

# **Zastosowanie promieniowania rentgenowskiego w medycynie**

**Katarzyna Kotynia\*, Jacek Filipecki**

Instytut Fizyki, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Akademia im. Jana Długosza,  
Al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa

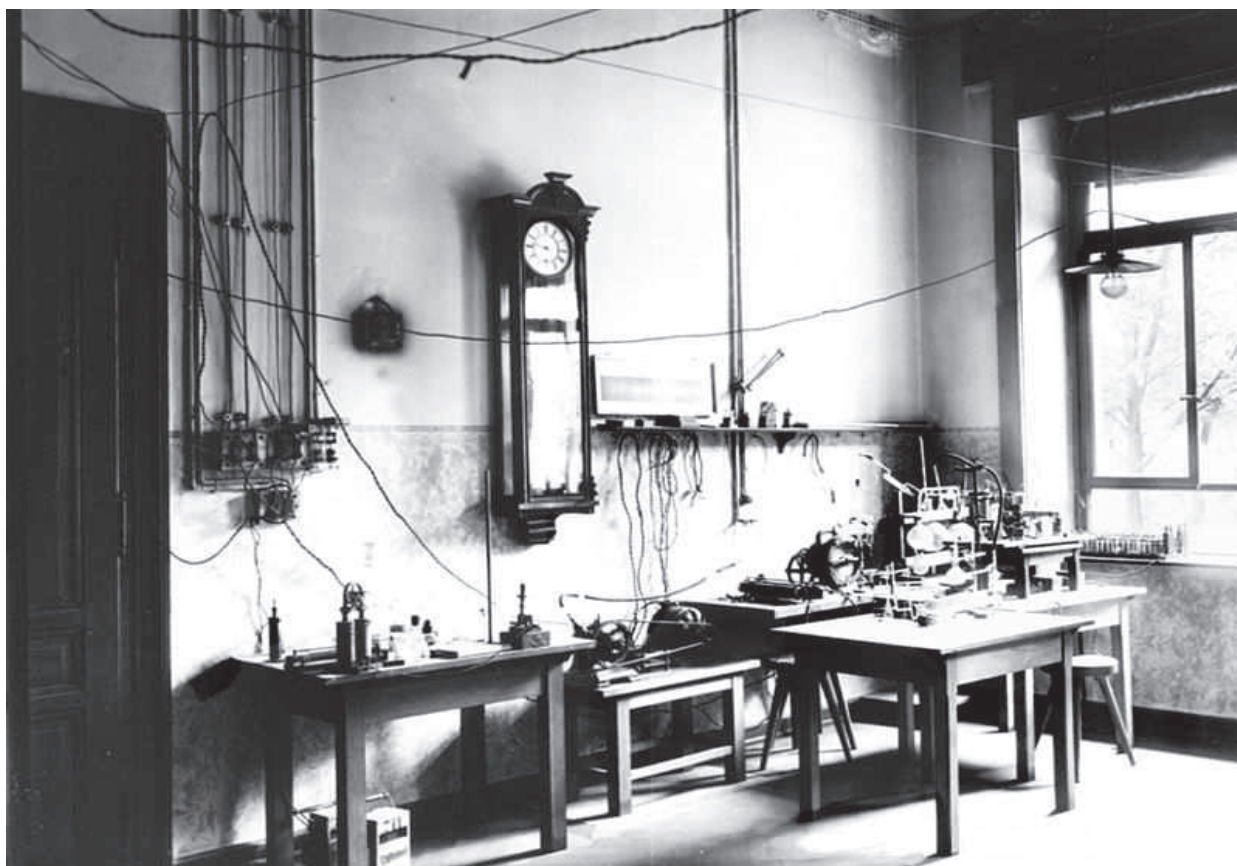
\* [kasiakotynia@o2.pl](mailto:kasiakotynia@o2.pl)

## **Streszczenie**

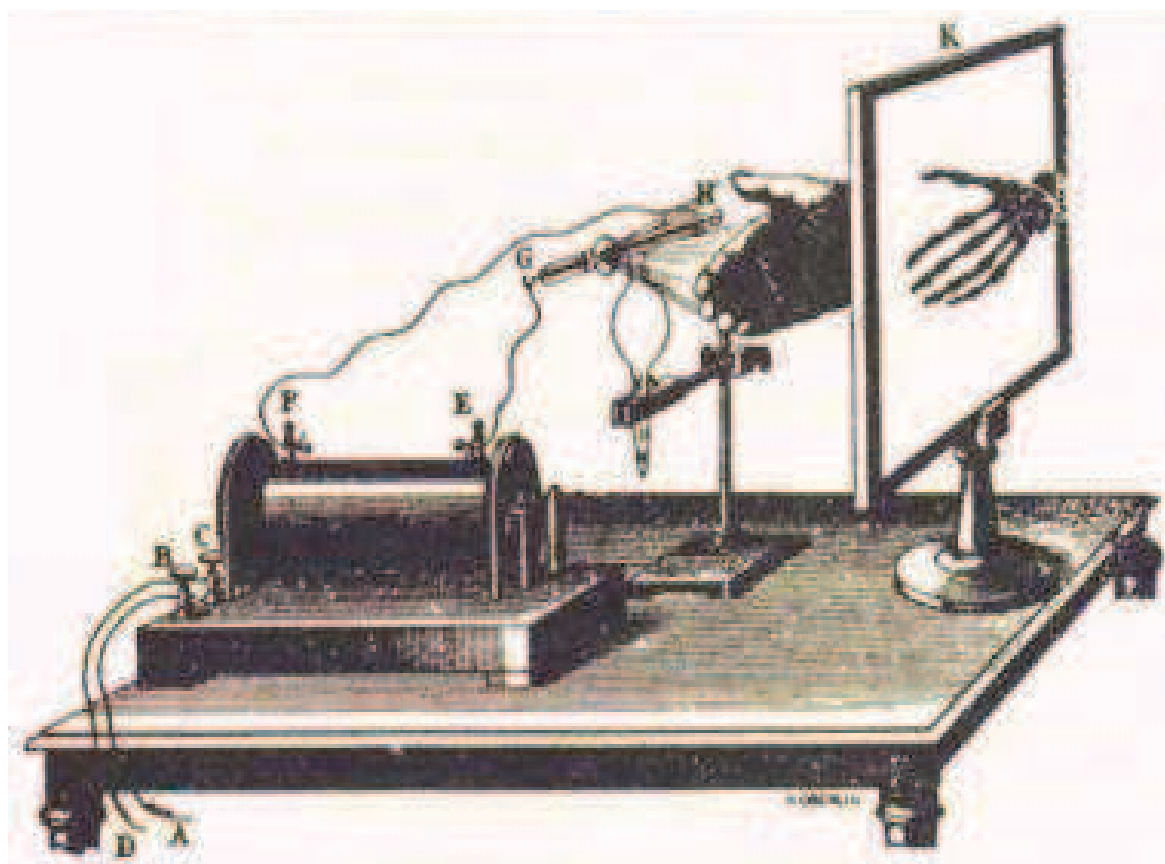
Od przypadkowego odkrycia promieniowania rentgenowskiego mija prawie 220 lat, nadal jednak dokonanie Röntgena jest podstawą wielu dziedzin nowoczesnej medycyny. Dzięki niemu człowiek mógł po raz pierwszy zobaczyć wewnątrz ciała bez konieczności zabiegu chirurgicznego. Omawianym tematem jest wykorzystanie promieniowania rentgenowskiego jako szczególnie ważnego narzędzia w diagnostyce medycznej.

