

PL ISSN 0009-479X

# CHIRURGIA NARZĄDÓW RUCHU I ORTOPEDIA POLSKA

ORGAN POLSKIEGO TOWARZYSTWA ORTOPEDYCZNEGO  
I TRAUMATOLOGICZNEGO

CHIRURGIA ORGANORUM MOTUS ET ORTHOPAEDIA POLONICA  
ACTA SOCIETATIS ORTHOPAEDICAE POLONICAE

SUPPLEMENT 3

TOM LIX

1994

POLSKIE TOWARZYSTWO ORTOPEDYCZNE I TRAUMATOLOGICZNE

*Edward Czerwiński\*, Michał Bajer\*, Hübner Krzysztof\*\**

## Ilościowa analiza struktury kostnej na radiogramie

\* Z Katedry i Kliniki Ortopedii Collegium Medicum UJ w Krakowie

p. o. Kierownik: dr n. med. J. Otfinowski

\*\* Z Instytutu Odlewnictwa w Krakowie

Dyrektor: prof. dr hab. inż. Z. Górny

Przedstawiono metodę komputerowej analizy struktury kostnej na radiogramie, wykorzystując typowy komputer klasy IBM PC. Do badań wybrano radiogramy przynasad kości promieniowych wykonane u 41 osób, bez zmian chorobowych w narządach wewnętrznych. Stosując własny program komputerowy Trabecula określono parametry struktury kostnej na radiogramie, jak: liczba beleczek, szerokość, wysokość i pole. Stwierdzono zależność parametrów struktury kostnej od wieku badanych.

Zmiany w kości korowej oraz gąbczastej na radiogramie stanowią kryterium diagnostyczne chorób metabolicznych kości. Ze względu na 5-krotnie szybszy metabolizm kości gąbczastej jej obraz radiologiczny ma znaczenie podstawowe. Obraz ten opisuje się jako beleczkowanie prawidłowe lub patologiczne. Stwierdzenie patologicznego obrazu struktury kości beleczkowej upoważnia do rozpoznania schorzeń takich, jak: osteoporoza, fluoroza, choroba Sudecka, martwice kostne (2, 6). Niestety kwalifikacja danego obrazu struktury jako prawidłowego lub zmienionego patologicznie jest trudna, a ocena liczbową jest niemożliwa. Jest obarczona dużym błędem oceny subiektywnej.

Celem niniejszego doniesienia jest przedstawienie metody pomiaru struktury kostnej na radiogramie za pomocą typowego komputera klasy IBM PC oraz określenie parametrów prawidłowej struktury na radiogramie przynasady kości promieniowej.

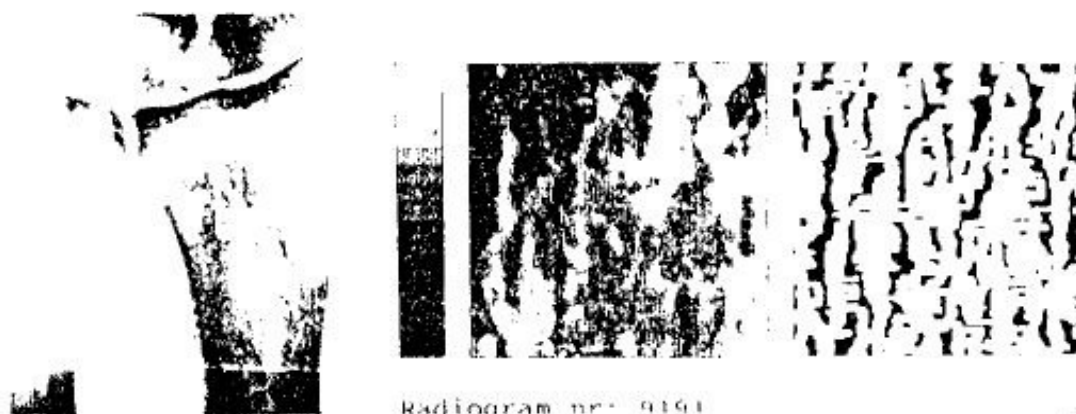
### Materiał

Do badań wybrano radiogramy przynasad kości promieniowej, ponieważ są łatwe do wykonania, wymagają niewielkiej ekspozycji oraz dobrze uwidoczniają obraz struktury kostnej. Ze względu na koniecz-

