

ROZDZIAŁ XVIII

BIOLOGICZNE DZIAŁANIA PROMIENI. ZASTOSOWANIA LECZNICZE¹⁾

§ 105. Działania biologiczne.

Promienie α , β i γ wywierają na żywe komórki działania podobne do działań promieni X, polegające na tym, że w tkankach, z których składa się organizm roślinny lub zwierzęcy, zachodzą głębokie zmiany. Zjawiska tego rodzaju były zaobserwowane po raz pierwszy przez *Piotra Curie* i *Becquerela*, którzy doznali ciężkich oparzeń, spowodowanych działaniem rurek zawierających rad.

Mechanizm tych działań biologicznych jest jeszcze mało znany. Jak wiemy, istnieje bardzo istotny związek między chemicznymi działaniami promieni i ich zdolnością jonizacyjną. Mamy przeto powody do mniemania, że istnieje analogiczny związek między jonizacją i działaniami biologicznymi. Brak jednak dotąd bezpośrednich dowodów doświadczalnych, ponieważ nie umiemy wykrywać jonów, wytwarzanych przez promieniotwórcze w stałych substancjach i cieczech, z których tkanki się składają. Zakres działania biologicznego promieni jest ograniczony ich zdolnością przenikania przez materię; tak np. działania promieni α mogą zachodzić tylko w bezpośrednim sąsiedztwie atomów promieniotwórczych, wysyłających te promienie; działanie promieni β w wodzie lub w ciałach podobnej gęstości sięga odległości rzędu jednego centymetra; w podobnym środowisku działanie promieni γ sięga odległości rzędu kilku metrów.

1) Działanie na rośliny. W celu naświetlania roślin promieniotwórczym można umieścić w pobliżu stałą substancję promieniotwórczą. Można również podlewać roztworem promieniotwórczym roślinę lub glebę, która ją żywi, można wreszcie nasycać promieniotwórczymi gazami powietrze otaczające roślinę.

Obserwowane zmiany zależą głównie od natężenia promieniotwórczości. Jeżeli natężenie jest zbyt wielkie, działanie jest zawsze szkodliwe, liście żółkną i rozsypują się, roślina więdnie. Nasiona poddane działaniu sil-

¹⁾ Porównaj książkę *Maurice Curie: Le Radium et les Radioéléments. Paryż 1925.*

nego promieniowania nie kiełkują lub wytwarzają rośliny pozbawione żywotności. Jeżeli stosowane dozy promieniowania są wystarczające, ale niezbyt silne, to działają jako dodatni bodziec: kiełkowanie jest szybsze i skuteczniejsze, wzrost lepszy, wytwarzanie kwiatów i owoców obfitsze.

Próbowano stosować wyniki badań do rolnictwa, a mianowicie wyrabiać *promieniotwórcze nawozy*, składające się głównie z odpadków fabrykacji minerałów promieniotwórczych lub z minerałów naturalnych, zbyt ubogich, aby fabrykacja radu mogła się opłacać. Aktywność tych substancyj wynosi od 5 do 10% aktywności tlenku uranowego, mierzonego w tej samej ilości i złożonego na jednakowej powierzchni. Z powodu różnorodnej natury tych nawozów jest rzeczą trudną porównywać wyniki otrzymane przez różnych eksperymentatorów i w różnych szkołach rolniczych; wyniki nie zawsze są zgodne; wszelako w niektórych przypadkach stwierdzono wzrost wydajności roślin zbożowych lub innych.

Należy zaznaczyć, że nawet w normalnych warunkach rośliny żyją w środowisku promieniotwórczym, ponieważ substancje promieniotwórcze są rozproszone zarówno w glebie, jak w powietrzu i w wodzie (por. rozdz. XXVIII). Wydaje się zatem uprawniony wniosek, że ta powszechna promieniotwórczość środowiska, co prawda bardzo słaba, stanowi jeden z czynników normalnego rozwoju. Potęgując znaczenie tego czynnika możemy w niektórych przypadkach spodziewać się pomyślnych wyników; jeżeli jednak posuwamy się w tym kierunku zbyt daleko, to niewątpliwie przyczyniamy się do naruszenia równowagi ze szkodą dla rośliny.