## **Wprowadzenie**

Odkrycie promieniowania X zostało dokonane 8 listopada 1895 roku przez niemieckiego uczonego Wilhelma Conrada Röntgena, profesora fizyki w Würzburgu. W swoim laboratorium badał fenomeny świetlne występujące podczas wyładowań elektrycznych w lampach szklanych o wysokim stopniu próżni przy użyciu lampy Crookesa. Röntgen pracował nad poznaniem właściwości promieni katodowych, a przede wszystkim nad określeniem ich zasięgu poza obrębem lampy. W trakcie eksperymentu, całkowicie niespodziewanie, naukowiec zaobserwował niezwykle zjawisko żarzenia się ekranu pokrytego kryształkami czteropłytynocyjanku baru. Ekranem był papier fluorescencyjny, w owym czasie standardowo używanym do wykrywania promieniowania ultrafioletowego. W momencie wykonania doświadczenia przypadkowo znajdował się on w laboratorium, w zasięgu oddziaływania pochodzącego z lampy. Uwagę odkrywcy zwrócił fakt, że ekran był zbyt oddalony od źródła promieniowania katodowego, by mogło ono stać się przyczyną jego żarzenia. Zaskakujące było to, że szczelne przykrycie lampy tekturą nie wyeliminowało obserwowanego zjawiska, co ostatecznie negatywnie zweryfikowało przypuszczenie o tym, że za powstanie tego fenomenu odpowiedzialna była poświata powstająca podczas wyładowania elektrycznego wewnątrz lampy.



Rys. 1. Laboratorium W.C. Röntgena, Uniwersytet w Würzburgu [1].



Rys. 2. Prześwietlenie ręki promieniami Röntgena, ilustracja pochodzi z 1896 roku [1].

W ciągu następnych kilku dni, jakie nastąpiły po 8 listopada, Röntgen przeprowadził szereg prób, w trakcie których na drodze pomiędzy lampą a ekranem umieszczał różne przedmioty. Wtedy też spostrzegł na ekranie wyraźnie zarysowaną strukturę szkieletu własnej dłoni [1]. Uczony nie wiedział na ile jego obserwacje są naukowo wiarygodne, czego dowodzą wzmianki o badaniach w listach do przyjaciół. Röntgen zwierzał się im: „Odkryłem coś interesującego, ale nie wiem, czy moje obserwacje są właściwe”. Swoje badania prowadził jednak dalej. Kiedy wreszcie nabrał pewności, że tajemnicze promieniowanie istnieją naprawdę, 28 grudnia 1895 przesłał do Würzburgu, Towarzystwa Fizyczno-Medycznego raport. Dołączył do niego słynne rentgenowskie zdjęcie ręki z widocznym cieniem pierścienia na palcu, która należała do żony naukowca – Berty (Rys. 3) [1, 2].



Rys. 3. Pierwsze publicznie wykonane zdjęcie rentgenowskie z 22 grudnia 1895 roku [2].

W raporcie znalazło się wyszczególnienie właściwości promieniowania X. Z punktu widzenia przydatności tego promieniowania do stosowania w medycynie, najistotniejsze okazało się to, że:

- Zdolność do transmisji promieniowania X przez różne materiały o tej samej grubości zależy w głównej mierze od ich gęstości.
- Zdolności do transmisji promieniowania X przez próbki z tego samego materiału zależą od ich grubości, wraz ze wzrostem grubości materiału transmisja tych promieni maleje.
- Płytki fotograficzne są czułe na promieniowanie X.

Kiedy wyniki raportu zostały rozpropagowane przez gazetę *The New Year's Day*, nastąpiła zawrotna kariera zarówno promieni X, jak i ich odkrywcy. Już w styczniu 1896 roku cudowne odkrycie znał cały świat, a ludzi, nie tylko tych związanych

z nauką, ogarnęła swoista „X-ray mania”. Sukces Röntgena zwieńczyła w 1901 roku Nagroda Nobla, pierwsza w historii, jaką nadano w dziedzinie fizyki [3].

Już w kilka miesięcy po ogłoszeniu odkrycia Röntgena przeprowadzono pierwsze próby wykorzystania promieni w diagnostyce. Znakomity profesor chirurgii w Bernie, Teodor Kocher, stwierdził za pomocą promieni Röntgena, w którym miejscu utkwiała igła, gdy pacjent wbił ją sobie w rękę. Internista z Kilonii, Georg Hoppe-Seyler, stwierdził rentgenologicznie w 1896 roku arteriosklerotyczne zmiany tętnicy promieniowej. Z kolei berliński lekarz, Wolf Becher, na podstawie doświadczeń na zwierzętach wyraził pogląd, że promieniowanie Röntgena można wykorzystać do zdjęć fotograficznych żołądka pod warunkiem, że napelni się go środkami kontrastowymi, mało przenikliwymi dla promieni. Po licznych próbach różnych sposobów zastosowania takich środków pomysł ten zrealizował w kilka lat później klinicysta z Monachium, Herman Rieder, wprowadzając środek kontrastowy drogą doustną (1904)[1, 4]. W kilkanaście miesięcy po odkryciu Röntgena opisano już uwidocznione na fotografiach kamienie żółciowe i nerkowe, w płucach rozróżniono rozmaitego rodzaju nacieki oraz zmiany gruźlicze. Opisywano obrazy guzów, podjęto próby oznaczania położenia płodu u ciężarnych kobiet. Ale wszystkie te osiągnięcia wyprzedziła chirurgia kostna, zyskując w promieniach X precyzyjny środek do rozpoznania nie tylko złamań i zwichnięć, ale i różnych schorzeń zapalnych oraz nowotworowych kości i stawów. Wprowadzenie środków kontrastowych umożliwiło z czasem oglądanie i ocenę układu pokarmowego i badanie czynności wydzielniczych nerek (urografia) a częściowo i wątroby (cholecystografia) [4].

Rozwój badań za pomocą promieni Röntgena był tak szybki, że już w 1912 roku Niemieckie Towarzystwo Rentgenologiczne powzięło uchwałę w myśl, której radiologia powinna być uznana za samodzielną dyscyplinę lekarską, równoprawną z innymi specjalnościami [2, 3].

## **Rentgenodiagnostyka jako specjalność zajmująca się zastosowaniem promieniowania rentgenowskiego**

Rentgenodiagnostyka jest odrębną specjalnością lekarską zajmującą się zastosowaniem promieniowania rentgenowskiego do badań mających na celu rozpoznanie chorób. Pod pojęciem „rozpoznanie” należy rozumieć wykrywanie procesu patologicznego, jego umiejscowienie oraz określenie jego charakteru i stopnia zaawansowania. Podczas badania radiologicznego u ok. 50% chorych można ostatecznie ustalić rozpoznanie choroby, u dalszych 30% ma znaczenie pomocnicze, ponieważ wnosi wiele ważnych informacji, które wykorzystywane są w procesie leczenia.

Metody radiologiczne znajdują szczególne zastosowanie w rozpoznaniu: następstw urazów, choroby nowotworowej, chorób układu trawiennego, oddechowego i krążenia oraz zmian przeciążeniowych w układzie kostno-stawowym. Stanowią one podstawę działalności specjalności zabiegowych: chirurgii ogólnej, kardiochirurgii, chirurgii naczyniowej, neurochirurgii, urologii i ortopedii, gdyż umożliwiają lub ułatwiają ustalenie wskazań do leczenia operacyjnego [5].

