

Zakład Neuroradiologii i Rentgenodiagnostyki. Instytut Radiologii. Akademia Medyczna
w Lublinie

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Stanisław Bryc

Janusz ZŁOMANIEC

Fizyczne i techniczne zasady zonografii

Физические и технические принципы использования толстых слоёв

The Physical and Technical Principles of the Utilization of Thick Layers

Tomografia warstw grubych (zonografia), którą zapoczątkował Ziedses des Plantes (10), jest w istocie odmianą badania tomograficznego. Różni się ona od tomografii jedynie małym kątem wychylenia, zwanym również kątem zamazania, który zdefiniowany jest jako połowa kąta, pod jakim lampa wychyla się w czasie ekspozycji.

Obraz zonograficzny ma także powinowactwo ze zdjęciem sumacyjnym, zajmując pośrednie miejsce pomiędzy nim a klasycznym tomogramem. Łączy zalety i możliwości obu technik, eliminując ich ujemne cechy, takie jak: nadmiar szczegółów, niski kontrast i ostrość. W miarę zmniejszania się kątów wychylenia wzrasta grubość ostro odtworzonej strefy i zwiększa się kontrast, w odróżnieniu od tomografii daje to wrażenie pewnej przestrzenności (9).

Pomiędzy grubością warstwy ostro przedstawionej na zdjęciu a kątem zamazania istnieje zależność odwrotna. Im mniejszy kąt, tym grubsza warstwa.

Zonogramy wykonuje się przy kątach wychylenia nie przekraczających 12° . Grubość warstwy przekroju w warunkach własnej aparatury wynosi wówczas 11—20 mm. Warstwa przekroju jest zatem 5-, 6-krotnie grubsza od tomograficznej, gdzie stosuje się kąty wychylenia 45 lub 50° .

Stosowanie zonografii jest uzasadnione w tych badaniach, które wymagają uwidocznienia całości narządu lub struktury anatomicznej, posiadającej większą objętość. Może ona wówczas mieć istotny wpływ, zarówno na przebieg poszczególnych badań, jak i jakość rozpoznania.

Badania przeprowadzano zarówno na sprzęcie produkcji krajowej (XD 18), jak i zagranicznej (Tur 1001, Tur D 700, Durolux oraz inne). Aparat XD 18 posiada dodatkowe urządzenie tomograficzne Planix, przystosowane do wykonywania zdjęć z małym kątem wychylenia, ustawio-

nym na wartość 8° . Kąt ten można zmieniać w granicach $6\text{--}10^\circ$. Do identycznych wartości zaadaptowano także aparat Tur D 700.

Do oceny grubości przekrojów uzyskanych przy różnych kątach wychylenia lampy przeprowadzono doświadczalne badania za pomocą fantomu według zmodyfikowanej metody P o s c h l a (4). Do tego celu użyto siatki drucianej o średnicy 0,25 mm i szerokości oczka 1 mm, ustawionej pod kątem 45° w stosunku do powierzchni stołu.

Grubość warstw przekroju wahała się w granicach 11—20 mm w zależności od kąta wychylenia lampy i typu aparatu. Z reguły wykonywano zonogramy pojedyncze, niekiedy stosowano kasety wielowarstwową. Była to zaadaptowana kasetka symultacyjna (NRD), w której odstępów pomiędzy zespołami: ekran wzmacniający—film odpowiadały odległości 12 i 20 mm. Odpowiednie ułożenie par ekranów wzmacniających, w zależności od odległości między filmami, zapewniało wyrównanie dawki promieni X. Jakość zonogramów symultacyjnych w tych warunkach wyraźnie ustępowała technicznym walorom zonogramów pojedynczych. Jednakże stosowanie zonografii z użyciem kasetki wielowarstwowej może okazać się korzystne, np. w badaniu większych obszarów anatomicznych.

Zatarcie liniowe daje cienie zakłócające, które pochodzą z sąsiednich warstw i ich zupełne wyeliminowanie jest niemożliwe. Wiadomo, że przedmioty pozorne, znajdujące się poza płaszczyzną danego przekroju, mają niewątpliwy udział w tworzeniu obrazu. Jednakże szczególnie przeszkadzają cienie spoza płaszczyzny przekroju, gdy przybierają kształt i kierunek ruchu zacierania. Ułożone w tym samym kierunku są widoczne nawet na oddalonych przekrojach w postaci liniowych pasm. Wiadomo, że balast pasmowatych, liniowych cieni jest szczególnie obfity na zdjęciach warstw cienkich. W celu ich usuwania wykorzystywano między innymi technikę tzw. przefiltrowania tomogramu (2).

