa total dum corpo e E o seu equivalente de transparência, m , m' , m'' as massas respectivas dos elementos componentes e e , e' , e'' seus equivalentes. Temos a relação:

$$\frac{M}{E} = \frac{m}{e} + \frac{m'}{e'} + \frac{m''}{e''} + \dots$$

Com o diiodofórmio de fórmula $C_2 I_4$, temos:

$$\frac{532}{E} = \frac{24}{70} + \frac{508}{1,2} \quad \text{de onde } E = 1,27$$

Tendo assim resumido as propriedades fundamentais dos raios X, vamos fazer um breve estudo sôbre os aparelhos empregados para os produzir.

Aparelhos de produção de raios X

Estructura geral das empôlas. —

Quando o feixe catódico produzido nos tubos de Krookes encontra um obstáculo, êste emite raios X em todos os sentidos. Uma empôla ou tubo de raios X, não é pois outra coisa que um tubo de Krookes construído de maneira que a transformação dos raios catódicos em raios X se faça nas melhores condições. Êle é constituído por uma empôla de vidro de fórmula esférica e tamanho variável, cuja atmosfera interior é rarefeita até ao vazio de Krookes e na qual estão dispostos: um catodo,

formado em geral por uma cápsula de alumínio, um anodo, colocado num ponto qualquer, e um anticatodo, destinado a receber o bombardeamento catódico e constituído geralmente por uma lâmina de platina ou tungsténio, inclinado 45° sobre o eixo do catodo. Como sabemos, o anticatodo durante o funcionamento do tubo é levado a uma alta temperatura; por isso, faz-se em platina iridiada ou tungsténio, para evitar a fusão.

Para evitar o aquecimento exagerado do anticatodo e prevenir a sua deterioração sob a acção de correntes poderosas, tem-se inventado dispositivos com o fim de dissipar o calor produzido. Os tubos munidos destes dispositivos denominam-se *de anticatodo arrefecido*. Em alguns modelos, o arrefecimento faz-se pela água e então o anticatodo constitue o fundo dum tubo, aberto no exterior da empôla, e no qual se deita a água que, em razão da sua grande capacidade calorífera, absorve duma

maneira contínua o calor incessantemente produzido no anticatodo. Teóricamente, nestas empôlas de arrefecimento pela água, a temperatura do anticatodo não devia ultrapassar a da ebulição, mas de facto, a presença da água não impede que o anticatodo seja levado ao rubro. Uma vez atingida esta temperatura os fenómenos da calefação interrompem o contacto com a água e tornam o aparelho completamente ineficaz.

Com os tubos em que a água é circulante, estes inconvenientes são menos para temer.

Um outro dispositivo consiste em empregar os chamados *anticatodos reforçados*. A lâmina anticatódica repousa sôbre um bloco de ferro, cobre, prata ou níquel, cuja condutibilidade calorífica é muito mais considerável. O calor espalha-se em todo o bloco.

Em alguns tipos de empôlas destinadas a receber fortes intensidades, apresentam na extremidade exterior da peça massiça que suporta o anti-

catodo, um sistema de asas constituindo um radiador, destinado, pela sua grande superficie de emissão, a dissipar no exterior o calor produzido.

Os tubos em que o catodo tem a fórma dum espelho côncavo, são chamados *genero focus*.

Em alguns tubos franceses, são colocados apenas dois electrodos e o positivo é que segura o anticatodo. Nos tubos alemães em geral, e em alguns franceses, ha dois anodos, um dos quais segura o anticatodo e que são ligados entre si, durante o funcionamento do tubo: estes tubos denominam-se *bianódicos Muret*. Para que a corrente passe no interior da empôla, é necessário que entre os electrodos exista uma diferença de potencial sufficiente. Esta diferença de potencial pôde ser avaliada pelo comprimento da fâisca que no ar livre salta entre as pontas dum excitador ligado em derivação no circuito alimentador do tubo. Este excitador denomina-se *spintérmetro*.

Para uma distância pequena das pontas, a faísca salta entre elas e o tubo não funciona; se se afastam progressivamente as pontas, chega um momento em que a descarga se dá indiferentemente na empôla e no excitador: a distância entre as pontas mede o que se chama a *faísca equivalente do tubo*. Afastemos ainda as pontas e a descarga não se dá mais no spintérmetro. Esta é a posição normal de funcionamento da empôla.

A faísca equivalente, é tanto mais longa quanto o tubo é mais duro e que, portanto, os raios X que emite são mais penetrantes.

Os tubos de raios X apresentam um inconveniente comum a todos (¹), derivado das variações funcionais do vazio no interior da empôla. Sob a influência das descargas eléctricas, as moléculas gasosas da empôla vão-

(¹) A nova empôla Coolidge não apresenta êste inconveniente.

-se incluindo no metal dos electrodos e sobretudo nas paredes do vidro, de maneira que a tensão do gás diminua cada vez mais e, inversamente, a resistência eléctrica do tubo aumenta incessantemente. Resultam daqui dois inconvenientes: o primeiro, é que a natureza dos raios X para um mesmo tubo, varia com o grau de vazio e à medida que a rarefacção vai aumentando o tubo torna-se cada vez mais duro, não convindo para certas applicações; o segundo inconveniente, é também para considerar. A faísca equivalente aumenta progressivamente de comprimento e ao fim dum certo tempo de serviço a corrente não passa dentro do tubo para se dar fóra, entre os electrodos, podendo mesmo acontecer que atravesse a parede da empôla, furando-a. Para retardar êste inconveniente dava-se às empôlas um grande volume.

Vários processos ha para regenerar um tubo tornado assim excessivamente duro e resistente:

1.º *Aquecimento das paredes.* — Aquêcendo por meio duma châma de grandes dimensões e não muito quente, provoca-se uma libertação de gás e faz-se amolecer a empôla. A eficácia desta manobra é muito passageira.

2.º *Emprêgo de electrodos acessórios colocados no interior do tubo e capazes de libertar gases quando são atravessados pela corrente.* — Os tubos bianódicos alemães são baseados neste princípio. O funcionamento dêstes tubos é muito satisfatório, mas a sua duração muito limitada.

3.º — *O osmoregulador de Villard.* — E' um sistema excelente. A duração dum tubo munido de osmoregulador, póde ser muito grande. Êle permite introduzir indefinidamente gás na empôla, visto que êste gás vem do exterior. O osmoregulador baseia-se na descoberta de Sainte-Claire-Deville, de que a platina ao rubro se deixa atravessar por certos gases, notavelmente o hidrogénio e óxido de carbono.

Êle é constituído por um simples tubo de platina que atravessa a parede da empôla a que é soldado. A extremidade interior é aberta e a exterior fechada. Quando se quer fazer penetrar gás na empôla, basta aquècer, por meio dum bico de Bunsen a extremidade exterior do tubo de platina. O hidrogénio livre que se produz na châma por dissociação do vapor de água, penetra por osmose através da platina incandescente: o vazio diminue e o tubo amolece. Inversamente, póde fazer-se sair do tubo o gás que êle contém. Basta para isso, levar ao rubro o tubo de platina ao abrigo da châma, envolvendo-o em uma manga também de plantina que se expõe exteriormente à châma. A pressão interior do hidrogénio sendo muito fraca, esta operação é muito mais longa que a precedente.

4.º *Aquecimento dum corpo susceptível de libertar gás.* — Em algumas empôlas o dispositivo regulador de vazio é baseado na propriedade que

teem certos corpos de libertar gás quando são aquècidos. Tais são certos corpos químicos (cal, potassa) introduzidos em pequenos divertículos da empôla e que aquècendo-se libertam uma quantidade de gás muito restricta. Nos modelos primitivos, um fragmento de potassa era colocado em um prolongamento tubular da empôla, e que aquècido libertava gás carbónico préviamente absorvido. Nos modelos mais recentes o aquecimento é produzido pela corrente alimentadora do tubo, derivada em um pequeno tubo lateral. O amolecimento faz-se automaticamente graças a uma antena móvel que partindo da cúpula que sustém o cathodo termina a uma pequena distância da cúpula sustentadora do anodo, tendo passado pelo prolongamento tubular da empôla que contém a substância libertadora de gás, e que deriva a corrente no tubo lateral logo que a resistêcia na empôla ultrapasse um valor determinado. A substância regeneradora é a mica, que

liberta as suas atmosferas aderentes ou o gás incluído.

Nos tubos novos estes regeneradores são muito sensíveis; basta uma descarga de curta faísca para levar o vazio da empôla ao grau primitivo. Com o funcionamento, para conservar a regulamentação automática, é necessário recorrer a descargas de longas faíscas, deslocando a antena e, mais tarde, só lançando directamente a corrente no regulador se consegue um grau de vazio conveniente.

Êste modo de regulamentação tem os seus inconvenientes. A passagem da corrente derivada pôde produzir uma libertação exagerada de gás e daí um amolecimento excessivo, que temporariamente põe o tubo fóra de uso. Por outro lado, êste sistema, como os que temos descrito, tem uma duração transitória, porque a quantidade de gás incluído na mica é limitada.

5.º *Regenerador de Bauer.* — Bauer fez construir uma válvula de ar que permite a comunicação da atmosfera da empôla com o ar exterior.