ność badania osób, które można uznać za zdrowe badania oparto na materiale sekcyjnym osób zmarłych śmiercią nagłą, u których nie stwierdzono przewlekłych schorzeń w narządach wewnętrznych. Do badań wybrano 41 mężczyzn w wieku 18-86 lat ( $\bar{x} = 47$ ), którzy stanowili równocześnie grupę kontrolną do prowadzonych badań w zakresie fluorozy przemysłowej. W tej grupie wykonano również analizy mineralogiczne i histomorfometryczne nie będące przedmiotem niniejszego doniesienia.

We wszystkich przypadkach wykonano typowy radiogram prawego przedramienia AP, w supinacji, umieszczając obok przedramienia klin aluminiowy o stopniach 1-20 mm (99,99 Al). Wszystkie radiogramy wykonano na jednym aparacie rentgenowskim TUR 250. Stosowano standardowe warunki ekspozycji i wywołania. Przyjęto stałe warunki ekspozycji 42 kV oraz minimalnie modyfikowane wartości mAs (ok. 21 mAs). Radiogramy wywoływano ręcznie, utrzymując stałą temperaturę odczynników. Badania były wykonane na jednej serii filmów, z zastosowaniem oznaczonych kaset radiologicznych. Wszystkie radiogramy były wykonane przez dwóch techników radiologicznych (5).

Radiogramy wprowadzano do pamięci komputerowego analizatora obrazu Quanti-



Ryc. 1. Od lewej: radiogram przynasady kości promieniowej, na którym zaznaczono pole analizy komputerowej; klin szarości; obraz struktury beleczkowej generowany przez komputer w powiększeniu, mapa beleczek wykrytych na analizowanym polu

met-570 stosując kamerę telewizyjną CCD. Zapisu dokonywano w 256-stopniowej skali szarości z rozdzielczością 0,096 mm/piksel. W oznaczonym miejscu przynasady wybierano fragment obrazu struktury kości gąbczastej o wymiarach 12,3 × 12,3 mm (128 × 128 pikseli). Obraz ten za pomocą opracowanych programów zapisywano na dyskietce w formacie ASCII, odpowiednim dla komputera typu IBM PC.

Na podstawie doświadczeń z badań prowadzonych w latach poprzednich, opracowano program Trabecula, który umożliwia pomiar struktury kości na radiogramie. Algorytm programu oparto na fizjologii postrzegania struktury kostnej przez oko człowieka. Przyjęto, że podstawowym elementem struktury kostnej na radiogramie jest belecza radiologiczna. Na potrzeby programu opracowano geometryczną definicję beleczyki radiologicznej (3, 5). Program analizował 128 linii pomiarowych odnajdując na nich beleczyki według zadanych kryteriów. Po przeanalizowaniu całego pola program generował mapę beleczyki i obliczał ich charakterystykę. Obraz struktury był tym sposobem opisany w postaci następujących parametrów:

1. liczbę beleczyki – średnia liczby na poszczególnych liniach pomiaru;
2. szerokość – rzeczywisty wymiar beleczyki w mm;
3. wysokość – określano w procen-

tach, wysokości beleczyki w stosunku do zakresu pomiaru;

4. pole – procent pola zajmowanego przez beleczyki w stosunku do powierzchni wykresu;
5. gęstość – procent powierzchni radiogramu pokrytego przez beleczyki.

### Wyniki

Analizy wykonano na 41 radiogramach przynasadach kości promieniowych. Przykład analizy programem Trabecula ilustruje rycina 1. Na oryginalnym radiogramie zaznaczono pole poddane analizie komputerowej. Generowany przez komputer obraz tego pola w powiększeniu oraz mapę odnalezionych beleczyki wydrukowano obok. Program ilustruje wyniki na ekranie oraz dokumentuje je na typowych drukarkach komputerowych. Zestawienie parametrów struktury kostnej stwierdzonych w badanej grupie przedstawia tabela I. Obok parametrów struktury beleczykowej, jak liczba beleczyki, szerokość, wysokość, pole i gęstość, podano dodatkowo zakres densytometrii. Zakres ten określa stopień zacierzenia kliszy rentgenowskiej w 256-stopniowej skali szarości.