2) Działanie na tkanki zwierzęce. Substancje aktywne mogą działać na organizm zwierzęcy lub ludzki bądź jako *zewnętrzne źródło* promieniowania, bądź jako *wewnętrzne źródło*, pochłaniane przez przewód pokarmowy drogą wstrzykiwania roztworów promieniotwórczych lub też wdychania gazów promieniotwórczych. Radiopierwiastki przenikające do organizmu w jeden ze wspomnianych sposobów działają za pośrednictwem wszystkich składników promieniowania, spośród których promienie α są najskuteczniejsze. Natomiast w działaniu źródeł zewnętrznych, np. rurek szklanych lub platynowych zawierających radiopierwiastki, promienie α nie odgrywają żadnej roli, ponieważ są pochłaniane w ściankach tych rurek; czynne są tylko promienie β i γ .

a) Działania wewnętrzne. Wprowadzenie wielkich ilości radiopierwiastka wysyłającego promienie α do organizmu powoduje uszkodzenia często poważne, niekiedy śmiertelne; w doświadczeniach wykonanych ze zwierzętami zdołano oznaczyć letalną dawkę wstrzyknięć polonu lub toru X. Tak np. dawka polonu wynosząca 500 j. es (dla wyjaśnienia patrz § 74) jest śmiertelna dla królika. Polon nie działa jednak jako natychmiastowa trucizna, śmierć wynika z uszkodzeń rozwijających się w ciągu kilku dni i pozostających, jak się wydaje, w związku z nagromadzeniem się polonu w niektórych organach: np. w szpiku kostnym,

w śledzienie i w nerkach. Na tablicy XXII, fig. 5 widzimy powiększoną mikrofotografię, otrzymaną w ten sposób, że kliszę fotograficzną przykładano do płaskiego skrawka nerki zajęcej, spreparowanej w kilka dni po wstrzyknięciu zwierzęciu polonu; polon wydzielany częściowo wraz z moczem osiada obficie w zewnętrznej okolicy nerki; promienie α działają na kliszę i ukazują szczegóły struktury. Obraz tego rodzaju nosi nazwę *autoradiohistologicznego* (Lacassagne i Lattès).

Na podstawie znajomości dawek polonu lub toru X, śmiertelnych dla małych zwierząt, można sądzić, że dawki rzędu kilku tysięcy *j. es* byłyby śmiertelne lub bardzo niebezpieczne dla człowieka.

Jest rzeczą znacznie trudniejszą oznaczyć niebezpieczną dawkę w przypadku stosowania substancyj długotrwałych, np. radu. W istocie, jeżeli te substancje nie są usuwane, to mamy do czynienia z kumulacyjnym działaniem promieniowania, co może spowodować obrażenia pojawiające się dopiero po kilku latach i potęgujące się z czasem aż do wywołania śmierci¹⁾. Należy przeto zachować jak największą ostrożność w używaniu substancyj długotrwałych jako środków leczniczych; próby zaś powinny być dokonywane w zasadzie tylko z substancjami krótkotrwałymi, których całkowite działanie może być zbadane doświadczalnie.

Widzimy zatem, że dostatecznie wielka dawka promieni α daje szkodliwe skutki, wyrażające się w zniszczeniu, czyli w *nekrozie* naświetlonych komórek. Natomiast małe dawki działają niekiedy pobudzająco, podobnie jak w przypadku roślin; sprawa nie jest jednak jeszcze zupełnie wyjaśniona.

Nie posiadamy dotąd dokładnych wiadomości o wewnętrznym działaniu radiopierwiastków wysyłających tylko promienie β lub γ . Do doświadczeń tego rodzaju nadawałyby się najlepiej uran X lub rad E^2).

b) Działania zewnętrzne. Te działania zostały zbadane w przypadku promieni β , a zwłaszcza promieni γ . Jeżeli do wnętrza jakiejś tkanki, np. mięśnia, wprowadzamy cienką rurkę szklaną zawierającą dosyć znaczną ilość radu, mezotoru, lub radonu, to stwierdzamy, że tworzy się stopniowo strefa zupełnej nekrozy, ograniczona w tkankach długością zasięgu wychodzących z rurki promieni β . Promienie β silnego źródła niszczą zatem komórki wszelkiego rodzaju. To samo sto-