A válvula de Bauer funda-se na propriedade que possuem certos corpos porosos de serem permeáveis ao ar e impermeáveis ao mercúrio. Um tubo em U, fechado em uma das extremidades e cheio de uma quantidade de mercúrio suficiente para cobrir um orifício lateral — rolhado com uma substância porosa escolhida. Entre a extremidade fechada do tubo e o mercúrio, fica uma câmara de ar, e a extremidade aberta liga-se a uma bomba premente. Exercendo pressão na superfície livre do mercúrio, êste desloca-se comprimindo o ar, pondo a descoberto o orifício e, graças à porosidade da substância obturante, passa para a empôla uma pequena quantidade de ar. Cessando a pressão, o mercúrio volta ao nível inicial devido à elasticidade da coluna de ar comprimido na extremidade fechada do tubo, obturando assim o orifício lateral.

O metal dos electrodos colocados no interior das empôlas de Krookes, sofre, em certas circunstâncias, um

fenómeno que tem o nome de evaporação eléctrica. O metal é pulverizado sob a acção da descarga e fôrma sôbre a parede um depósito negro.

Diz-se então que o tubo está *metalizado*, e torna-se inutilizável. A evaporação eléctrica produz-se quando o electrodo funciona como catodo. Ela não se produz igualmente para todos metais, sendo o alumínio o que resiste mais. A platina pulveriza-se muito rápidamente e é por isso que os catodos geralmente são de alumínio. E' inevitável que os anticatodos sejam de platina ou tungsténio quando se quer fazer uso de correntes muito poderosas, porque todos os outros metais fundiriam; mas, é preciso ter o máximo cuidado em não fazer funcionar o tubo em sentido inverso, isto é, o anticatodo ligado ao pólo negativo.

Infelizmente, o funcionamento em sentido inverso não se produz só em virtude de um êrro de ligação. Quando se emprega como fonte de

energia eléctrica uma bobina de indução poderosa, e que se usam tubos moles, a corrente induzida de interrupção da corrente indutora, que normalmente deve ficar inactiva, póde atingir uma tensão suficiente para atravessar o tubo em sentido inverso, porque a fásca equivalente em sentido contrário é menor que para o funcionamento directo. O tubo funciona alternativamente em bom e em mau sentido: diz-se então que o tubo *oscila*. Nestas condições, produz-se a metalização do anticatodo e o tubo é posto fóra de uso mais ou menos de-prensa. Compreende-se pois, que, quando se usa bobina como fonte de energia, é importante e absolutamente necessário eliminar a onda inversa de interrupção do circuito primário. Consegue-se isso entercalando no circuito do tubo uma *válvula de Villard*. Esta, é constituída por um tubo em que se tem feito o vazio, dilatado numa das extremidades em uma empôla cónica e terminado na outra extremidade

por um prolongamento tubular de calibre relativamente estreito e estrangulado ao meio. Os electrodos são constituídos por uma grande espiral de alumínio colocada no centro da empôla, e por um pequeno botão de platina situado para fóra do estrangulamento da parte tubular. Villard mostrou que a resistência dum tubo era tanto maior quanto mais pequeno fôsse o catodo, e se encontrasse num espaço mais estreito: nestas condições, com efeito, o afluxo catódico produz-se difficilmente. Pelo contrário, a resistência é tanto menor quanto maior fôr o catodo e se encontre num espaço maior. Eis a razão por que a válvula de Villard apresenta uma resistência muito diferente, segundo se faz funcionar num ou noutro sentido. Quando a espiral de alumínio é catodo, a resistência é muito pequena, e a faísca equivalente tem um a dois milímetros de extensão; quando o pequeno botão de platina é catodo, a resistência é enorme, e

equivalente a 12 ou 15 cm. de faísca. Nestas condições, se se intercala uma válvula no circuito do tubo, ligando o pequeno electrodo ao pólo positivo da bobina, a corrente de estabelecimento passará com facilidade, mas a corrente inversa, para a qual o pequeno electrodo será catodo, encontrará na válvula um obstáculo infranqueável. O nome de válvula é, pois, plenamente justificado. As válvulas de Villard são munidas de osmorregulador que permite manter o vazio no grau que se desejar.

Instrumentação antiga :

Tubos ; Bobinas

Estudada a estrutura geral dos tubos de raios X, vamos descrever rapidamente os mais comumente empregados que, sendo relativamente modernos, cabem bem no capítulo da instrumentação antiga, porque, como diz o Dr. Roberto de Carvalho, uma empôla que ha poucos anos era excelente, não vale nada comparada com o modelo mais recente.

As empôlas encontradas na maioria dos laboratórios, eram as de *Chabaud-Villard* e de *Pilon* ⁽¹⁾, postos em actividade por correntes fornecidas por bobinas de indução, munidas de interruptor.

(1) Ha excelentes tubos alemães, que não descrevo por os não conhecer.

Na empôla Chabaud-Villard o anticatodo é constituído por uma delgada lâmina de platina que acumula as funções de anodo; o catodo é um espelho côncavo de alumínio. O dispositivo de regeneração de vázio consiste em um osmorregulador de Villard. O foco de emissão de raios X é muito pequeno nestes tubos. Os modelos de tipo médio, tem de diâmetro 11 centímetros, o que permite colocar as regiões a radiar muito perto do anticatodo, obtendo-se assim efeitos mais rápidos do que com as empôlas de grande balão.

Os tubos Pilon, apresentam combinados dispositivos destinados a aumentar a resistência do anticatodo ao aquecimento e à acção mecânica do bombardeamento catódio.

A platina do anticatodo, é substituída por tungsténio, cujo ponto de fusão é muito mais elevado ($3:000^{\circ}$ em vez de $1:750^{\circ}$); uma placa de tungsténio de 2 milímetros de espessura, é encastoada num suporte de

cobre. Póde suportar altas temperaturas, até o rubro branco, sem alteração nem desprendimento de gás suficiente para modificar o gráu de vazio da empôla, regulado por um regenerador de mica com antena.

O arrefecimento é realizado por um radiador ou pela água. O anticatodo fórma o fundo de um tubo de cobre cuja cavidade se abre no exterior em uma esfera metálica, ôca, que se enche de água. Êste conjunto constitue por si um verdadeiro radiador, cuja capacidade térmica é aumentada pela presença da água que enche o tubo e a esfera. O catodo é reforçado para evitar o aquecimento muito rápido.

Os inconvenientes dêstes dois modelos de empôlas, são os que descrevemos na «estructura geral dos tubos». São excelentes empôlas, mas não satisfazem às exigências da radiologia moderna. Os seus principais inconvenientes podem assim resumir-se:

1.º — Pequeno rendimento;

2.º — Não poder suportar sem prejuízo grandes intensidades;

3.º — Aquecimento do catodo com o funcionamento;

4.º — Produção de raios X pouco duros;

5.º — Fluorescência das paredes da empôla;

6.º — Instabilidade do grau de vazio;

7.º — Metalização por evaporação eléctrica do anticatodo.

Todos os tubos de raios X são alimentados por correntes de alta tensão, isto é, correntes de grande diferença de potencial e pequena intensidade.

Antes da descoberta dos comutadores girantes, as correntes de alta tensão obtinham-se por três processos:

1.º — Correntes contínuas transformadas pelas bobinas de indução;

2.º — Correntes alternativas transformadas pelas bobinas ou transformadores;

3.º — Máquinas estáticas.

Só a máquina estática fornece directamente uma corrente de tensão suficiente à aplicação imediata.

Estes aparelhos não reclamam grande espaço para a sua instalação, parecendo assim serem aparelhos ideais. No entanto, estão hoje fóra de uso, porque o seu funcionamento está dependente do estado higrométrico do ar e, além disso, não fornecem corrente de tam alta tensão como as que se empregam em radiologia moderna. A máquina estática deve estar colocada numa atmosfera sempre sêca, para que possa funcionar. Com as variações do grau de humidade do ar e segundo o estado de limpeza dos pratos, o rendimento modifica-se consideravelmente de um momento para o outro. Além disso, mesmo nas melhores condições de funcionamento, a intensidade da corrente debitada é fraca (1 miliampere) nas máquinas de 6 pratos, insuficiente para certas aplicações.

Nestas condições torna-se mais

prático utilizar as correntes fornecidas pelas indústrias (acumuladores e dínamos) de pequena voltagem transformada em transformadores.

A potência da corrente fica sensivelmente a mesma, mas a intensidade torna-se fraca, ao passo que a voltagem é muitíssimo elevada.

A potência duma corrente de intensidade e voltagem diferentes não se altera, desde que o produto dos amperes pelos volts fique constante. Assim, uma corrente de 100 volts e 2 amperes, póde transformar-se em outra de 30:000 volts e alguns miliamperes, sem que a sua potência seja alterada.

Sabe-se que esta transformação e elevação de força electromotriz se dá em virtude dos fenómenos de indução eléctrica, que seria descabido repetir neste trabalho.

O transformador-elevador usado em radiologia, é a bobina de indução de Ruhmkorff.

As leis da indução mútua, mostram que a cada variação de cor-

rente indutora corresponde uma onda no circuito induzido, em sentido inverso. Ao estabelecimento da corrente indutora, corresponde uma onda induzida em sentido contrário, e a interrupção do circuito primário uma onda induzida do mesmo sentido. Estas duas ondas de sentido contrário, dão à corrente secundária a forma alternativa. Isto constitue um grande inconveniente para a sua aplicação em radiologia, porque as empôlas exigem uma corrente sempre do mesmo sentido. E' verdade que as duas ondas só passam na empôla quando a sua resistência é pequena; no caso contrário, só a onda induzida de interrupção do primário, a mais intensa, consegue passar. No entanto, a onda de estabelecimento do primário, não deve ser desprezada, e é absolutamente necessário que não passe no circuito da empôla, sob pênna de a vermos inutilizada rápidamente. Mas não é êste o único inconveniente da onda inversa. Para ela o anticatodo é catodo que

emitará um feixe catódico, que, bombardeando a parede da empôla, póde aí produzir uma fissura que fará rapidamente desaparecer o vázio no interior do tubo.

