



# Komparativna analiza linearnih morfometrijskih parametara humane mandibule dobijenih direktnim i indirektnim merenjem

## Comparative analysis of linear morphometric parameters of the humane mandibula obtained by direct and indirect measurement

Stojanka Arsić\*, Predrag Perić†, Miloš Stojković‡, Dragana Ilić§,  
Miodrag Stojanović||, Zorica Ajduković¶, Strahinja Vučić\*\*

Medicinski fakultet, \*Institut za anatomiju, \*\*Studijska grupa za stomatologiju, ||Institut za medicinsku statistiku i informatiku, Niš, Srbija; Vojnomedicinska akademija, †Klinika za neurohirurgiju, Beograd, Srbija; ‡Mašinski fakultet, Niš, Srbija; §Klinički centar Niš, Centar za radiologiju, Niš, Srbija; ¶Stomatološka klinika, Odeljenja za protetiku, Niš, Srbija

### Apstrakt

**Uvod/Cilj.** Rekonstrukcija nedostajuće, oštećene ili deformisane kosti donje vilice predstavlja izazov kako u funkcionalnom, tako i u estetskom pogledu. Cilj istraživanja bio je utvrđivanje potencijalnih razlika u vrednostima osnovnih linearnih morfometrijskih parametara (LMP) dobijenih direktnim i indirektnim merenjem istih humanih mandibula, uz istovremenu proveru preciznosti indirektnih metode merenja koja se rutinski koristi u svakodnevnom kliničkom radu. Istraživanje je od značaja za definisanje parametarskog modela „standardne mandibule“, odnosno virtuelnog modeliranja humane mandibule u budućim istraživanjima i kliničkoj praksi. **Metode.** Istraživanje je sprovedeno na 12 anatomskih osteoloških preparata adultnih humanih mandibula. Određivane su vrednosti 10 standardnih LMP koristeći standardne anatomske orijentacione tačke. Parametri su mereni na istim mandibulama manuelno i to direktno, uz pomoć kljunastog merila sa nonijusom i indirektno, softverskim alatom na dvodimenzionalnim (2D) rekonstrukcijama snimaka multislicejskih kompjuterskih tomografija (MSCT), uz međusobno poređenje vrednosti za isti LMP. **Rezultati.** Statistički značajne razli-

ke upoređivanih vrednosti LMP-a, dobijenih različitim metodama merenja, bile su prisutne kod gnation-interdentalne distance (Gn-IdD) i gnation-kondilarne distance (Gn-KoD), obostrano. U oba slučaja, značajno više srednje vrednosti (sa procentualnom razlikom) uočene su pri direktnom u odnosu na indirektno merenje: Gn-IdD (21,57%; 29,2 mm vs 22,9 mm;  $p = 0,004$ ); Gn-KoD leva strana (14,1%; 122,7 mm vs 105,4 mm;  $p = 0,001$ ); Gn-KoD desna strana (11,87%; 124,7 mm vs 109,9 mm;  $p = 0,009$ ). **Zaključak.** Uočene razlike u nepreciznosti indirektnog merenja, ukazuju na potrebu uvođenja odgovarajućeg korekcionog faktora za Gn-IdD i Gn-KoD prilikom definisanja parametarskog modela „standardne mandibule“ na osnovu morfometrijskog merenja na 2D rekonstrukcijama MSCT snimaka. Dodatna ispitivanja na većem broju uzoraka, uz kvantifikovanje anatomskih varijacija u odnosu na pol, starost, stanje denticije i etničko poreklo, dodatno povećavaju preciznost merenja, a time i pouzdanost budućeg parametarskog modela humane mandibule.

**Ključne reči:** mandibula; ljudi; tomografija, kompjuterizovana rendgenska; osetljivost i specifičnost.

### Abstract

**Background/Aim.** Reconstruction of lost, damaged or distorted mandibular bone presents a challenge from the functional side, as well as from the esthetic point of view. The aim of this study was to determine potential differences between values of the basic linear morphometric parameters (LMPs) obtained by direct and indirect manual measurement of the same humane mandibles, with accuracy testing of indirect measurement, which are routinely used in every-day clinical practice. The results are essential for defining of parametric model of the “stan-

dard mandible” and virtual modeling of the humane mandible in future researches as well as in clinical medicine. **Methods.** A total number of 12 dry bony mandibles of human adults were studied. According to the standard anatomical landmarks, 10 standard LPMs were measured on each mandible by different manual methods: directly by a sliding caliper with nonius, and indirectly using standard software on two-dimensional (2D) reconstructions of mandibular multislice computed tomography (MSCT) scans. The values obtained by the different measuring methods were matched for the same LMPs. **Results.** Statistically significant differences between compared LMPs

