

Zlatan Stojanović,<sup>1</sup> Irena Balaban,<sup>2</sup> Goran Spasojević,<sup>1</sup> Darko Depčinski,<sup>3</sup> Slobodan Malobabić<sup>4</sup>

## RADIOGRAMETRIJSKA ANALIZA DUGIH KOSTIJU GORNJEG EKSTREMITETA

Primljen/Received: 05. 10. 2011. god.

Prihvaćen/Accepted: 21. 10. 2011. god.

**Sažetak:** Radiogrametrija je radiološka metoda kvantifikacije količine (gustine) mineralizovanog koštanog matriksa. Pored toga što se koristi u dijagnostici i praćenju toka različitih metaboličkih oboljenja kostiju (osteoroporoza, osteomalacija, osteitis deformans-Mb. Paget), vrijednosti radiogrametrijskih parametara mogu da ukažu i objasne neke specifične biomehaničke osobine koštano-zglobnog sistema. Cilj ovog rada je da se procjeni značaj radiogrametrije kao naučnog modela u daljim ispitivanjima koštanog sistema. U radu su prikazane vrijednosti radiogrametrijskih parametara (Ca- kortikalna area, CI- kortikalni indeks, GI- Garnov indeks, ESI- Epton Smithov indeks) humerusa, radijusa i ulne, snimanih u dvije standardne projekcije: antero-posteriornoj (AP) i latero-lateralnoj (LL). Ispitivane kosti su upoređivane sa metakarpalnim kostima, i kostima donjeg ekstremiteta. Vrijednost kortikalne površine humerusa je značajno veća u odnosu na druge dvije ispitivane kosti ( $X_{mean}$  2,2443 cm,  $p < 0.01$ ). Najviše vrijednosti relacionih matematičkih parametara posjeduje žbica (radius), iz čega proizilazi da je radius po jedinici zapremine robusnija (čvršća) kost u odnosu na lakticu i humerus. Uprkos razvoju novih osteometrijskih metoda (ultrasonografska osteodenzitometrija, dualna X-ray apsorpciometrija, digitalna radiogrametrija), klasična radiogrametrija i danas ima svoje mjesto u dijagnostici metaboličkih oboljenja kostiju, kao i u funkcionalnim ispitivanjima koštano-zglobnog sistema.

**Cljučne riječi:** radiogrametrija, kvantifikacija, gustina koštane mase, humerus, radius, ulna.

### UVOD

U određivanju količine koštane mase — mineralizovanog matriksa uspješno se mogu koristiti različite osteometrijske veličine: težina kosti, specifična gustina, robusnost i radiogrametrijski parametri: Ca — kortikalna area, CI — kortikalni indeks, GI — Garnov indeks, ESI — Epton Smithov indeks (1). Radiogrametrija je jednostavna i lako izvodljiva metoda, primjenljiva u svakodnevnom kliničkom radu, a koja se koristi u dijagnostici i praćenju toka (evolucije) različitih metaboličkih oboljenja kostiju (osteoroporoza, osteomalacija, osteitis deformans — Mb. Paget).

Iako se kod pomenutih poremećaja prati promjena koštane mase metakarpalnih kostiju šake (II i III kosti), u iste svrhe se primjenjuje i radiogrametrija drugih kostiju (2, 3). Uprkos razvoju novih osteometrijskih metoda: ultrasonografska osteodenzitometrija, dualna X-ray apsorpciometrija, digitalna radiogrametrija (4–6), ova metoda naročito može poslužiti u „kliničkom skriningu“ metaboličkih oboljenja kostiju osoba kod kojih je koštano-zglobni sistem radiografski sniman iz drugih razloga (npr. kod proloma). Cilj ovog rada je da se evaluiira značaj radiogrametrije kao naučnog modela u istraživanjima skeletnog sistema. Stoga smo ispitivali biomehanički milje dugih kostiju gornjeg ekstremiteta.