E' para prevenir todos estes inconvenientes que se usam as válvulas de Villard, que são eficazes meios de protecção, mas reclamam uma observação cuidadosa.

Com o funcionamento a válvula endurece; o aspecto violáceo ou azulado de início, é substituído por uma fosforescência verde amarelada da parede da empôla, em fórmula de espiral ou anel, indício de grande elevação de resistência. Torna-se então preciso recorrer ao osmorregulador, para levar o vácuo a um grau sufficiente.

O circuito secundário comporta assim duas resistências variáveis, a válvula e a empôla, e é preciso saber quando qualquer delas ultrapassa um valor determinado. O miliampérometro não permite, evidentemente, determinar qual das duas resistências tem variado.

Como remediar o mal? A mudança de aspecto, mostram as variações de vácuo da válvula, e as do tubo são dadas pelo spintérmetro. Sem esta atenta observação, arriscar-nos-íamos a aquècer o osmorregulador da empôla, quando o miliamperómetro acusava uma diminuição de intensidade, sendo esta devida a um endurecimento da válvula, e vice-versa.

Deve notar-se que a válvula póde amolecer demasiado, tornando-se incapaz de evitar a deterioração da empôla. E' ainda o aspecto da válvula que nos adverte dêste precalço: toma uma luminiscência rósea menos difusa, e a parede, na vizinhança do pequeno electrodo, aquece rapidamente e quebra, se a corrente é muito intensa. Mas, estas advertências dadas pelo aspecto da válvula, escapam-nos, quando operamos em uma sala iluminada, sendo então necessário recorrer ao *ondoscópio* para indicar quando a válvula se torna insufficiente.

O endoscópio é um simples tubo de vidro, de 20 cm. de comprimento e 4 cm. de diâmetro, fechado nas duas extremidades, que dão passagem a dois electrodos formados por um fio metálico dispostos segundo o eixo do tubo, e separados um do outro por um espaço de um milímetro, sendo a pressão interior de 3 a 4 milímetros de mercúrio.

Quando a corrente de alta tensão passa no tubo sempre no mesmo sentido uma luz violeta envolve o electrodo negativo e a extensão desta baínha luminosa é proporcional à intensidade da corrente.

Se o aparelho colocado no circuito da empôla apresenta uma zona luminosa nos dois electrodos, é que a onda inversa tem franqueado a válvula, sendo, portanto, necessário regulá-la. Póde-se, assim, com um simples olhar, verificar a existência da onda inversa e calcular aproximadamente a sua intensidade.

As variações do campo magnético de que depende o circuito induzido

nas bobinas, só podem ser produzidas por uma variação na intensidade da corrente primária correspondente ao seu estabelecimento e interrupção. Isto consegue-se automaticamente por meio de *interruptores*.

O circuito primário compreende então, além da bobina e gerador de corrente, um interruptor.

O interruptor pôde, sem modificar o rendimento da bobina, aumentar a potência útil, reduzindo o tempo perdido entre os dois períodos variáveis, dando ao estado permanente da corrente uma duração tão curta quanto possível; êste resultado, obtem-se aumentando a freqüência das interrupções, do que depende a freqüência das descargas na unidade de tempo, isto é, a freqüência das emissões de raios X.

Todavia, ha um limite de freqüência que convém não ultrapassar, sob pena de ver baixar a intensidade: êste limite é o que corresponde à duração do período de estabelecimento do circuito primário. A interrupção

deve fazer-se logo que a corrente atinge o máximo de intensidade, para que a força electromotriz secundária seja o mais elevada possível. A duração dêste período varia com as bobinas, tornando-se necessário determinar a velocidade que convém para produzir o maior comprimento de fâsca. Por isso, a velocidade do interruptor deve ser tam grande quanto possível, para que produza descargas mais freqüentes e efectue uma interrupção mais brusca do circuito, mas, deve também permanecer dentro de certos limites indicados pela construção íntima da bobina e pelo valor da self-indução, que influencia a duração de estabelecimento da corrente. Prácticamente, é preciso, pois, usar de interruptores rápidos e de velocidade variável, adaptáveis a vários tipos de bobinas.

Os tipos mais usados são:

- 1.º — Interruptores de turbinas;
- 2.º — Interruptores electrolíticos.

Sem entrar em detalhes de construção e funcionamento de cada tipo,

resumirei apenas as vantagens e inconvenientes que lhes são atribuíveis.

Os interruptores do primeiro tipo são os mais geralmente empregados; recomendam-se pela sua simplicidade e rendimento, podendo ultrapassar 200 interrupções por segundo; permite intensidades muito elevadas, realizando a interrupção do circuito simultâneamente em dois pontos, do que resulta diminuir a intensidade da extra-corrente.

Os interruptores electrolíticos de Wehenelt e de Simon, podem fornecer até 2:000 interrupções por segundo. O número de interrupções varia na razão inversa da self da bobina, de maneira que nas condições habituais de utilização, fica compreendido entre 300 e 600 interrupções por segundo. Esta enorme freqüência que dá ao período de estado permanente uma curtíssima duração, dando uma melhor utilização da corrente, apresenta, todavia, um grande inconveniente. A onda induzida do estabelecimento da corrente primária

adquire uma tensão elevada, tornando-se difícil eliminá-la do secundário sendo perigosa para a empôla. Dão um pequeno rendimento: 20 a 30 por cento em vez de 55 por cento como os do primeiro tipo.

Estes inconvenientes aliados ao ruído que fazem e à libertação de vapores irritantes, tem feito abandonar quasi completamente o emprêgo dos interruptores electrolíticos.

Instrumentação moderna:

A empôla Coolidge; Comutadores girantes

Nas empôlas Coolidge, o catodo é constituído por uma espiral plana de tungsténio, em comunicação com um gerador de corrente, capaz de a levar à incandescência, por dois fios, ligados, como nas lâmpadas eléctricas, a uma cápsula metálica colada no vidro da empôla. Esta é a parte característica da nova empôla. Para centrar o feixe catódico e, ainda, para proteger o catodo da atracção electrostática, a espiral é colocada no centro de um cilindro de molibdénio denominado centrador do feixe catódico.

O anticatodo é em tungsténio maciço de dois centímetros de diâmetro, suportado por uma haste de molibdénio, que se liga exteriormente a uma cúpula metálica, semelhante à das lâmpadas de incandescência. Emprega-se o tungsténio por ser o metal que melhor se adapta a êste emprêgo, em virtude do seu altíssimo ponto de fusão, que é de 3:200 graus, do seu grande pêso atómico e, por conseqüência, insignificante transparência (leis de Benoist) e ainda pela sua fraca tensão de vapor. A haste de molibdénio, tem a vantagem de impedir que o calor atinja a cúpula de suporte, mesmo que o anticatodo esteja ao rubro branco; com efeito, a capacidade calorífica daquele metal é de 10 calórias por grau centígrado.

O tubo Coolidge, não possui anodo auxiliar. A empôla de vidro, que tem 18 centímetros de diâmetro, apresenta dois prolongamentos tubulares de 18,5 centímetros cada um, dando à Coolidge um comprimento total de 55 centímetros. Por estes prolonga-

mentos passam as peças de suporte do catodo e anticatodo, que se prendem a cúpulas de metal munidas de argolas, a que se ligam os fios condutores do circuito de alta tensão. Estas cúpulas são semelhantes às das lâmpadas eléctricas, mas, a que se liga ao catodo, tem anexo um dispositivo especial que permite a passagem de uma corrente auxiliar, que tem por fim levar à incandescência o filamento catódico.

O vidro da empôla e, bem assim, todas as peças metálicas que entram na sua construção, são, por processos especiais, expurgados de todo o gás para que o não libertem quando o tubo funcionar.

O vácuo final é muito mais perfeito que nas outras empôlas, pois que atinge apenas algumas centésimas de milésimas de milímetro. Com tal grau de vazío a passagem da corrente não é possível, seja qual fôr a diferença de potencial nos electrodos.

¿ Como funciona então a empôla Coolidge ?

Tinha-se notado que a condutibilidade eléctrica do ar aumentava na proximidade de massas metálicas aquecidas, e Edison mostrou que a causa dêste fenómeno estava em que os corpos levados à incandescência emitem eléctrons, e isto constitue o que se chama *efeito Edison-Richardson*.

Esta emissão de eléctrons pelos corpos incandescentes, permite estabelecer a corrente na empôla Coolidge, de vácuo muito elevado, desde que levemos à incandescência o filamento catódico. Resulta dêste princípio que o feixe catódico nesta empôla é constituído unicamente de eléctrons, arrancados ao catodo sem intervenção do bombardeamento do afluxo catódico como nas outras empôlas. Efectivamente, nas empôlas vulgares, o feixe catódico é constituído também por eléctrons, mas arrancados ao metal do catodo pelo bombardeamento do afluxo catódico, e êste, composto de iões positivos que adquirem uma velocidade importante no espaço obs-

curo de Hittorf, sendo preciso que a empôla contenha um certo número de moléculas gasosas que, dissociando-se, produzam os iões.

Se as moléculas são muito numerosas, quiere dizer, vazio pouco acentuado, o afluxo catódico será abundante, a diferença de potencial nos electrodos será fraca e o feixe catódico intenso, mas de pequena rapidez e, portanto, os raios X de pequena penetração. Se as moléculas são raras, vazio muito acentuado, os fenómenos inverter-se-hão, isto é, teremos um feixe muito penetrante mas pouco intenso.