W obrazach warstw grubych we własnym materiale uzyskiwano mniejszą liczbę liniowych cieni, będących balastem, poprzez poprawny dobór kierunku ruchu zatarcia w zależności od właściwości badanej okolicy.

W badaniu płaszczyzn zakrzywionych wyginano filmy, stosownie do badanych krzywizn, otrzymując ich pełny przekrój. Istotny przy tym jest kąt nachylenia badanego elementu do wiązki promieni X. Także pewną rolę odgrywa grubość i gęstość badanego elementu oraz gęstość otaczających go tkanek.

W odróżnieniu od powyższego w zacieraniu hipocykloidalnym występują warunki zbliżone do idealnie geometrycznych. Im kąt nachylenia badanego elementu jest większy, tym korzystniejsze są złożone formy ruchu. Formy te wykazują zatem mniej cieni zakłócających, ze względu na skuteczniejsze zatarcie.

L i t t l e t o n (3) wyróżnia dwie grupy takich cieni: a) powstałe w wy-

niku niecałkowitego zatarcia sąsiednich struktur, b) przez sumowanie rzekomych cieni.

Cienie zakłócające mają istotne znaczenie, zwłaszcza gdy są intensywne i znajdują się w pobliżu badanej warstwy. Nawet zatarcie hipocykloidalne nie eliminuje ich całkowicie, gdyż płaszczyzna przekroju zawiera częściowo cienie lub przejaśnienia znajdujące się na zewnątrz warstwy. Z kolei ruch wielowymiarowy prowadzący do maksymalnego zatarcia cieni zakłócających pogarsza inne czynniki stanowiące o jakości obrazu (7). Pełne zatarcie zatem nie jest pożądane, ponieważ zezwala na lepsze odtworzenie głębi obrazu. Duża ostrość głębi obrazu zonograficznego powoduje, że określoną część struktury można ocenić jako całość, a nie jedynie przekrojowo i nie tylko w samym przekroju warstwy (8). Ta dobra orientacja przestrzenna pozwala na rozpoznanie struktur nawet oddalonych. Części znajdujące się poza nią można również rozpoznać i nawiązać do badanego tworów. Zonogram wyodrębnia zatem badaną strukturę od otoczenia i zarazem bardziej precyzyjnie określa jej topografię.

Natomiast w ocenie ostrości uwidocznienia struktury istotnym elementem jest jej kształt, wielkość oraz wypływający wtórnie z tych cech jej stosunek do grubości warstwy. Struktura w warstwie odpowiadającej jej grubości nie wykazuje utraty ostrości.

Jednakże większość badanych struktur ma nierównomierną rozciągłość i różne położenie w stosunku do promienia środkowego. Nieostrość tomograficzna jest także wynikiem wychodzenia badanych struktur z warstwy ku górze lub ku dołowi oraz brakiem styczności w stosunku do wiązki promieni. Nieostrość w wyniku rozproszenia promieni zwiększa się wraz z kątem warstwy, dlatego przy zacieraniu wielowymiarowym jest większa aniżeli przy liniowym (7). Jest to szczególnie ważne, gdy udział rozproszenia promieni jest i tak bardzo wysoki (czaszka, piramidy). Nieostrość jest tym mniejsza, im bardziej promień środkowy pada prostopadle w przebiegu ruchu, a jego droga poprzez ciało jest krótsza. Im bardziej optymalne zatarcie, tym większa utrata ostrości szczegółów oraz kontrastu.

Warstwa cienka jest uboższa w szczegóły wskutek wzrastającego zamazania struktur poza jej obrębem. Wpływa to zatem negatywnie na jakość obrazu i stanowi, poprzez ubóstwo kontrastu, obiektywną słabość tomografii (6).

W odróżnieniu od powyższego na zonogramach liniowych nie zauważa się takiej utraty kontrastu. Natomiast w zestawieniu ze zdjęciami sumacyjnymi utrata kontrastu jest stosunkowo niewielka. Kontrast zonogramów jest wynikiem bardziej równomiernej gęstości fotograficznej, gdyż obraz leży w bardziej pomyślnym zakresie krzywej szernienia.

Jeśli idzie o kości czaszki, to uwidocznienie szczegółów jest zadowa-

lające. Re is n e r (5), porównując różne rodzaje ruchu oraz różne gęstości i grubości ścian, wykazał, że dopuszczalną granicą ich nachylenia jest kąt 15° w ścianach cienkich oraz $25\text{--}30^\circ$ w ścianach grubych, nie upośledzający jeszcze rozpoznawalności szczegółów. Zdaniem W e s t r a (9), zonogram, będąc o wiele ostrzejszy aniżeli tomogram, jest jednocześnie bardziej szczegółowy.