## **Współczesne systemy rejestracji obrazu radiologicznego**

Istnieje wiele systemów rejestracji obrazu radiologicznego. Należą do nich: konwencjonalne zdjęcie rentgenowskie, radiografia cyfrowa, prześwietlenia, systemy umożliwiające rejestrację czynności narządu oraz tomografia komputerowa [5].

### **Konwencjonalne zdjęcia rentgenowskie**

Promienie rentgenowskie po przejściu przez ciało pacjenta padają na powierzchnię błony rentgenowskiej, która składa się z polietylowego podłoża, pokrytego z obu stron emulsją fotograficzną. Emulsję tworzy zawiesina bromku i jodku srebra w żelatynie. Błona znajduje się w specjalnej kasecie rentgenowskiej. Jej ściany wewnętrzne pokryte są foliami wzmacniającymi, które ściśle przylegają do powierzchni błony. Istotnym elementem folii wzmacniających jest warstwa luminoforu w zawieszynie plastikowej. Do niedawna najbardziej efektywnym luminoforem był ortowolframian (VI) wapnia –  $\text{CaWO}_4$ . Obecnie wykorzystuje się luminofor ze związków pierwiastków ziem rzadkich, które wysyłają znacznie więcej światła widzialnego niż wolframian wapnia. Odpowiedni dobór wielkości ziarna luminoforu ma istotny wpływ na jakość zdjęcia i dawkę promieniowania, jaką otrzymuje pacjent. Folie wzmacniające zmieniają znaczną część padających na nie promieni rentgenowskich na światło widzialne, a tym samym wzmacniają efekt naświetlania emulsji fotograficznej.

Po naświetlaniu błona rentgenowska, podobnie jak każda błona fotograficzna, poddana jest obróbce fotochemicznej. Proces ten odbywa się automatycznie i składa się z wywołania, kąpieli pośredniej, utrwalania, płukania i suszenia.

Obraz, jaki otrzymujemy na zdjęciu rentgenowskim, zależy w dużej mierze od geometrii wiązki promieni rentgenowskich. Rozbieżny kształt wiązki powoduje, że fotografowany przedmiot ulega powiększeniu. Niekorzystnemu zniekształceniu obiektu można zapobiec, jeśli znajduje się on możliwie blisko błony (kasety) rentgenowskiej, a odległość ogniska lampy od błony jest duża. Zdjęcia rentgenowskie wykonuje się przeważnie z odległości 100 cm. Zniekształcenie przedmiotu w zależności od jego położenia w wiązce promieni ilustruje Rys. 4 [6]. W obrazie rentgenowskim, który jest sumą nakładających się na siebie cieni, trudno niekiedy ocenić niektóre części przedmiotu. Dlatego z zasady przedmiot bada się za pomocą dwóch zdjęć, w dwóch prostopadłych do siebie rzutach.

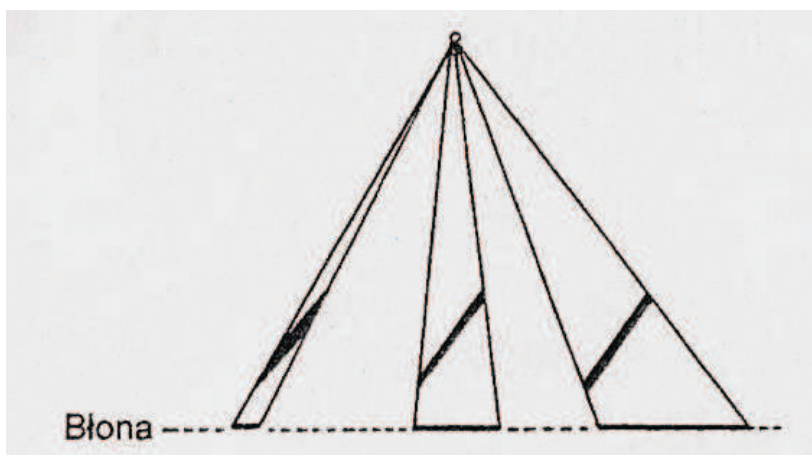
Dobry obraz rentgenowski powinien charakteryzować się właściwym kontrastem i dobrą ostrością. Pod pojęciem kontrastu rozumie się różnice w zaczernieniu poszczególnych pól obrazu, odpowiadające różnicom gęstości tkanek uwidocznionych na zdjęciu [6].

Kontrast obrazu zależy od: jakości promieniowania, budowy przedmiotu, czułości błony i rodzaju folii wzmacniających oraz ilości promieniowania rozproszonego i stopnia „zadymienia” błony.

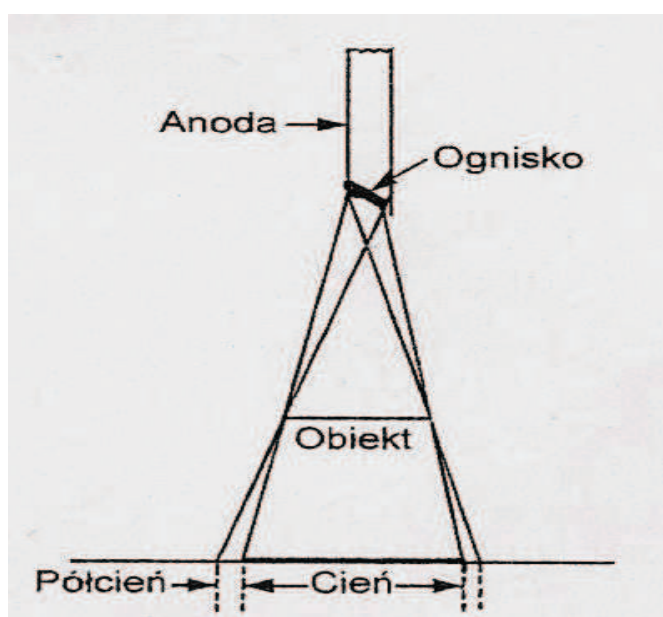
Ostrością nazywa się zdolność do dobrego zarysowania granic części składowych przedmiotu. Nieostrość zarysów utrudnia rozpoznanie szczegółów obrazu i ob-

jawia się występowaniem półcienia. Odróżnia się cztery rodzaje nieostrości: geometryczną, fotograficzną, ruchową oraz nieostrość zależną od promieniowania rozproszonego. Nieostrość geometryczna zależy od wielkości ogniska optycznego lampy rentgenowskiej (Rys. 5). Obowiązuje zasada, że im mniejsze ognisko, tym mniejsza nieostrość [6]. Nieostrość fotograficzna jest zależna od wielkości ziaren luminoforu folii wzmacniającej i emulsji błony. Im współczynnik wzmocnienia folii jest większy i im czulsza jest błona, tym nieostrość jest większa. Ruchy przedmiotu lub jego części są odpowiedzialne za nieostrość ruchową. Może być ona zmniejszona przez krótkie czasy naświetlania lub przez unieruchomienie badanej części ciała.

Rozdzielczością nazywa się zdolność do uwidaczniania oddzielnie drobnych szczegółów obrazu, które są położone bardzo blisko siebie. Zdjęcia rentgenowskie wykonane bez folii wzmacniających mają bardzo dobrą zdolność rozdzielczą. Folie wzmacniające zmniejszają nieco rozdzielczość błony, pozwalają jednak zmniejszyć dawkę promieniowania, jaką otrzymuje pacjent [6].