Portanto, o que caracteriza estas empôlas, é a variação de intensidade e penetração dos raios X emitidos com as variações do vazio na empôla, intensidade que tende para zero quando a penetração aumenta.

Ora na Coolidge, a produção de eléctrons, é, como dissemos, independente da tensão do gás residual e regida apenas pela temperatura do catodo. A ausência de bombardea-

mento do filamento catódico pelos íons positivos permite mantê-lo a uma temperatura constante, a emissão de elétrons ficará invariável, contanto que se mantenha constante a diferença de potencial; daqui deriva a vantagem de dispor de um régimen absolutamente constante e invariável, qualitativa e quantitativamente, sem intervenção do operador.

A intensidade e penetração do feixe de raios X, são aqui completamente independentes.

A penetração depende da velocidade dos corpúsculos catódicos à sua chegada ao anticatodo, e, em virtude da elevadíssima rarefacção do gás, esta velocidade é função apenas da diferença de potencial; a intensidade depende da intensidade do feixe catódico, dependendo esta da temperatura do catodo, visto que a libertação de elétrons é proporcional àquela temperatura.

De aqui podemos concluir:

1.º — Mantendo constante a diferença de potencial e elevando a

temperatura do catodo, a emissão de elétrons aumenta e, concomitantemente, a intensidade do feixe de raios X cresce também, sem que a penetração se modifique;

2.º — Mantendo constante a temperatura do filamento emissor de elétrons e aumentando a diferença de potencial, a velocidade de projecção dos elétrons contra o anticatodo aumenta, derivando daí o aumento de penetração dos raios com uma intensidade rigorosamente constante.

Vemos, portanto, ser fácil, com simples manobras dos aparelhos reguladores dos circuitos de alta tensão e de aquecimento do filamento catódico, passar de um régimen de raios moles a raios duros, em grande ou pequena intensidade.

Eis, resumidamente, as vantagens da empôla Coolidge, além das expostas:

1.º — Fixidez no ponto de «*impact*», o que a torna imensamente útil em radiografia.

2.º — Ausência de fluorescência das paredes durante o funcionamento. Nesta empôla a superfície interior da parede adquire e *conserva* uma carga eléctrica negativa, contrariamente ao que se dá nas outras em que esta carga é constantemente destruída pelos iões positivos. A existência desta carga negativa impede a chegada até ao vidro dos raios catódicos secundários, que, carregados negativamente, são repelidos. Esta falta de bombardeamento das paredes pelos raios catódicos secundários evita o seu aquecimento e fluorescência.

3.º — O funcionamento não aquece o catodo. Em virtude do alto grau de vazio não ha bombardeamento do catodo pelos iões positivos.

4.º Póde seleccionar a corrente não admitindo a onda inversa. Dispensa válvulas.

Comutadores girantes. — Os aparelhos munidos de interruptores não permitem ultrapassar um certo limite de intensidade, além da qual a

interrupção torna-se pouco regular e desenvolve uma energia induzida de valor variável. Para se obter uma corrente de alta tensão sob um débito elevado é necessário recorrer a aparelhos especiais, denominados *de contacto girante*. A potência útil destes aparelhos é superior à das bobinas de indução com interruptor, porque permitem a utilização das duas ondas da corrente induzida. O transformador recebe directamente corrente alternativa, sendo portanto as duas ondas induzidas iguais em quantidade e força electromotriz, sendo assim da máxima vantagem utilizar as duas ondas na alimentação da empôla: é o que nos permite fazer um dispositivo mecânico, o contacto girante, que invertendo o sentido de todas as ondas pares vindas do secundário do transformador, torna a corrente ondulatoria contínua em vez de sinusoidal. Os contactos girantes correctores de corrente são accionados por um motor que deve girar em sincronismo per-

feito com o período da corrente primária. A inversão faz-se no momento em que a sinusóide cortando o eixo dos tempos, muda de sentido. O sincronismo obtém-se ligando o motor à mesma fonte de energia que o transformador elevador de tensão.

O primeiro aparelho dêste género deve-se a Snook, de Filadélfia. Depois, vários construtores alemães o têm fabricado.

Actualmente as principais casas de artigos radiológicos vendem-nos, destacando-se pela sua superioridade os da casa Gaiffe de Paris, de que vou fazer uma rápida descrição:

Num móvel rectangular em formato de cómoda encontra-se o transformador e o contacto girante.

O transformador é de circuito magnético fechado.

O comutador girante montado sobre o eixo horizontal do motor síncrono, compõe-se de quatro condutores, fixos perpendicularmente à árvore girante, como os raios ao cubo de uma roda, reünidas duas-a-duas.

Com o movimento as hastes metálicas veem passar em frente de quatro sectores que lhes são simétricos e ligados, dois aos «bornes» do secundário do transformador e dois aos electrodos da empôla. Nestas circunstâncias o comutador, arrastado a uma velocidade sempre igual à freqüência do sector, estabelece o circuito da empôla no momento em que se produz a onda correspondente à primeira fase. A onda correspondente à segunda fase é em sentido contrário à primeira, mas o comutador tendo girado um quarto de volta graças ao motor síncrono, inverte as conexões e corrige a onda em relação à empôla, de maneira que esta recebe duas ondas do mesmo sentido. Repetem-se os mesmos fenómenos no período seguinte, e assim sucessivamente. Assim, num sector alternativo de 42 períodos, girando o comutador um quarto de volta por fase faz 21 voltas por segundo e envia à empôla 84 ondas do mesmo sentido.

Um motor asíncrono permite o «arranque» do síncrono e, quando a velocidade se apròxima do sincronismo só o síncrono fica em circuito.

O circuito primário atravessa um reóstato, formado de espirais metálicas, montado num carrinho, que permite manobras a distância; regulam o reóstato duas «manettes», das quais uma varia as resistências e outra permite mais precisão na sua regulamentação. O comutador de manobra do transformador encontra-se também neste carrinho. Um voltómetro colocado depois da resistência indica a voltagem nos «bornes» da empôla. As «manettes» de funcionamento do comutador e inversor de corrente e os aparelhos de medida encontram-se num dos lados do móvel; o miliamperómetro e spintérmetro na parte superior.

Se fizermos um estudo comparado dos contactos girantes com as bobinas munidas de interruptor, reconhecemos imediatamente as superioridades daqueles.

Podemos resumir assim as suas vantagens:

1.º — Potência útil consideravelmente aumentada, visto aproveitarem as duas ondas na alimentação da empôla ;

2.º — Intensidades consideráveis limitadas apenas pelo valor da energia primária de que dispusermos ;

3.º — Dispensam o interruptor ;

4.º — Dispensam válvulas ; a onda inversa não existe ;

5.º — O seu funcionamento depende apenas da empôla.

Generalidades sôbre técnica radiológica moderna

Tendo mostrado nos capítulos precedentes como conseguir um feixe de raios X, vamos agora expor os preceitos aconselhados pelos radioterapeutas para os manusear como meio terapêutico.

A experiência mostra que cada empôla apresenta uma região de emissão de efeito máximo, que ocupa um plano perpendicular ao feixe catódico, passando pelo centro do anticatodo.

Se interceptarmos um feixe de raios X que se dirige para um écran, com lâminas de uma substância homo-

gênea e de espessuras regularmente crescentes, a fluorescência do écran diminue muito a princípio, continuando depois a diminuir mas em razão inversa do número de lâminas que vamos interpondo. Esta redução enorme com fracas espessuras e que não aumenta proporcionalmente a estas, mostra-nos que a absorpção é cada vez menor.

Qualquer que seja a substância interposta, os raios parados, absorvidos, são sempre os menos penetrantes. As substâncias que seleccionam os raios moles, deixando passar apenas os raios duros, denominam-se *filtros*.

Como sabemos o feixe de raios X à partida do anticatodo é formado de raios de penetração diferente, podendo-se diminuir esta heterogeneidade filtrando-os, obtendo-se assim um feixe quasi homogêneo com que podemos trabalhar e que exercerá uma acção semelhante sôbre todos os tecidos que tocar. Ora, em radioterapia o nosso fim é destruir formações

patológicas, ou modificar tecidos vivos, sem que os tecidos periféricos sejam atingidos pelo mesmo processo.

Como conseguir êste efeito? Vários artifícios tem sido usados:

O mais simples consiste em proteger os tecidos sãos com lâminas de chumbo de 3 a 4 milímetros de espessura. O chumbo tem a vantagem de ser fácil de cortar e além disso adapta-se muito bem às diversas superfícies em virtude da grande maleabilidade que possui.

Póde também empregar-se tecidos de caucho e chumbo, mas tem o inconveniente de serem caros, não se adaptarem bem às superfícies anfractuosas e são pesadíssimos.

São hoje universalmente usados, também, os localizadores, combinados com protectores de chumbo. Um localizador consiste em uma calote esférica de uma substância opaca aos raios X e isoladora da electricidade (geralmente constituídas por chumbo e ebonite) tendo lateralmente, em frente ao anticatodo, uma abertura circu-

lar, destinada a deixar passar os raios e a que se adaptam por um dispositivo especial os *limitadores*. Estes são constituídos por um tubo de vidro de diâmetro e secção variável, presos a uma peça de encaixe de ebonite, permitindo mudá-los com toda a facilidade.

Para que o feixe de raios X actue segundo o seu plano óptimo é preciso centrar a empôla, o que se consegue com o *centrador*, que é um limitador em tudo semelhante aos outros mas cujo tubo é de secção muito menor e é mais comprido, tendo interiormente duas cruces metálicas cujas sombras se devem sobrepor num pequeno écran que obtura o tubo, quando a empôla estiver bem centralizada.