¹⁾ Godne pożałowania wypadki tego rodzaju zdarzały się przy fabrykacji świecących farb, gdyż robotnice, których zadanie polegało na tym, aby rozprowadzać farby pędzelkiem, miały niekiedy zwyczaj zmaczania pędzelka wargami. Zbyt często powtarzane pochłanianie małych ilości radu spowodowało u niektórych robotnic schorzenia, które niekiedy ujawniały się dopiero wtedy, gdy te robotnice już przestały pracować. Schorzenia te polegały na nekrozie stopniowo obejmującej szczękę i jamę ustną i głębokim zaburzeniu budowy krwi, zwanym złośliwą anemią. Badanie, wykonane za pomocą metod nauki o promieniotwórczości, wykryło w ciele pacjentek obecność radu, którego ilość można było nawet oznaczyć na podstawie wytwarzania radonu i aktywnego osadu.

²⁾ Oraz sztuczne radiopierwiastki wysyłające promienie β , np. ^{24}Na (L. W.).

suje się do promieni γ , jeżeli dawka jest bardzo wielka. Można jednak wykazać, że działanie ma charakter wybiórczy, uwydatniający się tym wyraźniej, im promienie są przenikliwsze: komórki posiadają bardzo różną wrażliwość na promieniowanie γ , zależną od ich natury, a nawet od stanu, w którym się znajdują. Najwrażliwsze są komórki obdarzone wielką aktywnością i znajdujące się w fazie szybkiej ewolucji lub rozmnażania się. Ten fakt, znany jako *wybiorcza cytolakstyczność* promieni γ (*Dominici*), mało jeszcze wyjaśniony z punktu widzenia teoretycznego, posiada niezmiernie wielkie znaczenie dla terapii, ponieważ pozwala atakować chore tkanki nie naruszając jednocześnie nasświetlanych zdrowych tkanek.

Ponieważ promienie γ działają za pośrednictwem wytwarzanych w tkankach promieni β wtórnych, przeto wspomniana wybiórczość powinna charakteryzować również promienie β wielkiej prędkości; pewne wskazówki w tym kierunku znaleziono badając działanie promieni β UX_2 na tkanki (*Lacassagne*). Różnica pomiędzy zachowaniem się promieni β i γ zależy głównie od sposobu absorpcji energii w tkankach. Absorpcja ma zupełnie inny przebieg w przypadku, gdy silne promienie β przenikają do tkanek z zewnątrz niż wtedy, kiedy są utworzone w głębi ciała wskutek stopniowej absorpcji promieni γ .

Najwrażliwsze części organizmu są to: skóra, błony śluzowe, szpik kostny i organy rozrodcze, natomiast mięśnie i kości są najmniej wrażliwe.

Uszkodzenie wywołane przez promienie rozwija się podobnie jak oparzenie; proces gojenia się jest tym trudniejszy, im uszkodzenie było głębsze, tj. im więcej było zaatakowanych komórek. Istnieje także efekt tzw. *ukrytego działania*, który tłumaczy się różną wrażliwością komórek skóry na promienie. Nasświetlanie nie wytwarza natychmiastowych zmian naskórka; oparzenie pojawia się dopiero po pewnym czasie, np. po kilku dniach. Wynika to z tego, że komórki położone głębiej w warstwie rozrodczej skóry są już zaatakowane, gdy tymczasem naskórek pozostał jeszcze nienaruszony; naskórek pozostaje przeto bez zmiany, dopóki nie zamrze w naturalnym biegu rzeczy, nie może jednak być zastąpiony świeżym.