Odpowiednie zróżnicowanie tomografii, wybór kąta i grubości warstwy, charakteru zatarcia najbardziej odpowiedniego dla badanej struktury i cieni zakłócających, przynosi praktyczne korzyści. Istotne jest poszukiwanie dla każdej struktury optymalnego kąta warstwy, najbardziej dostosowanego do jej grubości. Zarówno rzutowanie jak i charakter ruchu winien być uwzględniony w korelacji kształtu i objętości badanej struktury. Tomografia czaszki jest techniką szeroko stosowaną. Niektóre struktury uwidaczniają się najlepiej w ruchu liniowym, inne w hipocykloidalnym. Ta selektywność w wyborze rodzaju ruchu stwarza w praktyce pewne trudności techniczne.

Najkorzystniejsze warunki dla zonograficznego odtworzenia badanej struktury istnieją wówczas, gdy otacza ją przestrzeń zawierająca tkanki miernie pochłaniające promienie X. Wówczas stosunkowo gęsta struktura jest otoczona strefą tkanek miękkich, tj. strefą wolną, oddzielającą ją od innych o podobnie znacznym wysyceniu. Określając czynniki wpływające na wybór techniki zonograficznej, podkreśla się ich zależność od możliwości wyboru wolnej strefy oddzielającej badaną strukturę od struktur sąsiednich (11). Strefa ta powinna być 2—4 razy większa niż grubość badanej struktury. Cienie leżące powyżej badanej płaszczyzny są zatarte w większym stopniu niż leżące poniżej niej. Skuteczne zamazanie cieni zakłócających występuje tylko powyżej badanej warstwy grubej (8). Dlatego struktura badana powinna znajdować się możliwie najbliżej filmu. Im bardziej oddalone są te cienie, tym zatarcie może być mniejsze. Mniejsze zatarcie jest również bardziej skuteczne, im mniejszy jest współczynnik absorpcji cieni zakłócających. Zonografia więc znajduje zastosowanie do struktur znajdujących się w odpowiedniej odległości od cieni przesłaniających oraz umiejscowionych poniżej tych cieni. Im bliżej leżą cienie badanych struktur, im są gęstsze, tym wymagają znaczniejszego zatarcia. Struktura znacznej objętości, intensywnie wysycona, przylegająca do płaszczyzny przekroju, może sugerować fałszywy obraz tej płaszczyzny. Struktura gęsta, nawet poza płaszczyznę przekroju, jest jeszcze rozpoznawalna, podczas gdy słabo kontrastowa, znajdująca się w bezpośrednim sąsiedztwie, nie jest już widoczna.

Im większe są różnice absorpcji między strukturą badaną a środowiskiem otaczającym, tym warunki uwidocznienia zonograficznego są lepsze. Kontrasty słabe winny być zatem zawarte w przekrojach bardzo cien-

kich, intensywniejsze — w warstwach grubych. Jeśli nie zachodzi konieczność większego zatarcia struktur pogranicznych, stosujemy warstwę grubą. Uzyskujemy wówczas pewne informacje także z sąsiednich warstw. Intensywne cienie zakłócające obraz badanej struktury należy oddalać drogą odpowiednich ułożeń, które pozwalają uzyskać optymalny kierunek ruchu — styczny do krawędzi, a prostopadły do płaszczyzny badanej warstwy.

W badaniach środkami dodatkowo cieniującymi zacieranie zonograficzne jest szczególnie korzystne z powodu znacznej gęstości badanej struktury, która sprawia, że cienie zakłócające mają mniejsze znaczenie. Dotyczy to zwłaszcza badań mielograficznych, gdy przekrój gruby jest wskazany z powodu objętości badanych struktur. Cienkie przekroje powodowałyby bowiem w tych przypadkach pewną utratę istotnych szczegółów na tomogramie.

Ziedses des Plantes (12), omawiając zasady zonografii, podkreśla możliwość jej wykonywania na stole obrotowym w czasie bardzo małej części obrotu.

Istota stosunków trygonometrycznych łączących grubość warstwy z kątem zatarcia była przedmiotem wielu doniesień (1). Kąt ten bowiem, bardziej aniżeli inne czynniki, określa grubość przekroju i charakter obrazu warstwowego. Określa szerokość płaszczyzny dającej ostry obraz.