### MATERIJAL I METODE

Radiogrametrijsko ispitivanje je vršeno na dugim macerisanim kostima gornjeg ekstremiteta (19 humerusa, 20 radijusa, 20 ulni) osoba oba pola i različite starosti, snimanih u dvije standardne projekcije: antero-posteriornoj (AP) i latero-lateralnoj (L.L.) na udaljenosti od 2 m od rendgenske cijevi. Da bi se dobili što reprezentativniji i validniji rezultati, posebno se vodilo računa o kvalitetu rendgen snimaka, o tvrdoći, a mjerenje je rađeno pod lupom sa uvećanjem od 7,5 x pomoću mjernog instrumenta proizvođača „Mitutoyo-Digi-

1. Zavod za anatomiju, Medicinski fakultet Banja Luka, Republika Srpska, BiH
2. Klinika za unutrašnje bolesti, Klinički centar Banja Luka, Republika Srpska, BiH
3. Morfološka sekcija Medicinskog fakulteta Banja Luka, Republika Srpska, BiH
4. Institut za anatomiju, Medicinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija

matic Caliper“. Korištena je i „interobserver error“ metoda, odnosno naša mjerenja su upoređivana sa mjerenjima koja je izvršila needucovana osoba (7).

Mjereni su sljedeći radiogrametrijski parametri (Slika 1):

- dužina kosti (L),
- širina kosti na polovini dužine (D/2),
- širina medularnog kanala (M),
- debljina kortikalne ploče medijalno ( $C_{med}$ ),
- debljina kortikalne ploče lateralno ( $C_{lat}$ ),
- ukupni kortikalis ( $C_{ukupni} = C_{med} + C_{lat}$ ).

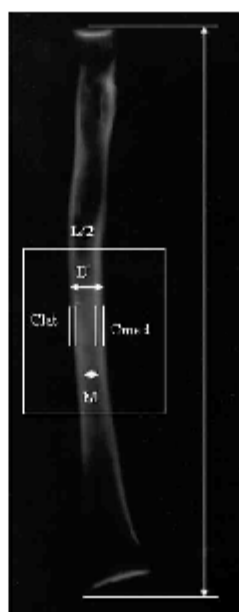
Matematički parametri (Ca — kortikalna area, CI — kortikalni indeks, GI — Garnov indeks, ESI — Exton Smithov indeks) izračunavani su pomoću formula:

$$Ca = (D^2 - M^2) \times 3,14/4$$

$$CI = (CI/D) \times 100$$

$$GI = ((D^2 - M^2) / D^2) \times 100$$

$$ESI = ((D^2 - M^2) / (D \times L)) \times (3,14/4) \times 100.$$



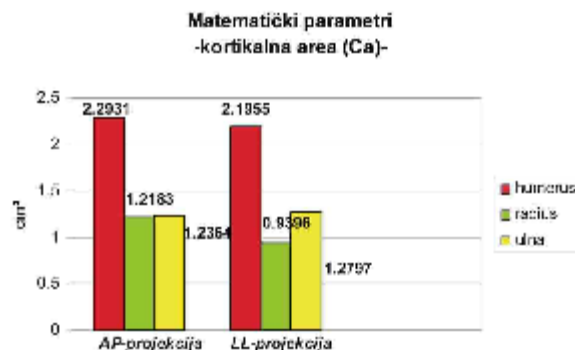
Slika 1. Radiogrametrija radijusa (žbice)

Od navedenih parametara jedino je kortikalna area (Ca) dimenzioni parametar i izražava se u  $\text{mm}^2$  ili  $\text{cm}^2$ , ostali parametri se izražavaju u procentima (%) (8, 9). Ispitivanje signifikantnosti razlika vrijednosti dobijenih u dva pravca snimanja, vršeno je primjenom Studentovog T-testa malih zavisnih uzoraka (test diferencije — razlike)  $n < 30$  po formuli:

$$t = \frac{\bar{x}dif}{\left( \frac{\sum^2 dif - \frac{\sum dif^2}{n}}{n(n-1)} \right)^{1/2}}$$

## REZULTATI

Uvrštavanjem izmjerenih vrijednosti radiogrametrijskih parametara u odgovarajuće formule, dobijene su vrijednosti matematičkih parametara (Grafikon 1, Tabela 1).