Rys. 4. Zmiana kształtów i wymiarów przedmiotu, zależna od położenia w stosunku do promienia środkowego [6].



Rys. 5. Półcień zależny od wielkości ogniska lampy [6].

## **Radiografia cyfrowa**

W systemie radiografii cyfrowej w miejsce błony rentgenowskiej wprowadza się odpowiednią folię pamięciową, w której rolę bromku i jodku srebra spełniają związki fosforu lub selenu. Po naświetlaniu folii promieniami rentgenowskimi powstaje w niej, podobnie jak w emulsji fotograficznej, obraz utajony. Obraz ten odczytuje się za pomocą czytnika laserowego i zapisuje się w postaci cyfrowej w układzie pamięciowym komputera. Po sprzężeniu komputera z drukarką laserową można wynik badania przedstawić na papierze termoczułym lub błonie fotograficznej.

Radiografia cyfrowa jest rozwiązaniem kosztownym, lecz ma wiele zalet, wśród których wymienia się [6]:

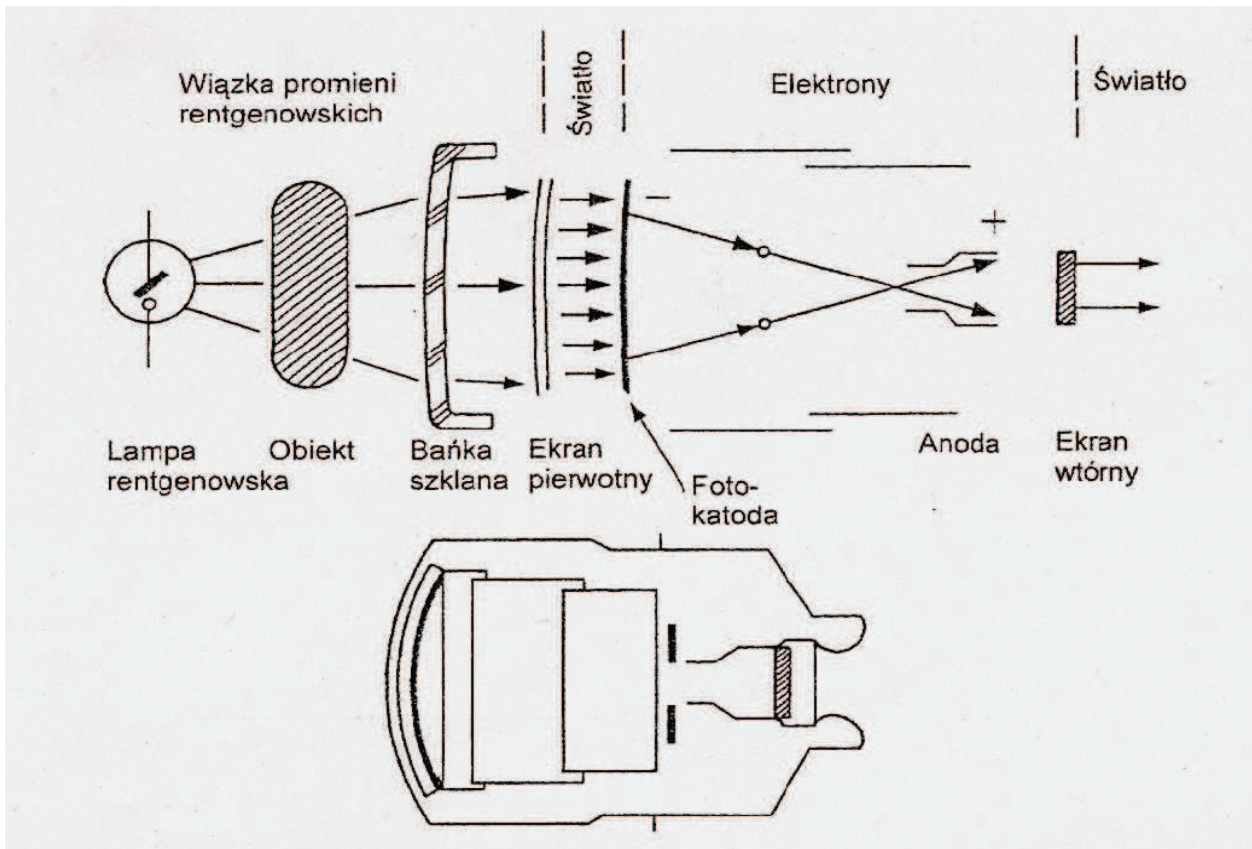
- Wyższą czułość kontrastową w porównaniu do emulsji fotograficznej, co umożliwi istotne zmniejszenie dawki promieni X, jaką otrzymuje pacjent.
- Możliwość przetwarzania danych, archiwizowania w układach pamięciowych komputerów i przesyłania na odległość z zachowaniem wysokiej jakości obrazu.

## **Prześwietlenie**

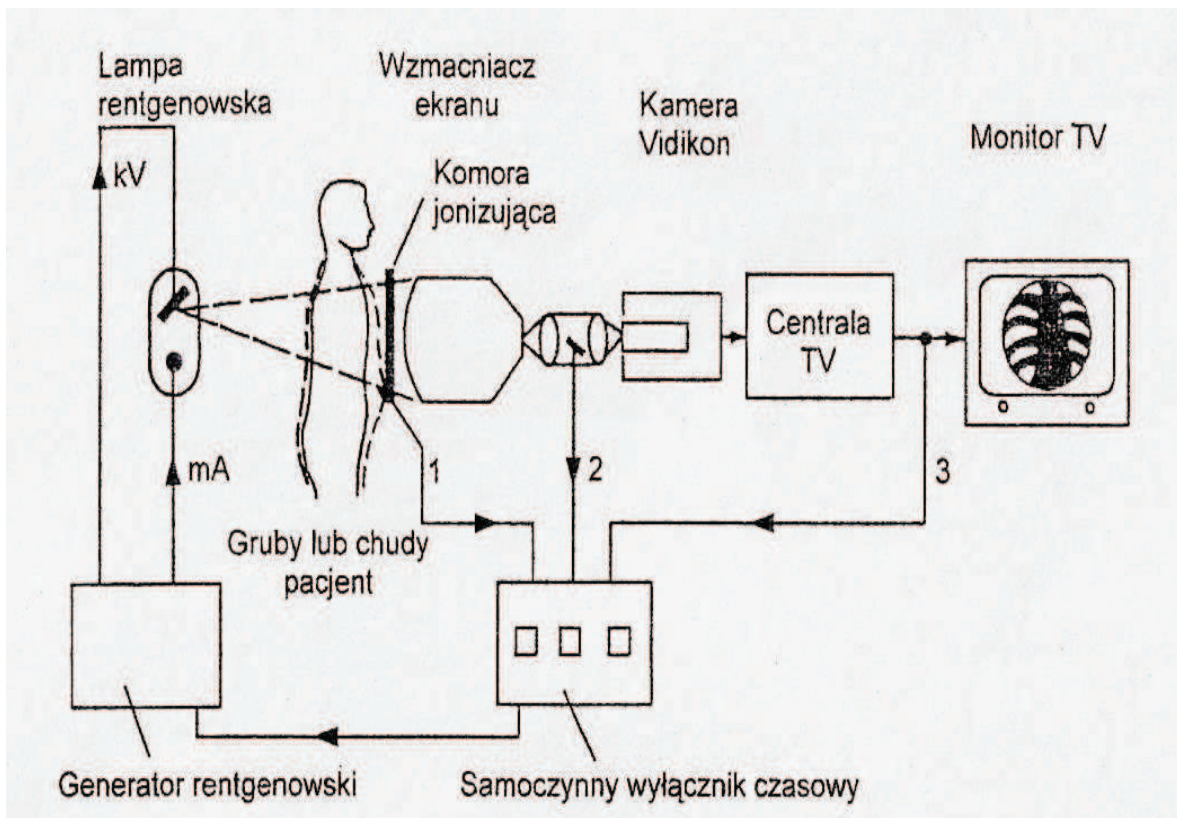
Prześwietlenia są wykonywane za pomocą wzmacniacza obrazu połączonego z telewizją w obwodzie zamkniętym. Wzmacniacz obrazu jest szklaną bańką próżniową (Rys. 6). W jej wnętrzu znajdują się: ekran luminescencyjny pierwotny, fotokatoda, elektrostatyczne soczewki skupiające, anoda i ekran wtórny. Zadaniem wzmacniacza jest zmiana promieniowania rentgenowskiego na światło widzialne. W zależności od różnic pochłaniania promieniowania przez ciało badanego na ekranie wzmacniacza powstaje obraz podobny jak na błonie rentgenowskiej. Zwykle wzmacniacz łączy się z kamerą telewizyjną i monitorem, który służy do prezentacji wyniku badania (Rys. 7) [6].