Grubość warstwy to pojęcie fizyczne, tak jak określenie części przedmiotu ostro odtworzonej. Pojęcie grubości przekroju jest w dużym stopniu umowne, ale istotne, gdyż pozwala na stosowny wybór techniki badania. Definicja grubości warstwy wywodzi się z tzw. dopuszczalnej nieostrości. Strefa większej ostrości jest grubsza przy małym kącie zatarcia. Tomografia warstw cienkich może odtwarzać szczegóły tylko w obrębie warstwy maksymalnej ostrości, niemniej grubość fizyczna warstwy może być cieńsza aniżeli najcieńsza warstwa przedmiotu, dająca kontrast progowy dla jego rozpoznawalności. W zonografii minimalnie konieczna grubość szczegółów jest znacznie mniejsza aniżeli grubość fizyczna warstwy. Okolice maksymalnej ostrości występują bowiem bezpośrednio jedna po drugiej. Struktury części miękkich mogą dawać wiele kontrastu progowego, niezbędnego dla ich rozpoznawalności.

W odróżnieniu od zonografii, warstwy cienkie obejmują przedmiot jedynie wyrywkowo, zwłaszcza gdy chodzi o odtwarzanie szczegółów o większych wymiarach. Mogą zatem powstawać trudności interpretacyjne, gdyż szczegóły są rozdzielone na różne obrazy w kolejnych warstwach.

Sumowanie zonograficzne jest bardziej zbliżone do występującego na zdjęciach przeglądowych. Wpływ sumowania się różnych elementów może być często korzystny. Dlatego też zonografia jest użyteczna wówczas, gdy tłumaczenie obrazu warstw cienkich nastęrcza trudności.

Z piśmiennictwa i analizy własnych badań jednoznacznie wynika, że określanie granic rozciągłości i topografii badanych struktur na zonogramach ściśle koresponduje z identycznymi przekrojami anatomicznymi.

PIŚMIENICTWO

1. Buchmann F., Stössel H.: Besonderheiten der zonographischen Abbildung. Fortschr. Röntgenstr. **115**, 99, 1971.
2. Edholm P., Quiding L.: Elimination of Blur in Linear Tomography. Acta Radiol. **10**, 441, 1970.
3. Littleton J.: A Visual Examinations of Laminagraphic Systems. Am. J. Roentgenol. **91**, 1153, 1964.
4. Pöschl M.: Untersuchungen über das tomographische Bild. Fortschr. Röntgenstr. **62**, 35, 1940.
5. Reisner K.: Experimentelle Untersuchungen zur Detailler-kennbarkeit im Röntgenschnittbild des Schädels. Fortschr. Röntgenstr. **112**, 332, 1970.
6. Reisner K. i wsp.: Craniotomography. George Thieme Publishers. Stuttgart 1977.
7. Swart B. i wsp.: Grundsätze der tomographischen Praxis. Radiologe, **9**, 93, 1969.
8. Wendy V., Smith F.: A Review of Tomography and Zonography. Radiography, **37**, 5, 1971.
9. Westra D.: Zonographie, die Tomographie mit sehr geringer Verwischung. Fortschr. Röntgenstr. **97**, 605, 1962.
10. Ziedses des Plantes B.: Eine neue Methode zur Differenzierung in der Röntgenographie (Planigraphie). Acta radiol. **13**, 182, 1932.
11. Ziedses des Plantes B.: Body-Section Radiography: History, Image, Information, Various Techniques and Results. Austr. Radiol. **15**, 57, 1971.
12. Ziedses des Plantes B.: Universal Indirect Tomography. Radiol. Clin. **44**, 160, 1975.

Otrzymano 22 XII 1980.

РЕЗЮМЕ

Топография толстых слоёв (зонаграфия) отличается небольшим вылетом угла лампы rtg (8°) и значительной толщиной резко восстановленной сферой (11—20 мм), комплексно показывая анатомические структуры больших размеров. Зонаграфические снимки дают впечатление пространственной глубины картины, лучший контраст и остроту по сравнению с классической топографией тонких слоёв. Они объединяют положительные сумационные и топографические качества, исключая все отрицательные черты.

SUMMARY

Characteristic features of the tomography of thick layers (zonography) are that of a small angle of inclination of the rtg lamp (8°) and a considerable thickness of a clearly reproduced zone (11—20 mm) revealing totally anatomical structures of a larger size. Zonographic films give the impression of space depth of the picture, a better contrast and sharpness in comparison with the classical tomography of thin layers. They join the qualities of summary and tomographic films eliminating their drawbacks.