Przeprowadzono analizę wartości parametrów w zależności od wieku badanych przyjmując przedziały wiekowe w latach: 31–40; 41–50; 51–60; 61–86. Analizy

Tabela I  
Wyniki komputerowej analizy struktury kostnej na radiogramach  
kości promieniowej w 41 badanych. Program Trabecula

Analiza obrazu	Średnia arytmetyczna	Odchylenie standardowe	Minimum	Maksimum
Beleczki	$\bar{x}$	s	$X_{min}$	$X_{max}$
Średnia liczba w linii (mm)	8,51	2,2	3,71	12,3
Szerokość (mm)	0,47	0,04	0,40	0,62
Wysokość (%)	6,27	1,24	4,08	8,8
Pole (%)	0,17	0,03	0,01	0,34
Gęstość (%)	31,8	6,3	14,94	40,64
Zakres densytometrii				
Minimalny	93,4	31,1	42,17	162,7
Maksymalny	167,5	34,8	93,2	238,3

ilustrują ryciny 2–4. Liczba beleczek wzrasta w 2 i 3 dekadzie, a następnie stopniowo ulega obniżeniu (ryc. 2). Szerokość beleczek z wiekiem wykazuje tendencję wzrostową (ryc. 3), gęstość beleczkowania obniża się natomiast po 4 dekadzie życia.

### Dyskusja

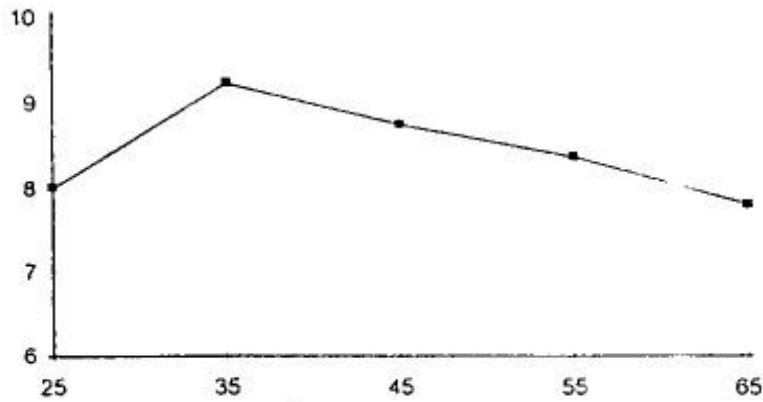
Badania nad metodami analizy struktury kostnej na radiogramie są prowadzone przez ostatnie 30 lat i pomimo dużych postępów nadal pozostaje wiele nie rozwiązanych problemów. Za prekursora badań nad strukturą kości na radiogramie należy uznać nieżyjącego już profesora *Gładysza* z Akademii Medycznej w Poznaniu, który od 1962 r. wraz z *Łabędzińską-Górną* (7, 11) dokonywał manualnych (*sic*) pomiarów gęstości optycznej kolejnych punktów na radiogramie wzdłuż wyznaczonej linii. Użytkował tą drogą krzywą mikrodensytometryczną odpowiadającą obrazowi struktury kostnej. Na tej podstawie sporządzał plastyczne modele struktury. Podobne badania, metodą częściowo zautomatyzowaną, prowadziła *Malska-Waniewska* (12). Automatyczną rejestrację pomiarów obrazu struktury kręgów na radiogramie dokonywał *Rockoff* (14), stosując zapomniane już maszyny analogowe.

Współcześnie analizy krzywych mikrodensytometrycznych struktury kostnej prowadził *Trueberach* i *Czerwiński* (3, 4, 15).