Korzyści prześwietlania za pomocą systemu wzmacniacz obrazu-telewizja są następujące [6]:

- Duża jasność obrazów podczas badania w niezaciemnionym pomieszczeniu.
- Polepszenie jakości obrazu przez dobry kontrast i uwidocznienie szczegółów.
- Zmniejszenie o około 25% obciążenia promieniowaniem pacjentów i radiologów.
- Przeniesienie obrazów na oddalony od pacjenta monitor, magnetowid lub taśmę filmową.
- Zmiana obrazu analogowego na cyfrowy.



Rys. 6. Budowa i działanie wzmacniacza obrazu [6].



Rys. 7. Układ wzmacniacz obrazu – telewizja do prześwietleń [6].



## Radiologiczne badania czynnościowe

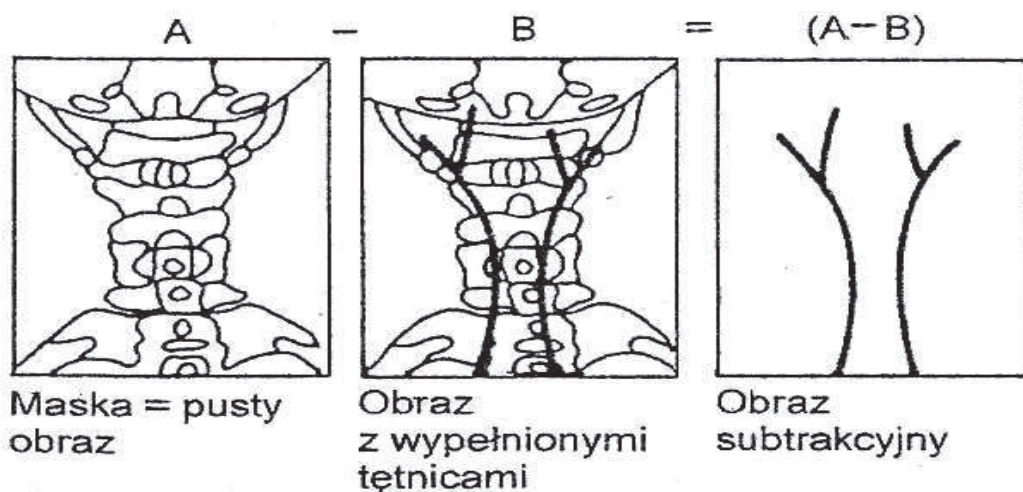
Wiele narządów, takich jak serce, naczynia, przewód pokarmowy i inne, znajdują się w ciągłym ruchu. Pojedyncze zdjęcia nie zawsze są wystarczające do ich oceny. W przypadku badania zjawisk dynamicznych mamy do dyspozycji następujące urządzenia [6]:

- Zmieniacz błon rentgenowskich, umożliwiający wykonanie do 12 zdjęć/s. System ten znajduje szczególne zastosowanie w konwencjonalnej angiografii.
- Kamera filmowa 35 mm, połączona ze wzmacniaczem obrazu, umożliwia wykonanie do 200 zdjęć/s. Znajduje zastosowanie w badaniach serca (koronardiagnostyka, kontrastowe badanie serca).
- Magnetowid z zapisem obrazu na taśmie magnetycznej (badanie aktu połknięcia, przełyku, odpływów pęcherzowo - moczowodowych itp.).
- Systemy cyfrowe z możliwością przetwarzania obrazu.

## Cyfrowa angiografia subtrakcyjna

Stanowi ona udoskonalenie dotychczasowych metod badania serca i układu naczyniowego. Istota działania tej metody jest zbliżona do subtrakcji fotograficznej, która polega na nałożeniu dwóch obrazów rentgenowskich: pozytywu zdjęcia przeglądowego i negatywu wykonanego po podaniu do określonego obszaru naczyniowego środka cieniującego. Wymieniona technika (subtrakcji) cieni części miękkich i kości pozwala na lepsze uwidocznienie badania naczyń krwionośnych.

W systemach cyfrowej angiografii subtrakcyjnej obrazy pozytywowe i negatywowe są rejestrowane nie na błonie rentgenowskiej, a w układach pamięciowych komputera. Technika ta, oparta na radiografii cyfrowej, cechuje się szczególnie wysoką zdolnością rozdzielczą kontrastową. Umożliwia ona uwidocznienie aorty i jej głównych rozgałęzień po dożylnym podaniu środka cieniującego bez potrzeby cewnikowania tętnic [5, 8, 9].



Rys. 8. Zasada subtrakcji [6].