Em geral, o comprimento do tubo dos limitadores é tal que o antecâmara fica a 15 centímetros da pele do doente. Esta distância denomina-se em radiologia *distância normal*.

As empôlas munidas de limitadores e localizadores são montadas em

suportes especiais, *os pés*, que devem satisfazer às seguintes circunstâncias:

1.º Dar o máximo de estabilidade à empôla ;

2.º Possuir mobilidade em todos os sentidos, permitindo dar à empôla todas as posições desejadas para que o feixe actue segundo a incidência querida ;

3.º — Proteger o operador e o doente ;

4.º — Mudar rápidamente empôlas rigorosamente centralizadas.

A cama destinada ao doente deve ser móvel sôbre carris e formada de prechas de madeira que, pelo seu afastamento, permitam à empôla actuar por baixo do doente.

Vejâmos agora os cuidados de que o radioterapeuta se deve cercar para evitar a acção prejudicial de uma longa exposição aos raios X, pois que o médico que lida com êste agente terapêutico recebe sempre uma parte, ainda que pequena, dos raios emitidos pela empôla.

Nem só os raios directos são pre-

judiciais; devemos também precaver-mo-nos contra os raios secundários, se bem que estes são de uma intensidade muitíssimo inferior.

Os écrans de chumbo são os melhores protectores.

Pilon determinou experimentalmente a espessura que é necessário dar aos protectores de chumbo para que a sua acção de defesa seja eficaz contra as radiações excessivamente penetrantes, emanadas por uma empôla Coolidge.

Admite-se que uma chapa fotografica extrarápida é impressionada por $\frac{1}{300}$ de unidade H, ao passo que a reacção da pele só se dá com 5 H. Ora Pilon mostrou que uma chapa não é impressionada, com uma protecção de 5 mm. de chumbo, a-pesar-de 1 hora de exposição a 45 cm. do anticatodo de uma empôla Coolidge, com uma corrente de 4 miliamperes sob 120:000 volts.

Nas grandes instalações radioterápicas modernas, como meio mais eficaz de defesa, o operador trabalha em

uma sala completamente independente daquela em que funciona a empôla, ou, se isto não é realizável, numa cabine especial, protegida por todos os lados com 5 mm. de chumbo, encontrando-se, assim, subtraído às radiações directas e secundárias. Na parede da sala ou numa das faces da cabine, uma janela com vidro anti-X permite ver o que se passa na sala das empôlas.

Os perigos dos raios X desaparecem desde que se disponha de instalações dêste género e se o médico se habitua a certas precauções que devem ser praticadas, por assim dizer, inconscientemente, e que resumiremos assim:

1.º— Ficar sempre detrás da empôla ou funcionamento;

2.º— Sempre que não tenha que fazer com as mãos, colocá-las atrás das costas;

3.º— Sendo necessário corrigir a posição do diafragma de protecção de uma região exposta aos raios, interromper a corrente antes de o fazer;

4.º — Usar luvas protectoras;

5.º — O médico que faz radioscopia deve usar óculos de vidro anti-raios X;

6.º — Atendendo à extrema sensibilidade das glândulas genitais aos raios X, deve usar-se aventais ou roupas impermeáveis aos raios, desde que se seja obrigado a permanecer dias inteiros próximo de empôlas em actividade.

A despeito de todos os cuidados e de meios de defesa quasi perfeitos, surgem muitas vezes *radiodermites* benignas ou graves, estas podendo ser *necrosantes* ou *distróficas*.

Seja qual fôr a fórmula sob que appareça, uma radiodermite impossibilita sempre de trabalhar com raios X, pois que não obstante cuidados de toda a natureza, uma radiodermite crónica não desaparecerá enquanto o doente se não subtrair, por completo, à acção dos raios X.

Agora que conhecemos os perigos da radiologia e os meios de nos defendermos, vejâmos a técnica ra-

diológica especialmente aplicada à radioterapia.

Desde que os raios X deixam de ser um simples agente excitador da retina ou impressionador da chapa fotográfica, para ser um agente terapêutico, outros elementos entram em jôgo.

Não basta apenas sabermos que num conjunto de frascos temos, por exemplo, vários toni-cardíacos, para curarmos qualquer afecção do coração; é imprescindível que conheçamos a sua natureza, as suas qualidades e a quantidade que devemos empregar.

Com os raios X é a mesma coisa. Antes de os empregarmos é necessário que saibâmos *doseá-los*, isto é, que saibâmos determinar a *quantidade* de raios empregados e ainda a sua *qualidade*, o que é o mesmo que o seu grau de penetrabilidade.

Medida da qualidade

Dissemos já que a natureza dos raios emitidos pelas empôlas varia na razão directa do grau vazio e que, sendo êste constante, varia com diferença de potencial nos *bornes* da empôla. Suponhâmos constante a diferença de potencial: as variações de vazio na empôla é-nos dada pelas variações de comprimento de fásca equivalente, indicadas pelo spintérmetro, que nos ensina assim indirectamente a qualidade de raios emitidos; raios duros quando a fásca é longa, 12 a 15 centímetros, e moles se a fásca é curta.

Mas, o spintérmetro dando uma ideia exacta da resistênciã da empôla mede muito imperfeitamente o poder de penetração dos raios que ella emite.

E' um processo que carece de precisão: só permite a comparação de empôlas da mesma fórma e dimensões e do mesmo construtor. Reconhece-se a veracidade dêste facto pela experiênciã de Miss Margaret Scharpe: usando de duas empôlas com o mesmo comprimento de fâisca e alimentadas pelo mesmo gerador de electricidade, notou que, montados à mesma distânciã da pele, só uma produziu o eritema radiodérmico. A differença estava em que as empôlas eram de constructores diferentes: fórmãs diferentes, desigualdade de distânciã entre os electrodos dentro da empôla, differença de materiais empregados na construção, etc., tudo isto é susceptível de fazer variar a natureza dos raios X.

Sendo assim, ¿ como avaliar com exactidão as differenças que porven-

tura existam entre duas empôlas quanto à qualidade de raios que produzem?

Os trabalhos de M. Benoist permitiram a solução dêste problema com a apresentação do seu *radiocromómetro*.

O radiocromómetro de Benoist representa o fruto de um aturado trabalho sôbre as leis da transparência da matéria aos raios X e realiza uma aplicação prática e precisa do método geral de classificação dos raios X e radiações similares que as mesmas leis fornecem (M. Benoist).

Com o radiocromómetro pôde obter-se, para cada espécie de raios, uma classificação numérica precisa, sempre idêntica e independente de diferenças de observação pessoal.

Êle é baseado no seguinte princípio: sendo dados dois corpos de pêso atômico diferente, e, portanto, desigualmente transparentes aos raios X, como a prata e o alumínio, a relação de transparência entre êles varia com o poder de penetração dos

raios que os atravessam. Por exemplo: se o alumínio é cinco vezes mais transparente que a prata para raios de determinada qualidade, êle tornar-se-ha, 10, 20, 30, etc., vezes mais transparente à medida que os raios aumentam em poder de penetração.

Para a construção do radiocromómetro escolheu Benoist precisamente a prata e o alumínio, porque as variações de transparência da prata são pequeníssimas, nulas, por assim dizer *corpo aradiocróico*, ao passo que o alumínio apresenta variações enormes, *corpo radiocróico*.

Eis, segundo a comunicação de Benoist, a descrição do aparelho:

O radiocromómetro compõe-se de uma coroa circular de alumínio dividida em 12 sectores dispostos como os degraus de uma escada, cujas espessuras aumentam de 1 a 12 milímetros.

O centro da coroa é ocupado por um disco de prata de 0^{mm},11 de espessura, que representa o equiva-

lente de transparência da prata em relação a um disco de parafina de 75 milímetros de espessura para raios de penetração média.

A maneira de o usar é simples. Coloca-se o radiocromómetro por baixo de um écran de platinocianeto de bário. Liga-se a corrente e vê-se qual o sector cuja sombra tem a mesma intensidade que o disco central; esse sector marca o número de graus; assim se o sector 7, contado a partir do mais baixo, é que apresenta a mesma côr que o disco central, os raios são do grau 7, etc., e são de grau 7, porque foi preciso aumentar a voltagem a partir do sector 1 para que o sector 7 se tornasse perfeitamente transparente em relação ao disco central de prata.

Temos, assim, dividida em 12 graus toda a gama de raios X, dêste modo distribuídos:

- Raios n.^{os} 1 e 2 muito moles.
» n.^o 3 moles.
» n.^{os} 4 e 5 semi-moles.

- Raios n.^{os} 6 e 7 médios.
» n.^o 8 semi-duros.
» n.^{os} 9 e 10 duros.
» n.^{os} 11 e 12 muito duros.

Nas antigas empôlas Pilon, Chabaud, Muller, etc., era preciso determinar o grau radiocromométrico cada vez que se usavam, e depois, sob a advertência do spintérmetro, regular, manter o vazio da empôla num grau tam constante quanto possível.

A Coolidge dispensa esta manobra cada vez que se use dela. Como o vazio é constante, basta, apenas, determinar a voltagem e intensidade precisas para obtermos raios dos 12 graus do radiocromómetro de Benoist. Assim, por exemplo, com uma corrente de 70:000 volts sob um miliampere, obtemos raios 8 Benoist; como o vácuo é fixo, cada vez que lançarmos na empôla uma corrente com aquela voltagem e intensidade, os raios emitidos serão de grau 8. Da mesma maneira para todos os números.