Jak się wydaje, proces niszczenia komórek działaniem promieni postępuje indywidualnie, tj. na każdą komórkę oddzielnie; istnieje pewna analogia między tym zjawiskiem i działaniem promieni na mikroorganizmy. Niektóre spośród tych ostatnich, np. niektóre bakterie, drożdże, zarodki, są zabijane przez promienie X lub promieniowanie nadfioletowe, a także przez promienie α , β i γ ciał radioaktywnych. Najnowsze badania wykazały, że ten proces jest rządzony prawami prawdopodobieństwa. Dany mikroorganizm może tylko wtedy być uszkodzony śmiertelnie, jeżeli doznał określonego działania, np. jeżeli został trafiony przez cząstkę α lub pochłonął jeden lub kilka kwantów promieniowania elektromagnetycznego. Liczba kwantów s konieczna do wywołania śmierci nosi nazwę *progu*. Możemy traktować fotony jako pociski i wyobrazić sobie, że działanie następuje, gdy zostanie trafiony niewielki obszar wewnątrz mikroorganizmu, tzw. *strefa wrażliwa*. Jeżeli fotony wybie-

gające ze źródła padają na powierzchnię naświetlanej kultury w sposób zupełnie przypadkowy, to liczba elementów uśmierconych po upływie danego czasu naświetlania może być przedstawiona w zależności od tego czasu za pomocą rodziny krzywych prawdopodobieństwa, odpowiadających różnym wartościom progu s . Pierwsza z tych krzywych, $s=1$, jest to zwyczajna krzywa wykładnicza. Ta teoria zdaje dobrze sprawę z działania jednorodnych bardzo miękkich promieni X o długości fali 4 do 8 Å (Holweck i Lacassagne).

Jeżeli teoria stosuje się do zabijania komórek, to wynikałoby z niej, że promieniowanie nie może w żadnym przypadku uśmiercić wszystkich komórek danego typu, gdyż do tego byłby konieczny nieskończenie długi czas naświetlania.

Działanie na oko. Jeżeli promienie γ przenikają do oka bądź z przodu, bądź poprzez skroń, to wywołują wrażenie jasności, tym silniejsze, im szybciej nastąpiło pojawienie się promieni, np. wskutek nagłego zbliżenia rurki zawierającej około decygrama radu. Działanie to tłumaczy się zapewne wzbudzeniem fluorescencji w substancjach gałki ocznej, a może również bezpośrednim działaniem na siatkówkę.

§ 106. Zastosowania lecznicze.

Pierwsze próby stosowania radu w medycynie nastąpiły wkrótce po odkryciu radu i dotyczyły chorób skóry, np. wilka, czerwonych znamion, owrzodzeń powierzchownych itd. (Danlos). Odtąd zakres stosowań leczniczych radu stale wzrastał i obecnie przemysł radu i mezotoru rozwija się głównie wskutek zapotrzebowania tych ciał w medycynie. Gałąź medycyny zajmującą się leczniczymi zastosowaniami radiopierwiałków nazywamy *curieterapią*, przez analogię z *rentgenoterapią* stosującą promienie X . Słowo *radioterapia* bywa używane w znaczeniu ogólnym i obejmuje działania wszelkich promieniowań korpuskularnych lub elektromagnetycznych o wielkiej energii indywidualnej.

Radiopierwiałki mogą być używane w terapii drogą stosowania wewnętrznego, tj. jak zwykłe lekarstwo; wówczas działają głównie za pośrednictwem promieni α ; rzecz ma się podobnie, gdy ich używamy w kąpieli. Mogą również działać z zewnątrz, tj. za pomocą promieni γ , wówczas sposób ich używania jest podobny do używania promieni X .

1) Curieterapia wewnętrzna lub za pomocą kąpieli. Ta terapia opiera się na domniemanym pobudzającym działaniu promieniowania α bądź rozproszonego w organizmie, bądź umiejscowionego w sposób bardziej określony; podstawy naukowe tej metody są jeszcze słabo ugruntowane, postępowanie ma charakter empiryczny. Istnieje wiele różnych postaci tej terapii:

a) *Zazywanie* stosuje się najczęściej w postaci napoju sporządzonego z wody promieniotwórczej, naturalnej lub sztucznej. W obu przypadkach ciałem czynnym jest to radon, gdyż naturalne wody mineralne zawierają rzadko ślady radu (§ 148).