## Wykorzystanie lampy rentgenowskiej w tomografii komputerowej

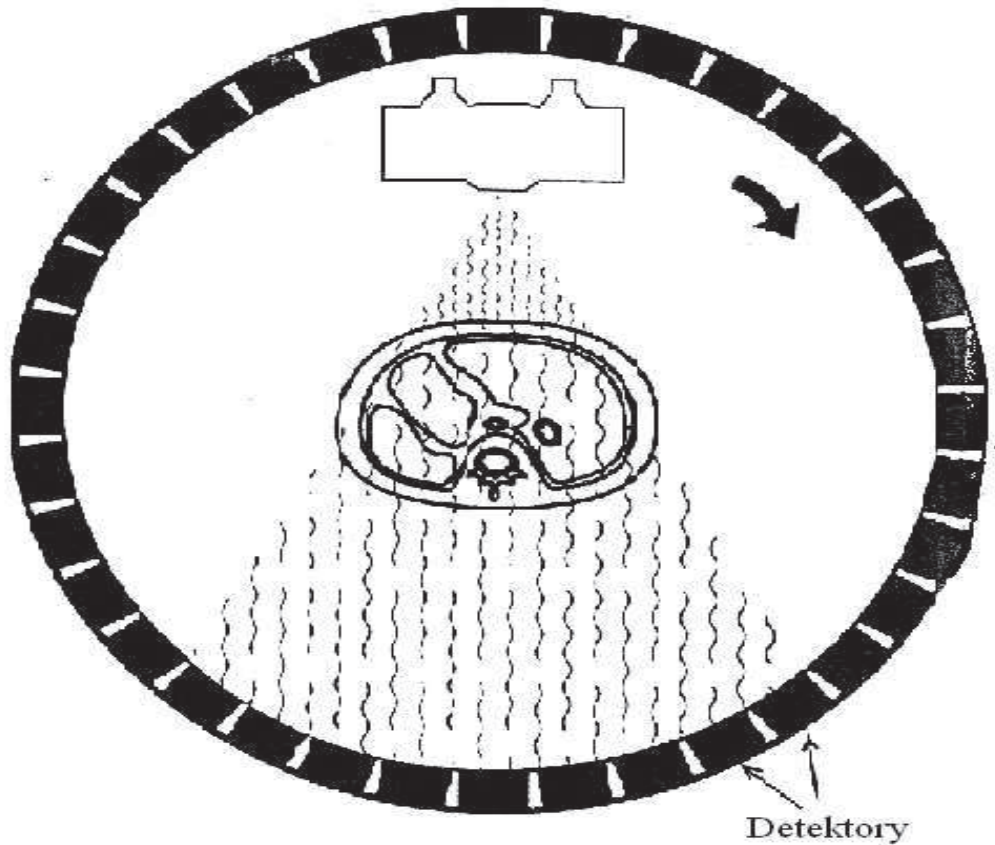
Tomograf komputerowy dla wytworzenia obrazu wykorzystuje lampę rentgenowską umieszczoną we wnętrzu gantry, emitującą promieniowanie rentgenowskie i wykonującą ruch obrotowy wokół pacjenta. Układ detektorów znajdujących się po przeciwnej stronie wychwytuje wiązkę promieniowania, która przeszła przez ciało chorego. W tomografii komputerowej właśnie matryca detektorów, a nie błona rentgenowska, jest receptorem obrazu.

Odpowiednie algorytmy komputerowe wykorzystywane są do tworzenia cyfrowych obrazów tomograficznych ciała w płaszczyźnie osiowej (Rys. 9).

Bardzo istotne dla jakości powstającego w tomografii komputerowej obrazu jest zastosowanie kolimatorów radiografii klasycznej. Użycie kolimatorów znacząco zmniejsza dawkę promieniowania pochłoniętą przez pacjenta dzięki ograniczeniu objętości tkanek poddawanych napromienianiu, zwłaszcza również nasilenie niepożądanych skutków wykonanej ekspozycji, takich jak powstawanie promieniowania rozproszonego. Tomograf komputerowy wykorzystuje, co najmniej dwa układy kolimatorów. Jeden z nich przylega do obudowy lampy rentgenowskiej i ogranicza wiązkę promieni przed jej dotarciem do badanego obiektu, drugi umieszczony jest w bezpośrednim sąsiedztwie detektorów promieniowania. Wspólne działanie takiego układu regulacji wiązki pozwala na dokładne określenie pożądanej grubości obrazowanej warstwy. W radiografii konwencjonalnej, struktury anatomiczne zostają przedstawione w postaci obrazu analogowego, na błonie rentgenowskiej, pełniącej w tym przypadku rolę detektora promieniowania. W tomografii komputerowej, wiązka promieni rentgenowskich przenikających przez ciało pacjenta ulega osłabieniu i na podstawie pomiaru przypisany jest jej współczynnik osłabienia. Współczynnik ten, mierzony jest w tzw. jednostkach Hounsfielda, określa średnią gęstość danej objętości tkanki (woksel), wskazując tym samym stopień pochłaniania przez nią promieniowania. Przyjęto, że w tomografii komputerowej gęstości wody odpowiada w przybliżeniu wartość 0, gęstość powietrza -1000 (czarny kolor na obrazie TK), a gęstości istoty zbitnej kości +1000 (biały kolor na obrazie TK) jednostek Hounsfielda. Wszystkim tkankom badanego obszaru o gęstościach pośrednich pomiędzy gęstością wody odpowiadają różne dodatnie wartości wyrażone w jednostkach Hounsfielda, które na powstającym obrazie tomograficznym reprezentowane są przez różne odcienie szarości. Każdy woksel o charakterystycznej dla siebie średniej gęstości wyrażonej w jednostkach Hounsfielda, jest wyświetlany na monitorze komputerowym aparatu TK w postaci dwuwymiarowej mapy pikseli.

Personel pracowni tomograficznej powinien umieć zmieniać wygląd obrazu TK na monitorze poprzez regulację jego kontrastu (szerokości podziału wartości j. H. czyli szerokości tzw. „okna”) oraz wybór gęstości odpowiedniej dla wybranych tkanek (czyli poziomu okna). I tak, na przykład, dla najlepszego przedstawienia i dokładnego umiejscowienia uszkodzeń w obrębie kości, najbardziej odpowiednie jest ustawienie szerokości okna, przy jednoczesnym wysokim poziomie okna (tzw. „okno kostne”).

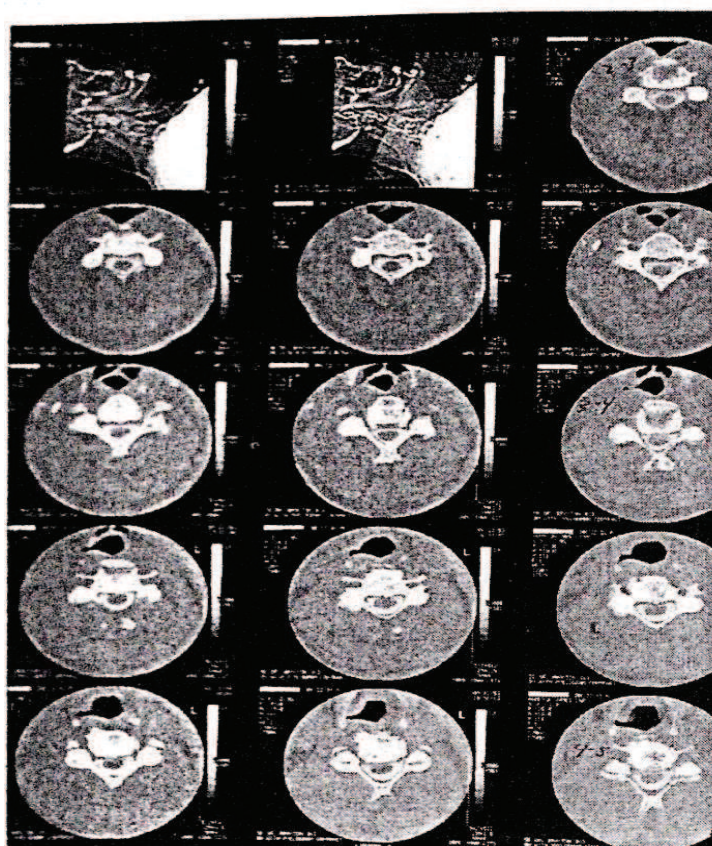
Obrazowanie układu mięśniowo-szkieletowego, a w szczególności kręgosłupa, wymaga na ogół dobrego uwidocznienia na każdej warstwie przekroju osiowego zarówno tkanek miękkich, jak i struktur kostnych, co wiąże się zwykle z koniecznością wykonania osobnej dokumentacji zdjęciowej badanej okolicy w dwóch różnych oknach (najczęściej oknie tkankowym i kostnym) [7-9].