Grafikon 1. Vrijednosti kortikalne površine ramene, žbice i laktice

| LL projekcija | CI (%)  | GI (%)  | ESI (%) |
|---------------|---------|---------|---------|
| Humerus       | 39,6102 | 62,3376 | 3,1345  |
| Radius        | 57,5328 | 81,2983 | 3,1896  |
| Ulna          | 54,2262 | 78,4241 | 3,4013  |

Tabela 1. Prosječne vrijednosti matematičkih parametara ispitivanih kostiju

Kortikalna area (Ca) pored toga što predstavlja dimenzioni parametar, jedina je apsolutni parametar. Ostali matematički parametri su relacioni jer u korelaciju dovode najmanje dvije radiogrametrijske veličine.

Iz prikazanih rezultata se uočava da iako humerus posjeduje najdeblji kortikalis (najviše vrijednosti kortikalne aree — Ca), vrijednosti ostalih parametara humerusa su manje nego kod druge dvije duge kosti gornjeg ekstremiteta (radijusa i ulne).

| Upoređivane veličine | Signifikantnost   |
|----------------------|-------------------|
| LL AP<br>Ca : Ca     | $p < 0,01$        |
| LL AP<br>CI : CI     | $p > 0,05$        |
| LL AP<br>GI : GI     | $p > 0,05$        |
| LL AP<br>ESI : ESI   | $0,01 < p < 0,05$ |

Vrijednosti statističkih parametara upoređivanih veličina u tab. 2: Ca : Ca;  $t = -3,3819$ , CI : CI;  $t = -0,7193$ , GI : GI;  $t = -0,1406$ , ESI : ESI;  $t = -2,73$ , S : S = 19, (n - 1) = 20, T = 2,093 za  $p = 0,05$ , T = 2,8609 za  $p = 0,01$ .

Tabela 2. Signifikantnost razlika srednjih vrijednosti matematičkih parametara žbice zavisno od pravca snimanja

| Upoređivane veličine | Signifikantnost   |
|----------------------|-------------------|
| LI: AP<br>Ca : Ca    | $p > 0.05$        |
| LL: AP<br>CI : CI    | $0.01 < p < 0.05$ |
| LL: AP<br>GI : GI    | $0.01 < p < 0.05$ |
| LL: AP<br>ESI : ESI  | $p > 0.05$        |

Vrijednosti statističkih parametara upoređivanih veličina u tab. 3: Ca : Ca;  $t=0.4221$ , CI: CI;  $t=2.3117$ , GI: GI;  $t=2.6992$ , ESI: ESI;  $t=1.1163$ , S : S = 19,  $(n-1) n=20$ ,  $T=2.093$  za  $p=0.05$ ,  $T=2.8609$  za  $p=0.01$ .

*Tabela 3. Signifikantnost razlika srednjih vrijednosti matematičkih parametara laktice zavisno od pravca snimanja*

## DISKUSIJA

Kako relativni matematički parametri u korelaciju dovode više radiogrametrijskih veličina (debljinu kortikalisa sa dužinom i širinom kosti), oni su senzitivniji u dijagnostici onih poremećaja koji se karakterišu spoljašnjom deformacijom kostiju (osteomalacija, osteitis deformans). Čak i u uznapredovaloj, odmakloj fazi osteoporoze, kada se kao komplikacija može javiti kolaps kičmenih pršljenova sa smanjenjem tjelesne visine, duge kosti ne mijenjaju značajnije svoj spoljašnji oblik i dimenzije. Zato se kod mjerenja redukcije koštane mase u osteoporozi najčešće prati vrijednost kortikalne površine.

Iako je vrijednost kortikalne površine značajno veća, ostali matematički parametri humerusa su manji u odnosu na druge dvije ispitivane kosti (Slika 2, Tabela 1). Najviše vrijednosti navedenih parametara posjeduje žbica (radius). Ovo se objašnjava većom tj. gušćom raspodjelom količine mase koštanog tkiva u odnosu na dužinu i širinu kosti ( $g/cm^3$ ). Proizilazi da je radius, i pored najmanje vrijednosti kortikalne površine, po jedinici zapremine robusnija (čvršća) kost u odnosu na lakticu i humerus, što je potvrđeno i drugim studijama (10).