values obtained by different measuring methods, appeared in the gnathio-interdental distance (Gn-IdD), as well as in the gnathio-condylar distance (Gn-CoD), bilaterally. In both parameters, significantly higher mean values (with percent of difference) were obtained by direct *versus* indirect measurement: Gn-IdD (21.57%; 29.2 mm *vs* 22.9 mm;  $p = 0.004$ ); Gn-CoD left side (14.1%; 122.7 mm *vs* 105.4 mm;  $p = 0.001$ ); Gn-CoD right side (11.87%; 124.7 mm *vs* 109.9 mm;  $p = 0.009$ ). **Conclusion.** According to the observed inaccuracy of indirect measurement, we recommended the use of a correction factor for calculation of both Gn-IdD and Gn-CoD real values,

in defining of parametric model of the "standard mandible" based on indirect morphometry on 2D reconstructions of mandibular MSCCT scans. Additional studies with larger number of specimens and quantification of anatomical variations regarding to sex, age, dentition status and ethnic origin, additionally should increase measurement accuracy and consequently reliability of future parametric model of the human mandible.

**Key words:**  
**mandible; humans; tomography scanners, x-ray computed; sensitivity and specificity.**

## Uvod

Mandibula je jedina pokretna kost lobanje. Potkovičastog je oblika. Učestvuje u funkcijama žvakanja i fonacije kao i u individualnoj estetici lica<sup>1</sup>. Na definitivni oblik mandibule utiču procesi njenog razvića i osifikacije. Začetak mandibule javlja se u petoj gestacijskoj nedelji, u obliku parnih hrskavica nastalih od mandibularnih prominencija porekla ventralnog mezenhima prvog faringealnog luka. U šestoj gestacijskoj nedelji započinje osifikacija mandibule. Na rođenju, mandibulu grade dve simetrične polovine napred spojene fibroznom sinfizom, koja u potpunosti okoštava tokom prve godine života<sup>2</sup>. Postnatalni razvoj je rezultat kompleksnih procesa remodeliranja mandibularne kosti koji je pod uticajem izrastanja zuba, razvoja baze lobanje i pravca delovanja sila mastikacije<sup>3</sup>.

Adultnu mandibulu čini telo i dve grane koje na spoju sa telom grade mandibularne uglove. Mandibularne grane su oblika pravougaonih ploča koje se od uglova penju put nazad i naviše, i u nivou gornjih ivica završavaju sa po jednim koronoidnim i kondilarnim nastavkom. Kondilarni nastavci učestvuju u izgradnji temporomandibularnih zglobova. U strukturnom smislu, mandibula odraslih je spongiozna kost pokrivena tankom kortikalnom pločom, prilagođenom tako da se odupre silama okluzije i tenziji mastikatorne muskulature, odnosno da podnese pritisak i prenese ga duž donje vilice na bazu lobanje<sup>3</sup>.

Rekonstrukcija nedostajuće, oštećene ili deformisane kosti donje vilice predstavlja izazov, kako u funkcionalnom, tako i u estetskom pogledu<sup>1</sup>. Virtuelno modeliranje kostiju lica predstavlja neinvazivnu kompjutersku metodu trodimenzionalne (3D) digitalne rekonstrukcije, koja podrazumeva postojanje morfometrijskog parametarskog modela (MPM)

kosti koja se rekonstruiše. Morfometrijski parametarski model je osnova za izradu CAD (*computer aided design*) geometrijskog oblika kosti, na osnovu morfometrijskih parametara (MP) dobijenih merenjem na dvodimenzionalnim (2D) rekonstrukcijama snimaka kompjuterske tomografije (CT)<sup>4-7</sup>. Primena MPM i virtuelnog modeliranja mandibule je od značaja u svim oblastima stomatologije, posebno u ortodontiji i protetici, ali i u maksilofacijalnoj hirurgiji, zbog planiranja preventivnih i kurativnih zahvata kod orofacijalnih, dentofacijalnih i maksilofacijalnih nepravilnosti<sup>8-10</sup>. Takođe, virtuelno modeliranje kostiju našlo je značajnu primenu u identifikaciji delova skeleta i skeletnog dimorfizma, kao i u rekonstrukciji nedostajućih kostiju popunom koštanih defekata „virtuelnom kosti“ u forenzičkoj medicini, paleoantropologiji i bioarheologiji<sup>11-13</sup>.