Rys. 9. Tomograf komputerowy nie wykorzystuje błony rentgenowskiej jako receptora obrazu, wykorzystuje natomiast matrycę detektorów [7].

### Techniki obrazowania

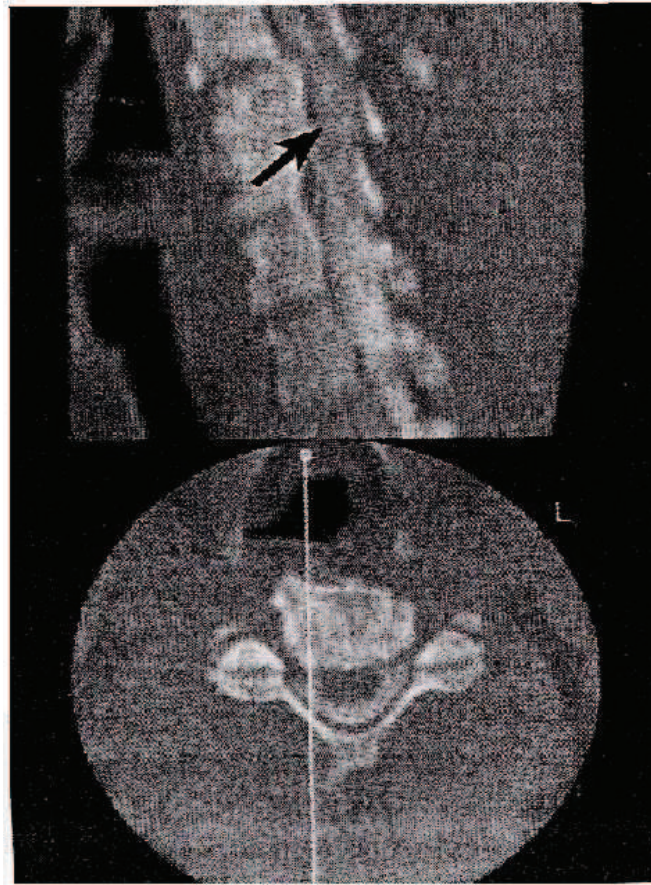
Powszechnie stosowana technika badania TK odcinka lędźwiowego kręgosłupa polega na obrazowaniu przylegających do siebie warstw w płaszczyźnie ukośnej, pochylonej nieznacznie (w zakresie maksymalnego odchylenia gantry, czyli najczęściej od  $+25$  do  $-25^\circ$ ) względem płaszczyzny osiowej, dla dostosowania kąta nachylenia poszczególnych przestrzeni międzykręgowych. Grubość każdej z warstw nie powinna przekraczać 3-5 mm. Na poziomie L5-S1, można uzyskać często tylko obrazy warstwy zbliżonej do płaszczyzny tarczy międzykręgowej, ponieważ kąt jej nachylenia wykracza często poza zakres maksymalnego wychylenia gantry tomografu. Wykonanie właściwego badania tomograficznego, musi być każdorazowo poprzedzone wykonaniem cyfrowego obrazu pilotowego (topogramu) w projekcji bocznej lub wieńcowej. Pozwala to na dokładne umiejscowienie wykonanych w późniejszym czasie przekrojów ciała w płaszczyźnie osiowej (Rys. 10).



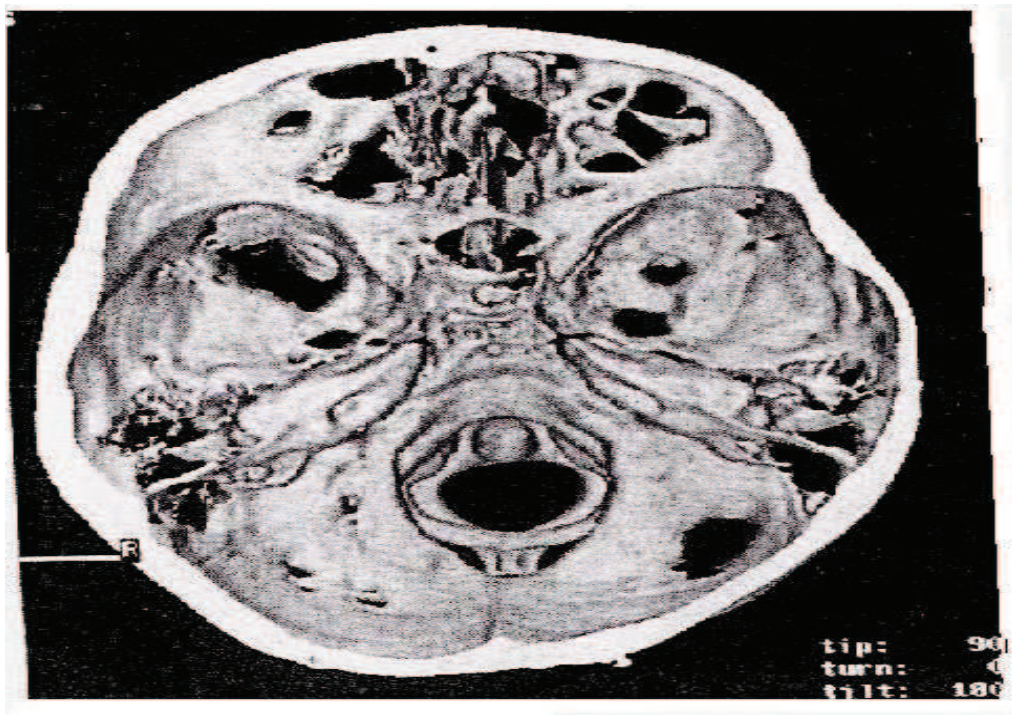
Rys. 10. Typowy układ zdjęć z tomografii komputerowej z obrazami pilotowymi – topogramami (obrazy w lewym górnym rogu), umożliwiającymi zaplanowanie badanych warstw [7].

Inna, stosowana powszechnie technika wykonania badania tomograficznego, polega na obrazowaniu kolejnych warstw ciała w płaszczyźnie osiowej wiązką pionową, prostopadłą do blatu stołu tomografu. Tego rodzaju przekroje osiowe mogą zostać poddane dalszej obróbce komputerowej, czyli procesowi tzw. rekonstruowania. Pozwala on na uzyskanie rekonstrukcji obrazu w płaszczyźnie strzałkowej i wieńcowej. Mimo, że obrazy te wykazują często znaczną przewagę w przedstawianiu niektórych struktur anatomicznych, rzadko mogą one dostarczyć większej ilości informacji niż badania wykonane rutynowo w jednej płaszczyźnie (Rys. 11). Użyteczność obrazów rekonstruowanych w płaszczyźnie wieńcowej lub strzałkowej wykorzystywana jest najczęściej w sytuacjach, kiedy mamy do czynienia z uszkodzeniami w rodzaju złamań złożonych kości. Możliwe jest również wykonanie rekonstrukcji w celu otrzymania obrazu trójwymiarowego (tzw. „rekonstrukcja 3D”) (Rys. 12) [9].