Različite vrijednosti matematičkih parametara kod radiusa i ulne zavisno od pravca snimanja (Tabela

2, 3) mogu se objasniti morfologijom samih kostiju, ali i raspodjelom dinamičkog opterećenja mišića podlakti. Opterećenje na žbici se prenosi više duž spoljašnje, a kod laktice duž prednje i zadnje strane tijela. Ovo je posljedica veće akcije (dominantnosti) onih mišića čiji se pripoji nalaze na tim stranama (na žbici zvrtača i izvrtača podlakti, a na laktici opružaća i prcigibača). Veće dinamičko opterećenje rezultira stvaranjem novog koštanog tkiva kao i transformacijom spongioznog tkiva u kompaktno koštano tkivo. Na taj način linije sile otpora (trajektorije) raspoređuju se više duž spoljašnjih površina kosti. Gušćoj raspodjeli koštanog tkiva radiusa u antero-posteriornoj projekciji doprinose i direktni završni pripoji (*insertio*) mišića rotatora podlakti na tijelu kosti (m. pronator teres, m. supinator), za razliku od laktice gdje se opterećenje mišića prcigibača i opružaća podlakti prenosi na njihov završni pripoj — kosti šake. Ne treba zanemariti ni uticaj sile zemljine teže koja djelujući na opuštenu ruku dovodi istu u položaj pronacije (11).

Upoređivanjem vrijednosti radiogrametrijskih parametara humerusa, radiusa, ulne sa analognim kostima donjeg ekstremiteta: femur, tibia, fibula (12, 13), uočava se znatno veća vrijednost relativnih matematičkih parametara kod kostiju gornjeg ekstremiteta. Iako daleko masivnije i od metakarpalnih kostiju, kosti donjeg ekstremiteta imaju manju količinu koštane mase po jedinici zapremine kosti (2). Ovo se ne može objasniti većim statičkim i dinamičkim opterećenjem, nego evolutivnom funkcionalnom adaptacijom kostiju gornjeg ekstremiteta za obavljanje rada („*homo faber*“).

## ZAKLJUČAK

Uprkos razvoju novih osteometrijskih metoda: ultrasonografska osteodenzitometrija, dualna X-ray absorpcionometrija, digitalna radiogrametrija; klasična radiogrametrija i danas ima svoje mjesto u dijagnostici metaboličkih oboljenja kostiju, kao i u funkcionalnim ispitivanjima koštano-zglobnog sistema. Radiogrametrijska metoda može poslužiti u „kliničkom skriningu“ metaboličkih oboljenja kostiju osoba kod kojih je koštano-zglobni sistem radiografski sniman iz drugih razloga (npr. kod preloma).

## Summary

# RADIOGRAMMETRIC ANALYSIS OF UPPER LIMB LONG BONES

Zlatan Stojanovic,<sup>1</sup> Irena Balaban,<sup>2</sup> Goran Spasojevic,<sup>1</sup> Darko Depčinski,<sup>2</sup> Slobodan Malobabić<sup>4</sup>

1 — Department of Anatomy, School of Medicine, University of Banja Luka, Republic of Srpska, BiH;

2 — Clinic of Internal Diseases, Clinical Center Banja Luka, Republic of Srpska, BiH;

3 — Section of Morphology, School of medicine, University of Banja Luka, Republic of Srpska, BiH;