Cilj istraživanja bio je utvrđivanje potencijalnih razlika u vrednostima osnovnih linearnih morfometrijskih parametara (LMP) dobijenih direktnim i indirektnim merenjem istih humanih mandibula, uz istovremenu proveru preciznosti indirektnih metode merenja koja se rutinski koristi u svakodnevnom kliničkom radu. Dobijeni podaci su od značaja za definisanje MPM „standardne mandibule“, odnosno virtuelnog kompjuterskog modeliranja humane mandibule u budućim istraživanjima i kliničkoj praksi. Istraživanje predstavlja pionirski rad u ovoj oblasti u našoj zemlji.

## Metode

Istraživanje je sprovedeno na 12 adultnih parcijalno bezubih mandibula, bez vidljivih patoloških koštanih lezija, koje su deo osteološke kolekcije Instituta za anatomiju Medicinskog fakulteta u Nišu. Koristeći karakteristične anatomске orijentacione tačke (KAOT) definisane u tabeli 1, odre-

Tabela 1

### Karakteristične anatomske orijentacione tačke (KAOT) humane mandibule korišćene za merenje linearnih morfometrijskih parametara

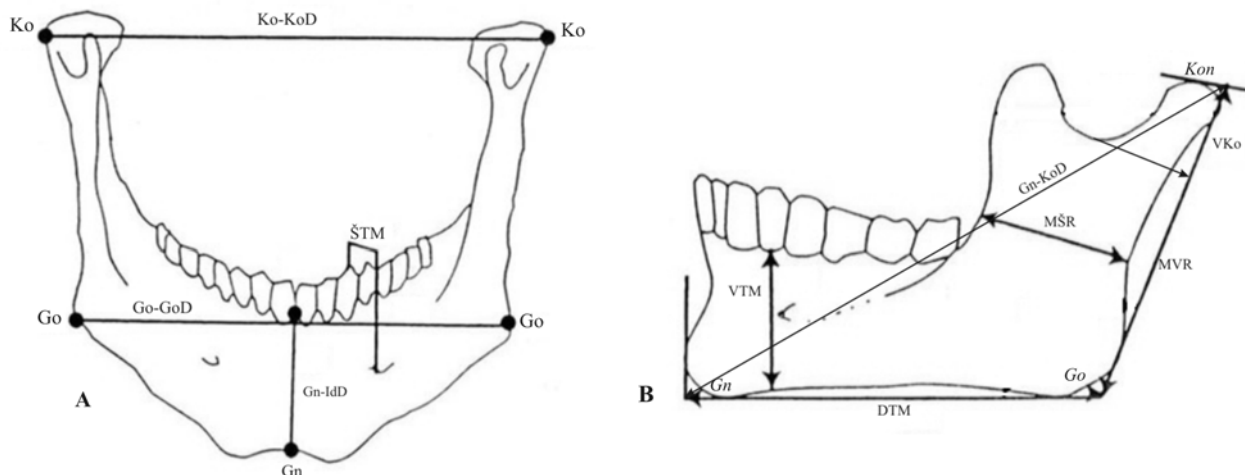
KAOT	Definicija
Bradni otvor (BO)	Otvor na spoljašnjoj strani tela mandibule ispod međuprostora između I i II premolara (bilateralna)
Gnation (Gn)	Najniža tačka donje ivice mandibularne sinfize u medio-sagitalnoj ravni usmerena prema dole i pozadi (centralna)
Gonion (Go)	Najniža tačka mandibularnog ugla usmerena prema spolja, nadole i pozadi (bilateralna)
Kondilion (Kon)	Najprominentnija tačka na glavi kondilarnog nastavka (bilateralna)
Mandibularni usek (MU)	Središnji deo gornje ivice ramusa mandibule (bilateralna)

Tabela 2

## Linearni morfometrijski parametri (LMP) humane mandibule određivani direktnim i indirektnim merenjem

LMP	Definicija
Visina tela mandibule <sup>†</sup> (VTM)	Distanca od alveolarne ivice do baze mandibule u nivou BO
Širina tela mandibule <sup>†</sup> (ŠTM)	Maksimalna širina izmerena u nivou BO perpendikularno na uzdužnu osu mandibule
Dužina tela mandibule <sup>†</sup> (DTM)	Distanca između Gn i Go
Minimalna širina ramusa <sup>†</sup> (MŠR)	Najmanja dužina ramusa mandibule izmerena perpendikularno na pravu maksimalne visine ramusa
Maksimalna visina ramusa <sup>†</sup> (MVR)	Distanca između Go i Kon
Visina kondila <sup>†</sup> (VKo)	Distanca između Kon i prave koja prolazi kroz najnižu tačku MU perpendikularna na pravu MVR
Gnation-interdentalna distanca* (Gn-IdD)	Distanca od Gn do koštane pregrade alveola centralnih sekutića
Bigonionalna distanca* (Go-GoD)	Distanca između levog i desnog Go
Bikondilarna distanca* (Ko-KoD)	Distanca između levog i desnog kondilarnog procesusa (Ko)
Gnation-kondilarna distanca <sup>†</sup> (Gn-KoD)	Distanca između Gn i Kon

\*centralni LMP; <sup>†</sup>bilateralni, obostrano mereni LMP; BO – bradni otvor; Gn – gnation; Go – gonion; Kon – kondilion; MU – mandibularni usek.