E' conveniente, no entanto, verifi-

car, de tempos a tempos, a exactidão destas unidades com o radiocromómetro.

Podemos também combinar as indicações do radiocromómetro com as do spintérmetro para maior segurança, se bem que, na Coolidge, o spintérmetro tem um valor muito secundário: *o grau de vácuo e fixo.*

O radiocromómetro, indispensável em radioterapia (Bordier), impõe-se pela sua precisão e simplicidade. Dá-nos a dureza de raios num momento determinado, mas não indica as variações produzidas no decurso de uma experiência, nas empôlas em que o grau de vácuo se modifica com o funcionamento. Mais uma vez reconhecemos a superioridade da empôla Coolidge: durante os tratamentos, os raios nunca se modificam quanto à qualidade, ou melhor, à potência penetrante.

Muitos outros aparelhos existem para a determinação da dureza dos

raios X. Dêstes destacaremos o *voltômetro electrostático de Villard* e *Radioclerómetro de Bergonier*, notáveis pela sua precisão, mas de manejo muito complicado e de duração efêmera.

O radiocromómetro de Benoist satisfaz perfeitamente. ¿Para que complicar a aparelhagem já de si tam complicada?

Medida da quantidade

Sabemos já a qualidade dos raios X como agente terapêutico, mas falta-nos ainda um elemento importantíssimo: determinação da quantidade de agente empregado, o que é absolutamente indispensável, porque *a reacção dos tecidos depende essencialmente da quantidade de raios absorvidos* (lei de Robert Kienböck). O problema da medida de quantidade de raios X esteve sem solução até 1902. Nesta época, o doutor Guido Holzknecht apresentou ao 2.º Congresso de Radiologia e Electrologia médicas, reunido em Berne, um pequeno ins-

trumento que denominou *cromoradiômetro*.

Goldstein mostrou que os raios catódicos fazem mudar de côr certos sais metálicos, como o cloreto de sódio que se torna amarelo e o brometo de sódio, azul, e que esta côr assim obtida tende a voltar à primitiva sob a acção *da luz e do calor*. E' num princípio semelhante que Holz knecht baseia o seu cromoradiômetro, visto que os raios de Röntgen produzem também aquele efeito e que a intensidade de coloração é proporcional à quantidade de raios absorvidos pelo sal (Willard e Holz knecht). Os raios catódicos penetram os diversos sais em experiência apenas a algumas centésimas de milímetros de profundidade para virar as côres, ao passo que os raios X, atravessando-os em toda a espessura, mudam de coloração toda a massa do sal exposto à sua acção.

O aparelho de Holz knecht compõe-se de duas partes:

1.^a — Uma série de pequeninos «godets» contendo um reagente, cuja composição só era conhecida do autor e que Siley determinou ser sulfato de potássio misturado com pequenas quantidades de sulfito e hipossulfito do mesmo metal, aglutinados por verniz copal;

2.^a — Uma escala formada de 12 côres testemunhas, azul esverdeado, cuja intensidade se acentua de uma extremidade à outra da escala, encerrada numa caixa que a preserva da luz. Ao lado de cada côr da escala está um número que indica a quantidade de raios absorvidos em relação a uma unidade escolhida pelo autor que, sem a definir, representa pela letra *H*.

Sabe-se, no entanto, que a unidade *H*, corresponde a $\frac{1}{5}$ da quantidade de raios *X* que a pele pôde absorver sem reacção. A escala de Holzknacht principia em 3 e vai até 244.

Suponhâmos que queremos aplicar a um doente 7 *H*. Basta colocar

um godet de reagente sôbre a pele do doente, de maneira que receba a mesma quantidade de raios que a região a tratar, e comparar, de tempos a tempos, a côr do godet com as da escala. Logo que o reagente atinja uma côr igual à n.º 7 da escala, sabemos que a pele recebeu 7 H. E assim para as outras côres.

A descoberta de Holzknecht revolucionou a radiologia. Sabia-se a dóse empregada; poder-se-iam aplicar grandes dóses, do que deriva uma abreviatura grande nas curas, e além disso, podia fazer-se a comparação relativa das observações pela adopção de uma medida comum. Mas, as objecções não tardaram e os defeitos do novo método de-pressa foram reconhecidos. A unidade H é arbitrária e empírica, fundada numa reacção fisiológica (Zimmern). A dóse de raios X capaz de produzir a primeira reacção da pele, varia de indivíduo para indivíduo e na mesma pessoa varia com a região exposta.

Por outro lado a comparação das côres obedece a um critério puramente individual, de modo que, cada radioterapeuta adopta, por assim dizer, uma unidade H sua; além de isso as côres testemunhas variam com o tempo, o que pôde induzir em êrro às vezes superior a 3 H.

Radiómetro X de Sabaurand-Noiré

O aparelho de Holz knecht está hoje abandonado e substituído pelo radiómetro X de Sabaurand-Noiré. Como o de Holz knecht, baseia-se no efeito Villard. Aqui o sal é o platinocianeto de bário que passa do verde a amarelo sujo, com perda da fluorescência. Este fenómeno é conhecido em radiologia por viragem do platinocianeto e, como no radiómetro se usam pequenas pastilhas daquele sal, diz-se mais simplesmente *viragem da pastilha*.

Compõe-se o radiómetro de uma pequena caderneta que tem na primeira página dois quadrados pinta-

dos a aguarela, um *côr A* e outro *côr B* e que representam respectivamente a *côr* do platinocianeto em antes e depois da viragem; na segunda página tem colada uma série de 12 pastilhas destinadas a serem expostas aos raios X para virarem da *côr A* à *côr B*, que corresponde a uma dose de 5 H absorvida pela pastilha em um tempo *T*. Temos assim o débito de empôla em função do tempo.

Suponhamos que expondo a pastilha à acção dos raios foram precisos 6 minutos de exposição para se dar a *côr B*; conservando constante o débito da corrente e dureza de raios sempre que exponhamos um doente o mesmo tempo, êsse doente tem absorvido 5 H.

Para que as indicações dadas pelo radiómetro sejam rigorosas e exactas torna-se necessário observar um certo número de preceitos que passamos a enumerar:

1.º—Para que a *côr B* seja exacta o reagente deve ser colocado a

meia distância entre o anticatodo e a pele do doente, no campo de acção dos raios X;

2.º — É indispensável que se coloque o reagente sobre um suporte metálico opaco aos raios X;

3.º — Operar na obscuridade, ou, pelo menos, numa meia obscuridade; fazer a comparação com a côr *B* rapidamente em razão da sensibilidade do reagente à luz do dia, que o faz voltar rapidamente à côr normal;

4.º — Para evitar a acção do calor desenvolvido pela empôla em funcionamento, o reagente deve ser colocado a 2 cm. da parede.

A-pesar-dos defeitos — porque os tem — o radiómetro de Sabouraud fornece indicações valiosas, contanto que se empregue nas condições acima mencionadas e com raios sempre da mesma natureza.

Obedecendo a estas regras o radiómetro dá ao operador e doente uma segurança absoluta que nenhum outro processo é capaz sequer de igualar.

Radioterapia especial

Antes de apreciar os raios X como agente terapêutico, passarei em revista um certo número de preceitos e princípios de técnica, indispensáveis em radioterapia.

Os grandes problemas que se põem ao radioterapeuta resolvem-se sempre com o conhecimento perfeito dos quatro factores seguintes:

- 1.º — *A qualidade de raios empregados;*
- 2.º — *A distância do anticatodo da pele;*
- 3.º — *O tempo de exposição — quantidade;*
- 4.º — *O método a seguir.*

Qualidade dos raios

Partindo do princípio que, quanto mais duros são os raios, mais penetrantes são, e que os raios muito moles são totalmente absorvidos pela pele, não indo além da camada basal, nada mais fácil do que escolher a qualidade de raios a empregar. Raios muito moles, com filtro muito delgado, 0^m,1, ou sem filtro para os tratamentos de lesões superficiais; raios um pouco mais duros, com filtro mais espesso para lesões dos anexos da pele e tecidos subcutâneos, e, é claro, à medida que formos progredindo em profundidade, aumentaremos a dureza e a espessura do filtro. Todavia, não é indiferente a espessura do filtro; deve ser calculada rigorosamente em relação com o aumento de dureza, como adiante veremos.

A distância à pele

O cálculo da distância do anticatodo à pele baseia-se na lei dos quadrados, a saber:

A quantidade de raios X recebida normalmente por uma superfície varia na razão inversa da distância ao anticatodo.

Se a distância aumenta 3, 4 ou 5 vezes, a intensidade diminuirá 9, 16 ou 25 vezes.

Duma maneira geral, representando por A a intensidade à distância normal D , a intensidade x a uma nova distância, d será

$$\frac{A}{x} = \frac{d^2}{D^2} \text{ ou } AD^2 = xd^2, \text{ donde } x = \frac{AD^2}{d^2}$$

E' evidente que à medida que a distância aumente o tempo de exposição aumentará na razão inversa da

diminuição da intensidade do feixe incidente.

Quantidade de raios

Sabendo calcular a distância, nada mais fácil do que determinar o tempo de exposição preciso para obter a uma nova distância d a mesma dose e com os mesmos efeitos que se obtinha à distância normal. Assim, se é preciso um tempo T para obter 1 H à distância normal de 15 cm., para obter a mesma dose a t centímetros, como a intensidade diminue na razão inversa do quadrado da distância, temos que:

$$\frac{t}{T} = \frac{d^2}{15^2}, \text{ donde } t = \frac{T d^2}{15^2}$$

Como T é constante para uma mesma empôla e a distância 15 cm. também não varia, determina-se o quociente $\frac{T}{15^2}$ e multiplica-se pelo quadrado da distância nova, sempre que tenhamos de operar fóra da distância normal.