b) *Wstrzykiwania* są stosowane dożylnie, domięśniowo lub doustowo. Do wstrzykiwań używa się jałowego roztworu fizjologicznego (roztwór 7,5 g NaCl w litrze czystej wody), zawierającego radiopierwiastek w roztworze, np. rad, mezotor, radiotor, tor X, aktyn X; wstrzykuje się również roztwory radonu lub aktywnego osadu radu.

c) *Inhalacja* polega na oddychaniu powietrzem zawierającym radon. W tym celu używa się sal i kabin inhalacyjnych, lub aparatów indywidualnych, w których znajduje się roztwór radu. Dla inhalacji toronu używa się przyrządów zawierających tor X.

d) *Kąpiele* są przyrządzane za pomocą naturalnych lub sztucznych wód promieniotwórczych, zawierających najczęściej radon, oraz promieniotwórczych błot z zawartością radu, niekiedy zaś toru lub radiotoru.

Aktywności, z którymi ma się do czynienia w tych zabiegach są zawsze bardzo małe; dawki radu oznacza się w mikrogramach, dawki radonu w mikrocurie lub nawet w milimikrocurie. Radiopierwiastki wprowadzone do organizmu są częściowo usuwane, częściowo zaś przyswajane trwale i zanikają tylko wskutek samorzutnej przemiany.

Obecnie istnieją specjalne zakłady lecznicze, zużytkowujące dla celów tej terapii naturalne wody i gazy promieniotwórcze danej okolicy.

2. *Curioterapia zewnętrzna* za pomocą promieni γ . Ta terapia, której podstawy naukowe zostały ugruntowane w licznych doniosłych badaniach, posługuje się stosunkowo wielkimi ilościami radiopierwiastków. Źródła promieniowania są to tzw. *ogniska*, które łączy się po kilka rozmieszczając je w taki sposób, aby otrzymać największe działanie. Substancją najczęściej używaną jest rad w postaci soli, zazwyczaj siarczanu, umieszczonej w szczelnych osłonach szklanych lub metalowych, mających postać wąskich *rurek* zamkniętych na dwóch końcach lub posiadających jeden koniec zaokrąglony (igły). Istnieją także przyrządy innej postaci, mianowicie *okłady*, w których siarczan radu jest rozmieszczony na płaskiej powierzchni i przymocowany za pomocą werniksu. Rurki, igły i okłady zawierają sole radu i baru, zawartość radu może wahać się od 10 do 90%. Czynne są, praktycznie biorąc, tylko przenikliwe promienie pochodnych radu, ponadto promienie filtruje się w celu usunięcia pierwotnych promieni β . Zanik radu jest dosyć powolny, aby można było traktować tę substancję jako niezmienną (strata około 0,04% na rok).

Można zastąpić rad mezotorem $MTh1$, który daje promienie γ pochodzące od krótkotrwałych pierwiastków $MTh2$ i ThC'' . Mezotor zanika do połowy w ciągu 6,7 lat; przebieg przemian promieniotwórczych jest bardzo skomplikowany (por. § 139), toteż jest rzeczą konieczną często sprawdzać czynne promieniowanie. Można wreszcie używać radiotoru zanikającego do połowy w ciągu 2 lat, ponieważ z radiotoru powstaje również ThC'' .

W niektórych przypadkach zamiast radu używa się radonu, którego okres wynosi tylko 3,8 dni; w obu przypadkach działanie pochodzi od promieni γ radu C.

Za pomocą metod opisanych poprzednio (§ 51) można wydobywać z roztworu radu nagromadzony w nim radon, który następnie oczyszcza się w dostatecznym stopniu, aby go można było skondensować lub wtłoczyć do długiej włoskowatej rurki, zamkniętej na końcu. Po odlutowaniu rurki dzieli się ją za pomocą małego płomyczka na tyle odcinków, ile to jest potrzebne. Po upływie 3 godzin, tj. po osiągnięciu równowagi z aktywnym osadem, mierzy się promieniowanie γ rurek i możliwie natychmiast oddaje się je do użytku; za pomocą odpowiednich tablic oblicza się dawki z uwzględnieniem zaniku radonu. Przyrządzaniem rurek z radonem zajmują się tylko Instytuty posiadające stosunkowo wielkie ilości radu, przechowywane w postaci roztworów zawierających niekiedy gram lub więcej radu. Średnica rurek wynosi co najwyżej kilka dziesiątych części milimetra (0,4 mm w Paryskim Instytucie Radowym), co umożliwia wprowadzanie ich do metalowych osłon oraz igieł. Dogodność używania radonu wynika z cienkości rurek oraz dobierania w odpowiedni sposób ich zawartości. Ponadto rurki z radonem posiadają bez porównania mniejszą wartość pieniężną niż rad i mogą być używane w szpitalach bez ryzyka znacznej straty materialnej.