Przewaga tomografii komputerowej nad radiografią klasyczną dotyczy głównie znacznie większej zdolności tomografii do rozróżniania obiektów o małym kontraście, przedstawienia poprzecznych przekrojów anatomicznych oraz możliwości rekonstruowania uzyskanego obrazu w płaszczyznach dodatkowych strzałkowej i wieńcowej. Rozdzielczość przestrzenna tomografii komputerowej jest jednak mniejsza niż badań konwencjonalnych. Ponadto dawka promieniowania, przypadająca na powierzchnię skóry w obszarze działania ograniczonej kolimatorem wiązki, pochłonięta przez pacjenta podczas badania tomograficznego jest znacznie wyższa, często o 3-5 radów [7, 8].



Rys. 11. Rekonstrukcja dwuwymiarowego obrazu kręgosłupa szyjnego w płaszczyźnie strzałkowej, pokazująca przerostowe, wytwórcze zmiany w kręgosłupie, będące przyczyną zmniejszenia słupa kontrastu w worku oponowym (strzałka) [7].



Rys. 12. Trójwymiarowa rekonstrukcja obrazu TK podstawy czaszki [7].

## Mielografia TK

Mielografia tomografii komputerowej (TKM), to pojęcie określające badanie tomograficzne wykonane po uprzednim wstrzyknięciu środka cieniującego do przestrzeni podpajęczynówkowej. Wraz z nadejściem ery wykonania badań MR, mielografia TK przestała być uważana za metodę, która powinna być wykonywana rutynowo w diagnostyce obrazowej kręgosłupa. Może ona być jednak pomocna, w wyjątkowych sytuacjach, kiedy badania MR i TK nie dostarczają informacji wystarczających do rozwiązania problemu klinicznego [7, 8].

## Artrografia

Badanie stawów w tomografii komputerowej wymaga zwykle podania środka cieniującego. Artrografia TK jest badaniem wykonywanym ostatnio znacznie rzadziej, po części dzięki powszechniej dostępnym i wykonywanym badaniom MR. Przewaga badania metodą rezonansu magnetycznego krwi w jego, nieinwazyjności, co więcej, właściwy dla tej metody duży kontrast pomiędzy tkankami miękkimi powoduje, że badanie MR jest idealną metodą obrazowania większości głównych stawów. Jednak niektóre stawy mogą być ciągle jeszcze poddane lepszej ocenie przy użyciu artrografii TK, czego najlepszym przykładem może być diagnostyka stawu barkowego i biodrowego [7, 8].

## Zastosowanie kliniczne tomografii komputerowej [4, 7, 8]:

- *Uraz.* Za główne wskazanie do wykonania badania TK uważa się obecnie przypadki, w których doszło do urazu, szczególnie do urazu czaszki lub kręgosłupa, ale badanie tomograficzne może być bardzo przydatne także w ocenie złożonych złamań w okolicy biodra i barku.
- *Guzy.* Metodą wyboru, służącą obrazowaniu i ocenie guzów tkanek miękkich jest obecnie badanie MR. Badanie TK wykazują dużą wartość w diagnostyce guzów zajmujących kości. Większość przypadków stwierdzonych klinicznie guzów kości wymaga przeprowadzenia diagnostyki przy użyciu obu metod obrazowania, co wydatnie pomaga w podjęciu decyzji o dalszym leczeniu.
- *Analiza mineralna kości.* Ze względu na to, że tomografia komputerowa posiada zdolność określania współczynnika osłabienia promieniowania rentgenowskiego przez poszczególne tkanki, ta metoda obrazowania wykazuje szczególną wartość w dokładnej analizie ilościowej składników mineralnych kości, zwłaszcza w przypadku osteoporozy.
- *Badanie TK jamy brzusznej.* Badanie TK znajduje powszechne zastosowanie w diagnostyce narządów jamy brzusznej, często w połączeniu z badaniem ultrasonograficznym. Przykładem wykorzystania TK w tej diagnostyce jest tętniak aorty brzusznej. Jest ono przeprowadzane po ujawnieniu poszerzenia tego

naczynia oraz stwierdzeniu obecności zmian miażdżycowych z konwencjonalnych, przeglądowych zdjęciach rentgenowskich jamy brzusznej lub kręgosłupa lędźwiowego.

## Podsumowanie

Niektórzy uważają, że zastosowanie technik rentgenowskich przeżyło już czasy świetności i coraz częściej będzie zastępowane przez inne metody, chociażby MR. Jednak przyszłość ta nie nastąpi zbyt szybko, ponieważ na razie nie ma konkurencyjnej metody z punktu widzenia obrazowania struktur kostnych oraz wysokorozdzielczego wizualizowania rozmieszczenia struktur naszego organizmu. Rentgenowska tomografia komputerowa umożliwia dodatkowo wykonywanie operacji z jednoczesnym obrazowaniem (otwarte tomografy), dzięki czemu lekarz wie gdzie znajduje się w tej chwili narzędzie. Technika MR nie nadaje się do tego typu obrazowania ze względu na silne pole magnetyczne, które uniemożliwia zastosowanie konwencjonalnych metalowych narzędzi chirurgicznych. Dodatkowo mało komfortowy wydaje się być dla chirurga olbrzymi hałas w pomieszczeniu z uruchomionym skanerem MR. Należy się również zastanowić, czy warto jest rezygnować z konwencjonalnych technik rentgenowskich na rzecz dokładniejszych, ale o wiele droższych technik obrazowania, w przypadku kiedy aż taka dokładność wcale nie jest wymagana. Ponadto czas poświęcony na badanie CT lub MR jest znacznie większy i wymaga często odpowiedniego przygotowania pacjenta.

Obecnie opracowuje się coraz to nowsze algorytmy umożliwiające obrazowanie narządów, zmniejszające czas wykonywania badania. Projektuje się również coraz to nowsze i dokładniejsze detektory promieniowania X, jak również wydajniejsze lampy rentgenowskie wraz z wydajniejszymi systemami chłodzenia. Dąży się do zminimalizowania promieniowania absorbowanego przez pacjenta, przez co do obniżenia jego skutków ubocznych.

Czy istnieje jeszcze przyszłość dla promieniowania rentgenowskiego? Jak najbardziej tak. Dopóki nie zostaną wynalezione inne sposoby wizualizacji tkanek twardych, o znacznie lepszych właściwościach i możliwościach, promienie Röntgena będą wiodły prym wśród metod diagnostycznych.

## Literatura

- [1] J. Hurwic, *Twórcy nauki o promieniotwórczości*, PWN Warszawa (1989).
- [2] R. Cierniak, *Tomografia komputerowa*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa (2005).
- [3] B. Seyda, *Dzieje medycyny w zarysie*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa (1973).
- [4] S. Klewenhagen, *Promieniowanie X i ich zastosowanie w medycynie*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL (1965).
- [5] W. S. Gumułka, W. Rewerski, *Encyklopedia zdrowia*, T 1-2, PWN, Warszawa (1994).
- [6] B. Pruszyński, *Radiologia. Diagnostyka obrazowa RTG, TK, USG, MR i radioizotopy*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa (1999).
- [7] D. M. Marchiori, *Radiologia kliniczna*, Wydawnictwo Czelej, Lublin (1999).

- [8] G. Pawlicki, T. Pałko, N. Golnik, B. Gwiazdowska, L. Kidicki, *Fizyka medyczna*, T 9, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa (2002).
- [9] W. Gorączko, *Radiochemia i ochrona zdrowia*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań (2003).