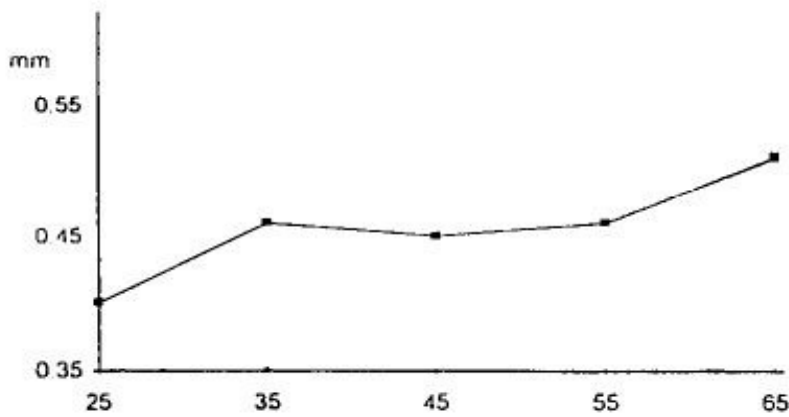
Z badań tych wynikało, że mikrodensytometria jest metodą pozwalającą na ilościową analizę struktury kostnej na radiogramie. Były to jednak pomiary jednowymiarowe (liniowe) obrazu, który jest dwuwymiarowy. We współczesnej literaturze można znaleźć jedno doniesienie o zastosowaniu analizy dwuwymiarowej struktury kości gąbczastej, dotyczące diagnostyki zmian zwyrodnieniowych oraz pojedyncze publikacje opisujące analizy radiogramów żuchwy (8, 10, 13).

Współcześnie obserwuje się burzliwy rozwój dwu-, a nawet trójwymiarowych metod analizy obrazu. Przełom dokonał się dzięki coraz większej szybkości obliczeniowej komputerów oraz poszerzaniu ich pamięci operacyjnej. Równocześnie urządzenia zapisujące obrazy w pamięci komputera – kamery cyfrowe i skannery stały się powszechnie dostępne. Zaawansowane analizy obrazu mogą być obecnie wykonywane nie tylko w dużych laboratoriach, ale wręcz w warunkach domowych. Zapisane obrazy można przetwarzać za pomocą dostępnych procedur analizy obrazu i generować nowe nie istniejące w rzeczywistości obrazy i do tego ruchome. Coraz częściej stosuje się wspomaganie diagnostyki i leczenia komputerową analizą obrazu (1, 5, 9, 10, 13).

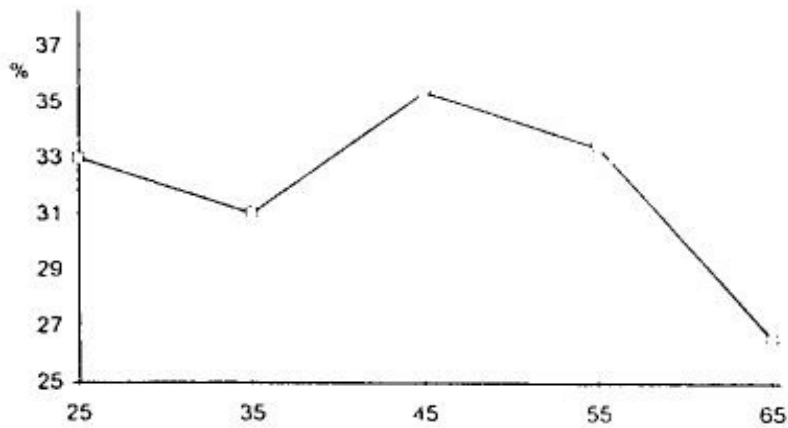
Opracowany program Trabecula umożliwia ilościowy pomiar struktury kostnej na radiogramie. Eliminuje w ten sposób dużą dowolność interpretacji obrazu, jaka wy-



Ryc. 2. Liczba beleczek radiologicznych w grupach wiekowych



Ryc. 3. Szerokość beleczek w grupach wiekowych



Ryc. 4. Gęstość beleczkowania w grupach wiekowych

stępuje w ocenie standardowej okiem nie uzbrojonym. Program opisuje strukturę w postaci szeregu liczb i umożliwia porównanie między sobą różnorodnych radiogra-

mów. Pozwala też na badanie zależności między parametrami struktury kości a wiekiem badanych, co wykazano w niniejszym doniesieniu oraz budową histomorfo-

metryczną i zawartością mineralów, którą przedstawiono w odrębnym doniesieniu (5).