Suponhamos que para obter 1 H a 15 centímetros são precisos 3 minutos de exposição; a uma distância nova 25 cm., o tempo de exposição será:

$$25^2 \times \frac{3}{15^2} = \frac{180'' \times 625}{225} = 500 \text{ segundos,}$$

ou sejam 8 minutos e 20 segundos. Se se conhece o raio da empôla, facilmente se mede a distância do ponto de «impact» à pele; basta ver o número de centímetros que vai da pele ao vidro da empôla e adicionar-lhe o comprimento do raio. No caso de se não conhecer o raio da empôla, mede-se com uma fita métrica o perímetro que sabemos ser igual a $2 \pi R$, isto é:

$$C = 2 \pi R, \text{ donde } R = \frac{C}{2 \pi} = \frac{C}{2 \times 3,1416}$$

Todos os cálculos feitos até agora são para feixes de raios incidindo directamente sobre a pele, sem interposição de filtro. Como dissemos, uma boa técnica depende essencialmente

dum perfeito manejo de filtros, mas estes alteram a composição do feixe que os atravessa, visto que absorvem sempre uma quantidade de raios, maior ou menor.

¿ Como calcular então a quantidade que sai do filtro, isto é, o feixe útil? Podíamos virar uma série de partilhas relativas a várias espessuras de filtros, mas além de não ser prático, êste processo é muito imperfeito. Depois de longos estudos sobre o caso, concluíram os radioterapeutas que o único processo rigoroso consistia no uso da fórmula

$$T = \frac{t \times 100}{y} = t \times \frac{100}{y}$$

em que T é o tempo preciso para obter 1 H com filtro de coeficiente de transmissão y , e sob um régimen que dá 1 H sem filtro no tempo t .

Suponhamos que operamos com um feixe que rende 1 H sem filtro, em 2 minutos ($t=2$). Conservando constante o régimen, para obter a mesma dóse com um filtro de coeficiente

de transmissão de 30 % ($\gamma=30$) será preciso o tempo

$$T = 2 \times \frac{100}{30} = \frac{200}{30} = 6 \text{ minutos e } 36 \text{ segundos}$$

Os filtros usados em radioterapia são de alumínio e vão de 0,^{mm}1 a 5^{mm}.

Métodos de aplicação

Observações clínicas

Estudarei neste capítulo as afecções que julgo curáveis pelos raios de Röntgen, expondo com cada caso a técnica e método de aplicação seguidos, que são considerados como os mais racionais e dando o máximo de resultado. Ao estudo de cada afecção juntarei algumas observações clínicas, de doentes curados por mim no Laboratório de Radiologia de Braga.

Tuberculoses localizadas

A radioterapia é um tratamento muito eficaz das tuberculoses localizadas, qualquer que seja a sua localização, ganglionar, óssea ou articular. Terão os raios X uma acção bactericida, ou alteram simplesmente o terreno exaltando-lhe os meios de defesa? É questão ainda muito discutida, mas tudo leva a crer que, em doses terapêuticas, os raios X não tem a mínima acção sôbre o bacilo de Koch; das radiações emitidas pela empôla, só os raios canais, análogos aos raios γ do rádio, tem uma acção bactericida bem demonstrada; mas êsses não saem da empôla em

funcionamento normal. Pelo contrário, Baisch e Freund mostraram que os tecidos tuberculosos radiados sofrem alterações profundas, que consistem na invasão dos nódulos por tecido conjuntivo, fragmentando-os e formando em volta dêles uma ganga cicatricial que estrangula os focos tuberculosos; as células gigantes são as mais resistentes, mas acabam por ser destruídas também. Das tuberculosas localizadas tratei apenas um caso de lúpus eritmatoso e vários casos de adnites.

A radioterapia das adnites tuberculosas foi tentada a primeira vez na América, em 1899, por Williams e Pussay, e obteve um tal sucesso, que é hoje considerada como o tratamento de escolha desta afecção. É indiferente o estado de evolução clínica em que se apresente a adnite; ulcerada ou não, única ou múltipla, são sempre igualmente sensíveis aos raios X e da mesma maneira curáveis.

OBSERVAÇÃO I

F. de Azevedo, solteira, de Braga. Adnites com periadnites cervicais, formando os gânglios uma massa única no meio de uma zona de empastamento. Alguns gânglios ulcerados deixavam escoar linfa clara em grande quantidade. Os gânglios ulceraram e fistulizaram depois de a doente ter feito o tratamento pelo método de Calot.

A 7 de Abril recebe a primeira sessão de tratamento com uma dose de 3 H de raios 9 Benoist, filtrados por 3 mm. de alumínio. A 27 de Maio a doente interrompe o tratamento por estar radicalmente curada, tendo absorvido um total de 30 H.

Tenho visto esta doente de tempos-a-tempos e, até agora, Dezembro de 1920, nenhum sinal de recidiva apareceu.

OBSERVAÇÃO II

J. S. Louro, casado, de Braga.

Grande zona de empastamento na região inguino-crular direita. Mergulhados nestes tecidos inflamados sentem-se gânglios duros, enfartados, e alguns ulcerados. Uma cicatriz saliente, aderente e paralela à arcada púbica, atravessa a massa ganglionar ulcerada, repuxando-a quando o doente está de pé. Esta cicatriz data já da infância, tempo em que o doente teve também uma adnrite ulcerada.

De 1 de Abril a 1 de Maio, o doente absorve 15 H de raios 8 filtrados com 3 mm. de alumínio, mostrando-se muito melhorado, a-pesar-de ter andado sempre a pé no desempenho da sua profissão.

A 7 de Maio falta ao tratamento e, como podia já andar com facilidade (o que lhe era quasi impossível

quando principiou o tratamento), faz uma marcha de 15 kilómetros em visita às quedas de água do Lindoso. Os efeitos da marcha não se fizeram esperar. Dois gânglios voltam a ulcerar, exsudando linfa em quantidade enorme. Volta ao tratamento em 10 de Maio, e segue com regularidade, achando-se curado a 28 de Junho. Absorveu 33 H em onze sessões de 3 H cada uma, não tendo mais nada a registar de anormal.

OBSERVAÇÃO III

F. de Sousa Lobo, de Braga

Lúpus eritmatoso da face.

Êste sofre de lúpus eritmatoso ha quatro anos. Tem feito todos os tratamentos indicados para a cura do lúpus, que a nada tem cedido. Em 1918 esteve em Paris no Hospital Broca, tratando-se com o Dr. Brocq por cauterizações pelo ácido fénico. Terapêutica horrivelmente dolorosa e infrutífera que, como as outras, foi abandonada ao fim de um mez.

A título de experiência, comecei a tratá-lo pela radioterapia em Março de 1920, com sessões de três minutos de duração, fazendo absorver a cada placa lúpida 3 H de raios 6 Benoist, filtrados por 0,5 mm., espaçando as aplicações de oito dias. O doente absorveu 21 H em cada placa. Duas estão já cicatrizadas, e as restantes apresentam uma tendência marcada para a cura. Continua em tratamento.

Fibro-miomas uterinos

Segundo a opinião geralmente aceite, na radioterapia dos fibromas, a acção dos raios de Röntgen exercer-se-ia primeiro sôbre os ovários e realizariam uma castração sêca que teria como consequência a regressão dos fibromas, pelo mesmo processo por que se dava depois da castração sangrenta de Hegar e Battey.

Todavia, vários autores mostraram que a redução dos fibromas radiados é muito mais rápida do que a

que succede à menopausa fisiológica e resulta ainda das experiências de Jaugeas, Bordier e Foveau, que a redução de volume observa-se muito em antes da supressão das regras. E' indubitável hoje, que os raios de Röntgen teem *uma acção primitiva e directa sôbre os fibromas* (Beclère). Além disso ha casos de fibromas em mulheres cuja menopausa ha muito está estabelecida, fibromas estes que estando em via de crescimento, retrocedem quando se faz a radioterapia. Em resumo, a radioterapia dos fibromas uterinos não é mais que um capítulo, dos mais importantes, da radioterapia dos neoplasmas. A destruição e desapareição dos elementos celulares neoplásicos de que são formados os fibromas são o efeito directo desta medicação e a principal manifestação da sua acção.

No tratamento dos fibromas pela radioterapia temos a considerar a sua acção esterilizante sôbre o ovário e a destrutiva dos elementos celulares.

Pela acção esterilizadora a radio-

terapia tem por indicação os casos de metrorragia causados por fibromas de pequeno volume em mulher que tenha ultrapassado a menopausa. E' êste o limite a que vai a radioterapia para aqueles que não crêem na acção directa dos raios de Röntgen sôbre os elementos celulares. Em todos os outros casos preferem a intervenção cirúrgica, e só quando a doente, por um motivo qualquer não pôde ser operada, então consentem a radioterapia, mas só a título de experiência. Porém o que se vê é que estas doentes, sujeitas a radioterapia, curam e dispensam a operação. Beclère na sua estatística cita a cura de 273 mulheres naquela circunstância.

Portanto, à parte certos casos raros que exigem a intervenção cirúrgica, a radioterapia é applicável a todos os fibromas uterinos: são palavras do professor Pinard.

OBSERVAÇÃO IV

M. da Graça — da Aveleda, Braga.
Volumoso fibroma uterino, aderente, subindo a 16 centímetros acima do púbis. Esta doente foi submetida a tratamento com o fim de mobilizar mais o tumor, a fim de ser operada depois.