Niezależnie od tego, jakiego radiopierwiastka się używa, istotnym warunkiem racjonalnego stosowania jest dokładna znajomość natężenia promieniowania. W zakładach leczniczych powinno istnieć małe laboratorium pomiarowe, służące do tego celu.

Działanie promieniowania na tkanki jest zależne od jego rozmieszczenia. Jeżeli chcemy osiągnąć głęboko położonej okolicy bez uszkodzenia okolicy powierzchniowej, przez którą przechodzą promienie, to musimy zrealizować naświetlanie możliwie najbardziej równomierne. W tym celu używa się przenikliwych promieni γ , wybranych z całkowitego promieniowania drogą filtrowania (*Dominici*).

Do filtrowania służą metalowe osłony, najczęściej z platyny irydowej, grubości 0,5 mm. Osłony usuwają pierwotne promienie β i miękkie promienie γ , pozostawiają jednak wtórne promieniowanie β , wytworzone w warstwie powierzchniowej przez twarde promienie γ ; ilość tego wtórnego promieniowania można zmniejszyć otaczając filtrującą osłonę inną osłoną z substancji utworzonej z lekkich atomów, np. z wosku, korka, kauczuku, glinu.

W celu otrzymania korzystnego rozkładu promieniowania w naświetlonym obszarze, używa się źródeł utworzonych z kilku rurek tworzących dokładnie dobrany układ geometryczny.

Poprawne stosowanie naświetlania wymaga ponadto szczegółowego badania wrażliwości tkanek i zmian, które w nich zachodzą pod działaniem promieniowania. Systematyczne badania tego rodzaju mogą być wykonywane tylko w instytutach rozporządzających personelem naukowym i odpowiednio zorganizowanymi laboratoriami.

Curioterapię zewnętrzną stosuje się w różnych chorobach skóry, w krwotokach maciecznych, w niektórych rodzajach neurytów, złośliwych blizn itp.

Główne wysiłki są jednak skierowane na walkę z głębokimi nowotworami, w których leczeniu dotąd można było posługiwać się tylko zabiegami chirurgicznymi. Nowotwory bywają bardzo różnych rodzajów

i posiadają niejednakową wrażliwość na promieniowanie. W niektórych odmianach tej choroby leczenie promieniami radu daje duży odsetek trwałych wyleczeń. Inne odmiany są bardziej odporne i wymagają nowych badań. W zależności od rodzaju schorzenia i warunków geometrycznych używa się curieterapii bądź rentgenoterapii, bądź wreszcie połączenia obu tych sposobów. Już obecnie osiągnięto doniosłe wyniki; należy oczekiwać dalszego postępu w miarę, jak badania naukowe zostaną pogłębione i bardziej rozpowszechni się wczesne rozpoznawanie i natychmiastowe leczenie raka.

§ 107. Ochrona od promieniowania.

Wykonywanie doświadczeń z substancjami promieniotwórczymi wymaga szeregu ostrożności w celu uniknięcia niektórych niebezpieczeństw, a mianowicie wprowadzania do organizmu radiopierwiałków oraz skutków promieniowania przenikliwego, działającego z zewnątrz.

1°. Niebezpieczeństwo wchłaniania. Z tego punktu widzenia można porównać zachowanie się radiopierwiałków do działania powolnych trucizn, jakkolwiek mechanizm działania jest w obu przypadkach różny. Wprowadzenie radiopierwiałków do organizmu jest szkodliwe, jeżeli dawka jest nadmierna lub jeżeli skutki nagromadzają się, natomiast pierwiastki wchłaniane w bardzo małej ilości mogą być pożyteczne lub co najmniej nieszkodliwe. Należy zatem zachować podczas pracy podobne środki ostrożności, jakie są konieczne wtedy, kiedy m się do czynienia z trującymi substancjami chemicznymi.