### Wnioski

Opracowana metoda komputerowej analizy radiogramu umożliwia pomiar parametrów struktury kostnej. Metoda ta może być

stosowana z wykorzystaniem typowego komputera IBM PC. W doniesieniu określono zakres parametrów struktury kostnej przynasady kości promieniowej w grupie mężczyzn bez zmian chorobowych, które można uznać za normę. Stwierdzono zależność parametrów struktury kostnej od wieku badanych.

### A quantitative assessment of bone structure on the radiograph

#### Summary

The method of computerised analysis of the bone structure on the radiogram, basing on the standard computer IBM PC was presented. Radiograms of the distal radial metaphysis made in 41 subjects free of chronic diseases were selected. Using the author's own programme the bone structure parameters were measured. They were: the number of trabeculae, the trabecula width, height, area and density. The relation between bone structure parameters and the age of the patients was found.

### Piśmiennictwo

1. *Austriaco N. R. Jr, Williams J. L., Drummond D. S.*: Trabecular bone densitometry using interactive image analysis. *J. Biomed. Eng.*, 1991; 13: 486-488. – 2. *Borejko M., Dziak A.* Badanie radiologiczne w ortopedii, PZWL, Warszawa 1988: 1-12, 361-389. – 3. *Czerwiński E.* i wsp.: Zastosowanie komputerowych metod analizy obrazu w ocenie struktury kostnej na radiogramach przedramion, *Pamiętnik 54 Jub. Zjazdu Tow. Chir. Pol.* 4, Kraków 1989: 324-332. – 4. *Czerwiński E.* i wsp.: Zależność obrazu radiologicznego struktury kostnej od zawartości mineralów i cech morfometrycznych kości gąbczastej, *Chir. Narządu Ruchu Ort. Pol.*, 1991; 55, 4-6, 42-46. – 5. *Czerwiński E.*: Ilościowa ocena zmian występujących pod wpływem fluoru w kości korowej i gąbczastej oraz ich znaczenie diagnostyczne, rozprawa hab., Collegium Medicum UJ 1993. – 6. *Dega W.*: Ortopedia i rehabilitacja, PZWL, Warszawa 1983: 687-703. – 7. *Gładysz B.*: Stan istoty gąbczastej kości w obrazie densytometrycznym, *Pamiętnik XXIII Zjazdu Naukowego Radiol. Pol.* 1966: 240-246. – 8. *Jeffcoat M. K.*: Radiographic methods for the detection of progressive alveolar bone loss, *J. Periodontol.*, 1992; 63: 367-372. – 9. *Joyce-Loebel (red.)*: Image analysis, Short Run Press, Exeter, England 1985. – 10. *Lynch J. A., Hawkes D. J.* i wsp.: Analysis of texture in macroradiographs of osteoarthritic knees using the fractal signature, *Phys. Med. Biol.*, 1991; 36: 709-722. – 11. *Łabędzińska-Góma H.*: Kryteria oceny struktury kostnej w obrazie densytometrycznym, praca dokt., AM w Poznaniu 1966. – 12. *Malska-Waniewska I.*: Mikrodensytometryczna ocena wpływu miejscowego napromieniania X na dojrzałe kości u ludzi, *Biul. Woj. Akad. Med.*, 1971 (suppl): 2-55. – 13. *Pavlidis T.*: Grafika i przetwarzanie obrazów, WNT, Warszawa 1987. – 14. *Rockoff S. D.*: Radiographic Trabecular quantitation of human lumbar vertebra in situ. Relation to bone quantity, strength and mineral content, *Investig. Radiol.*, 1967; 5: 339-352. – 15. *Trouerbach W. Th.*: Radiographic aluminium equivalent value of bone. Thesis. AN De Erasmus Universiteit Rotterdam, Berg an Versluis Derhrecht, Netherland 1982.

Adres i Autora: Katedra i Klinika Ortopedii Collegium Medicum UJ,  
ul. Kopernika 19a, 31-501 Kraków