Fez 10 aplicações de raios muito densos, filtrados e administrados de semana-a-semana, na fossa ilíaca direita, na fossa ilíaca esquerda e região sagrada. As zonas de aplicação eram limitadas por localizadores de vidro de base chumbo, absorvendo 3 H por sessão. O tumor acha-se muito reduzido, 3 cm. no diâmetro vertical, e 2 na transversal, e é muito mais móvel. Continua em tratamento.

OBSERVAÇÃO V

Dona A. Carvalho, de Famalicão.
Fibromas intersticiais múltiplos, do volume de uma avelã a uma noz. Abundantes metrorragias. Idade, 45

anos. A doente recusa terminantemente ser operada.

Sujeita à radioterapia melhora consideravelmente. A' terceira sessão as metrorragias cessam; absorveu já 60 H em 10 sessões hebdomadárias; o tumor uterino já não é sensível à palpação, mais que um útero normal.

Continua em tratamento.

Radioterapia das sciáticas

Os tratados de patologia enumeram, a propósito do tratamento das nevralgias, e da sciática em particular, meios medicamentosos, processos fisioterápicos, meios mecânicos e processos eléctricos e entre estes fazem a menção lacónica de que os raios X teem, por vezes, dado resultados. No entanto, de todos os métodos terapêuticos indicados para o tratamento das sciáticas, o mais notável pela eficácia e rapidez de acção é, sem dúvida alguma, a radioterapia.

As primeiras observações de cu-

ras de sciáticas pelos raios X datam já de ha 12 anos.

Freunde, em 1907, estando a tratar uma doente por cancro do seio e que apresentava também dores no tracto do sciático, supondo que elas derivassem de metástases vertebraes, radia a região lombo-sagrada e obtém a cura como resultado. E' o tratamento clássico.

Em 1911, Babinski publica vários casos de sciáticas rebeldes curadas pela radioterapia lombo-sagrada e até agora as curas repetem-se todos os dias.

A técnica é simples: raios 9 ou 10 Benoist filtrados por 4 mm. com dóse de 4 H por sessão.

OBSERVAÇÃO VI

Dona Adelaide M., de Braga.

Sciática rebelde datando de um mês. Impotência quasi completa do membro inferior direito.

A doente absorve 20 H em 4 sessões. Resultado, curada.

Radioterapia dos neoplasmas malignos

A curabilidade das neoplasias malignas pelos raios X, é hoje um facto indiscutível. Atestam-no os melhores radiologistas e confirmam-no milhares de curas, repetidas todos os dias.

E' sobejamente sabido que uma pequena massa epiteliomatosa superficial é reabsorvida, desaparecendo por completo após a absorpção de uma dóse de raios incapaz de provocar a menor alteração na epiderme sã.

Os raios de Röntgen teem, pois, a propriedade de seleccionar a célula epitelial patológica entre as células epiteliais normais, de destruir à maneira de um bisturi invisível e inteligente (Pierre Marie) as células prejudiciais pela sua actividade reprodutora desordenada, respeitando a integridade física e biológica aos elementos sãos.

Esta propriedade dos raios X de agir selectivamente sôbre as formações epiteliais, denota uma fragili-

dade particular das células patológicas, superior à das células normais, extremamente sensíveis, como sabemos. Mas não são só os elementos epiteliomatosos que apresentam esta grande sensibilidade aos raios X; a observação clínica e fisiológica permite conhecer a vulnerabilidade relativa dos vários tecidos neoformados, aparecendo em primeiro lugar os neoplasmas do tipo sarcoma. Apesar da sua situação por vezes muito profunda, os sarcomas desaparecem, às vezes, com uma rapidez surpreendente, o que não quer dizer que todos os sarcomas curam.

É que o tipo celular do neoplasma tem uma grande importância para a cura; os sarcomas de células redondas dão uma percentagem de curas comparável à percentagem de insucessos no tipo fusocelular. Um exemplo frisante está nos epiteliomas da pele. Os cancros do tipo basocelular curam quasi todos, ao passo que os do tipo espinocelular, cujos elementos se aproximam do estado

adulto, apresentam uma resistência notável aos raios X. Êste facto explica a razão por que todos os radio-terapeutas estão de acôrdo sôbre a radiação precoce do cancro; o neoplasma será tanto mais sensível quanto maior fôr o número de elementos em proliferação activa que apresente. Vemos, portanto, que a vulnerabilidade dos neoplasmas é uma função da sua estrutura, da sua origem, da idade e vitalidade dos elementos que o constituem.

Todos os radiologistas aceitam esta verdade e podem confirmá-la as estatísticas que vou transcrever do *Médical Record* de Nova-York:

George Maekee tratou 258 casos de epitelomas baso-celulares, obtendo o resultado seguinte:

36 casos não foram mais vistos pelo autor no praso de seis anos que durou a observação. Dos 222 restantes, 201 curaram, 15 melhoraram e 6 morreram, isto é, 90 % de curas, 5 % de casos melhorados e 2 % de óbitos.

Sittenfield apresenta como resultado de observação de 5 anos de radioterapia dos neoplasmas:

15 casos de epitelomas da face, dos quais 7 baso-celulares, curaram. 8 casos de carcinoma do seio, sem repercussão ganglionar, não recidivaram; 14 casos recidivaram, curando-se 3. Em 11 recidivas post-operatórias de cancro do útero, obtém 3 curas e 10 cancros da face do tipo espino-celular, melhoraram.

Inúmeros documentos, grande número de estatísticas acumuladas ha 20 anos podem mostrar aos incrédulos que radioterapia deve entrar na terapêutica diária dos neoplasmas. A cura definitiva de alguns sarcomas e de imensos cancros superficiais da pele, a desapareição dos nódulos de recidiva do cancro do seio, a cicatrização de ulcerações rebeldes e, nos casos menos favoráveis, a atenuação da dor e supressão das secreções fétidas, eis o que podemos actualmente conseguir da radioterapia aplicada aos tumores malignos.

OBSERVAÇÃO VII

Dona R. das Dores Matos, de Barcelos.

Pequenos nódulos cancerosos do seio direito. Aconselhada a intervenção cirúrgica, recusa-a terminantemente.

Inicia o tratamento radioterápico em 12 de Abril de 1919.

Divide-se o seio em três zonas que se radiam sucessivamente, absorvendo 3 H por cada zona.

Fez 15 sessões com um total de 45 H, desaparecendo as dores e todos os nódulos cancerosos. Até Dezembro de 1920 não houve o mínimo sinal de recidiva, tendo terminado o tratamento em Julho de 1919. Continuaremos a vigiar a doente, pois bem sabemos que só passados alguns anos a cura terá o seu verdadeiro valor. No entanto, já alcançámos alguma coisa, que não foi pouco. Não só os nódulos não aumentaram, como retrocederam.

OBSERVAÇÃO VIII

Dona A. Airosa Malheiro, de Braga.

O exame ginecológico mostra uma degenerescência carcinomatosa do útero.

A doente tem 59 anos, é obesa.

Principia o tratamento pelos raios X em 5 de Março de 1919 e faz 19 aplicações, seis na fossa ilíaca direita, seis na fossa ilíaca esquerda, e sete na região sagrada. Absorveu 57 H em 138 dias, obtendo a cura como resultado.

Sessões hebdomadárias, raios 9 Benoist filtrados por 3 mm., 3 H por sessão, à distância normal.

OBSERVAÇÃO IX

J. Ferreira da Costa, de Balazar, Póvoa-de-Varzim.

Operada de cancro do seio esquerdo em Setembro de 1918, apresenta nódulos de recidiva no seio direito em Outubro de 1920.

Sujeita à radioterapia fez 6 sessões de tratamento, desaparecendo já a dor e os nódulos.

A técnica seguida foi a da doente anterior.

Continua o tratamento, visto estar indicado continuá-lo algum tempo depois de terem desaparecido as lesões macroscópicas. E' uma excelente prática, que garante muitas vezes o sucesso.

Conclusão

Não é só nas doenças de que apresento observações, que os raios X produzem efeitos benéficos, curas maravilhosas. Muitos outros são influenciados pelo seu alto valor curativo e, se os não cito, é porque formei o propósito de me referir tam sòmente aos casos em que a minha pequena prática de radioterapêutica me permitiu verificar a exactidão dos métodos e a acção nítidamente curativa dos raios de Röntgen.

E' forçoso concluir que a radioterapia é um agente terapêutico de alto valor e, se considerarmos que o aperfeiçoamento da técnica, a precisão

das medidas de quantidade, progri-dem dia-a-dia, muito mais temos que esperar dela. E' de um doseamento difficil, mas só maldiz êste medica-mento quem o não conhece (Belot).

A despeito do desleixo a que tem sido lançada, a radioterapia aumenta todos os dias o seu campo de acção e, para os clínicos que acompanham os progressos da sciência médica, ela entrou já no quadro da sua terapêu-tica diária.

Visto.

Póde imprimir-se.

TEIXEIRA BASTOS.

MAXIMIANO LEMOS.

BIBLIOGRAFIA

- J. BELOT — *Traité de radiotherapie* — Paris, 1913.
E. CASTEX — *Électricité Médicale* — Paris, 1919.
A. BROCA — *Physique Médicale* — Paris, 1918.
OUDIN ET ZIMMERN — *Radiologie* — Paris.
P. COTNOT — *Radiologie* — Paris, 1921.
DR. ROBERTO DE CARVALHO — *Tese de doutoramento* —
Porto, 1918.
BORDIER — *Radiothérapie* — Paris, 1920.
Journal de Radiologie — Paris, 1914-1920.
Médical Record — Nova-York — 1919-1920.