Ostrożności polegają na tym, że o ile możności, należy dotykać substancji stałych i płynnych odpowiednimi narzędziami zamiast rękami, unikać rozpraszania się w powietrzu pyłków lub kropelek, używać pipetek wciągających ciecz przez rozprężenie rurki lub gruszki kauczukowej, wreszcie unikać w pracowniach obecności gazów promieniotwórczych, a w razie potrzeby wydalać je na zewnątrz i skutecznie wentylować pomieszczenie. W przypadku przerabiania substancji skoncentrowanych można posługiwać się odpowiednio zbudowanymi wyciągami, oszklonymi ze wszystkich stron i zaopatrzonymi w otwory do wprowadzania rąk; przez wyciąg przechodzi prąd powietrza porywający wywiązujące się gazy. Wreszcie jest rzeczą wskazaną nie przebywać bez potrzeby w sąsiedztwie silnych preparatów podczas ich przeróbki chemicznej, lecz oddalać się natychmiast, gdy bezpośrednie dogłębienie nie jest konieczne.

2°. Niebezpieczeństwo przenikliwego promieniowania. Z tym niebezpieczeństwem spotykamy się zarówno podczas eksperymentowania z substancjami promieniotwórczymi jak i podczas ich przechowywania. Istnieją dwa główne środki ochronne. Po pierwsze należy umieszczać pochłaniające ekrany z ciężkiej substancji, np. z ołowiu, pomiędzy eksperymentatorem i źródłem promieni, po wtóre przebywać tak daleko od źródła promieni, jak na to pozwalają warunki pracy, ponieważ natężenie źródła niewielkich rozmiarów zmniejsza się odwrotnie pro-

porcjonalnie do kwadratu odległości. Podobnie postępuje się w pracy z promieniami X, wszelako z powodu większej przenikliwości promieni γ należy używać grubszych ekranów ochronnych.

W Paryskim Instytucie Radowym używa się często ekranów z ołowiu w celu ochrania pracowników, podobnie jak dla zabezpieczenia przyrządów elektrometrycznych od przychodzącego z zewnątrz promieniowania. Niekiedy zdarza się nawet, że te same osłony ołowiane ochraniają zarówno przyrządy jak i eksperymentatora. W innych przypadkach używa się dodatkowych osłon: ekranów w laboratorium pomiarowym, ochronnych firanek przy przyrządzie do otrzymywania radonu, stołów obitych ołowiem do wykonywania czynności z rurkami zawierającymi rad lub radon, grubych szyb ze szkła ołowiowego, umieszczanych między tymi rurkami i twarzą pracownika itd.

W celu manipulowania rurkami zawierającymi skoncentrowaną substancję promieniotwórczą, należy posługiwać się kompletem pincetek służących do uniknięcia wszelkiego rodzaju nieostrożności. Rurki należy przenosić w pudełkach ze ściągami obitymi ołowiem dostatecznej grubości. Do przechowywania preparatów służą skrzynki lub szafy zabezpieczone ściągami ołowianymi, o grubości 1 *cm* lub więcej, lub ściągami ze zwykłej cegły o grubości 20 *cm* lub więcej. W celu łatwiejszego przenoszenia ekranów buduje się je często ze specjalnych cegieł ołowianych¹⁾.

Nadzwyczaj ważne jest kontrolowanie stanu zdrowia pracowników za pomocą analizy krwi; w istocie zaburzenia pochodzące od promieniowania są często związane w fazie początkowej ze zmianą histologicznej budowy krwi, a mianowicie liczby ciałek czerwonych i białych oraz względnej zawartości ciałek wielokomórkowych. Wówczas jest rzeczą konieczną przerwać pracę lub zmienić jej warunki.



¹⁾ Niektóre groźne wypadki w zakładach przemysłowych lub handlowych były wynikiem wyraźnej wadliwej organizacji pracy.