4 — Institute of anatomy, School of Medicine, University of Belgrade, Srbija

Radiogrammetry is radiological method of bone mineral density quantification. Besides giving an insight in diagnostics and evolution of metabolic bone disorders (osteoporosis, osteomalacia, osteitis deformans- Paget's disease), it can also explain some specific biomechanical characteristics of bone structures. The aim of this study is to evaluate the significance and perspectives of radiogrammetry as a scientific model for further inquiry of skeletal system. The work demonstrates mathematical parameters (Ca- Cortical area, CI- Cortical index, GI- Garn's index, ESI- Exton Smith's index) of upper limb long bones (humerus, radius, ulna). Two standard radiological projections of bones were taken: antero-posterior (AP) and latero-lateral (L.L.). Correlation with metacarpal and lower limb

bones was also performed. The value of the cortical area of humerus is significantly higher comparing with the two other examined bones (Xmean 2,2443 cm<sup>2</sup>, p < 0.01). Radial bone has the highest values of the relational mathematical parameters, which implicates its higher strength by volumetric unit concerning humerus and ulna. Despite the development of contemporary osteometric procedures (ultrasound densitometry, dual X-ray absorptiometry, digital X-ray radiogrammetry), the classical radiogrammetry sustains its important role in diagnostics of metabolic bone disorders and it can be successfully used for biomechanical inquiry of skeletal system.

**Key words:** radiogrammetry, quantification, bone mass density, humerus, radius, ulna.

## LITERATURA

1. Suscevic D, Karan Z. Osteometrical and radiogrammetrical analysis of the long bones of the human skeleton. *Folia Anat* 1994; 23: 46–51.
2. Suscevic D, Karan Z, Spasojevic G, Obradovic Z. Radiogrammetric and mathematical methods for quantification of bone loss in osteoporosis. *Scripta Medica* 1998; 29 (1): 7–11.
3. Pun KK, Wong PH. Importance of measurement of bone density in the management of osteoporosis. *Singapore Med J* 1990; 31(4): 390–6.
4. Rosholm A, Hyldstrup L, Backsgaard L, Gronkin M, Thodberg HH. Estimation of bone mineral density by digital X-ray radiogrammetry: theoretical background and clinical testing. *Osteoporos Int* 2001; 12(11): 961–9.
5. Jorgensen JU, Andersen PH, Rosholm A, Bjarnason NH. Digital X-ray radiogrammetry: a new appendicular bone densitometric method with high precision. *Clin Physiol* 2000; 20(5): 330–5.
6. Bouonen S, Nijs J, Burghs II, Peeters II, Vanderschueren D, Luyten FP. Identifying postmenopausal women with osteoporosis by calcaneal ultrasound, metacarpal digital X-ray radiogrammetry and phalangeal radiographic absorptiometry: a comparative study. *Osteoporos Int* 2004; 34(4): 716–9.

rammetry and phalangeal radiographic absorptiometry: a comparative study. *Osteoporos Int* 2004; 34(4): 716–9.

7. Naor E, Di Sejmi V, Robin G, Makin M, Menczel J. Intra-observer variability in determination of the metacarpal cortical index. *Br Radiol* 1972; 45: 213–7.

8. Aquado F, Revilla M, Villa LF, Rico H. Cortical bone resorption in osteoporosis. *Calcif. Tissue Int* 1997; 60(4): 323–6.

9. Exton-Smith AN, Millard PH, Payne PR, Wheeler EF. Method for measuring quantity of bone. *Lancet* 1969; 2: 153–4.

10. Karan Z, Suscevic D. Robusticity of the long bones of the human skeleton — upper limb. *Folia Anat* 1995; 24: 26–33.

11. Marjan S, Bošković. *Anatomija čoveka: deskriptivna i funkcionalna*. 3 izd. Beograd: Naučna KMD, 2003.

12. Suscevic D, Karan Z. Robusticity of the long bones of the human skeleton lower limb. *Scripta Medica* 1995; 26: 1–4.

13. Stojanovic Z, Suscevic D, Obradovic Z, Karan Z, Novakovic M. The radiological evaluation of long bones osteoporosis in human lower limb. In: *Srpska Anthropological Society, ed. Book of abstracts (in extenso), 2nd international congress of Srpska Anthropological Society*. Banja Luka: Faculty of Medicine Banja Luka, 2007: 136–41.

Adresa za korespondenciju/Correspondence to

Zlatan Stojanović

Tel.: +387 65 717 029

Kalcmcgdanska 7, 78000 Banjaluka,  
Republika Srpska, Bosna i Hercegovina

E-mail: szlatan@blic.net