Sl. 1 – Šematski prikaz karakterističnih anatomskih orijentacionih tačaka centralnih (A) i bilateralnih (B) mandibularnih linearnih morfometrijskih parametara iz tabela 1 i 2

divane su vrednosti 10 standardnih centralnih i bilateralnih LMP<sup>14, 15</sup> prikazanih u tabeli 2 i na slici 1. Vrednosti bilateralnih LMP merene su obostrano. Linearni morfometrijski parametri mereni su na istim mandibulama manuelno, direktno i indirektno, određenim redosledom identičnim za oba tipa merenja.

Direktno merenje vršeno je uz pomoć kljunastog merila sa nonijusom preciznosti 0,05 mm (MIB *Messzeuge, Germany*). Po identifikaciji KAOT, svaki LMP meren je direktno 9 puta: tri puta od strane svakog od tri nezavisna ispitivača u vremenskim intervalima od 24 h (slika 2). Prosečna vrednost devet merenja za odgovarajući LMP na svakoj od 12 mandibula, uzeta je za konačnu statističku analizu.

Indirektno merenje na istim koštanim preparatima vršeno je na 2D rekonstrukcijama prethodno pojedinačno skeniranih mandibula na 64-slajsnom CT (MSCT) (*Aquillion 64, Toshiba, Japan*), po standardnom protokolu snimanja: 120 kVp, 150 mA, rotaciono vreme 0,5 s, debljine preseka 0,5 mm. Svaki od osteoloških preparata skeniran je na identičan način i u identičnom položaju. Mandibule su donjom ivicom tela bile postavljene na tvrdu horizontalnu podlogu paralelnu sa podom prostorije na pokretnom stolu MSCT aparata. Bile su pozicionirane tako da je mediosagitalna ravan prolazila sredinom mandibularne sinfize i pod pravim uglom sekla koronarnu ravan koja je prolazila kroz temena mandibularnih angulusa. U okviru obrade

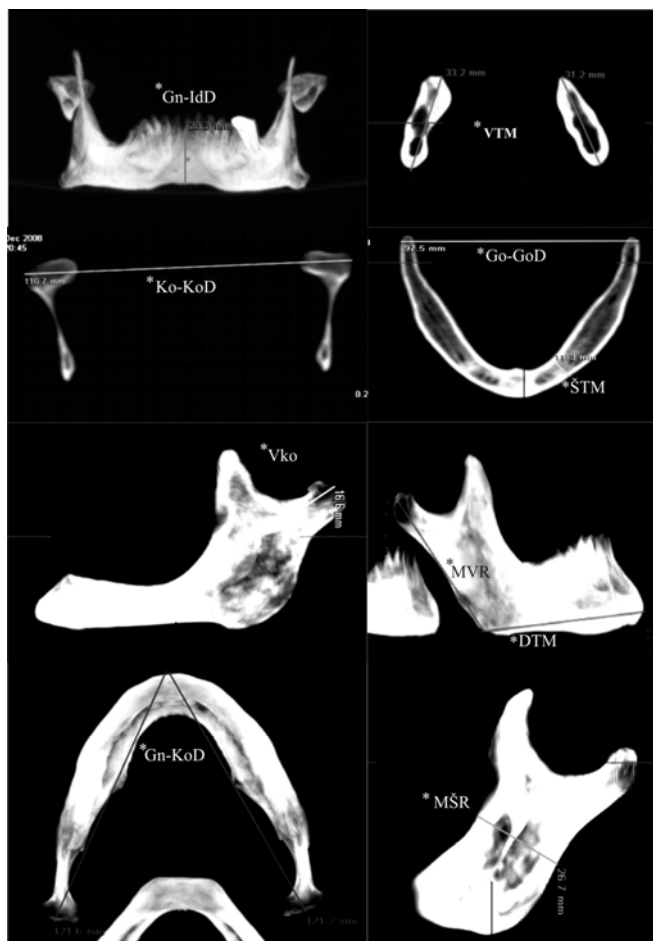


Sl. 2 – Direktno manuelno merenje kljunastim merilom sa nonijusom

snimaka, načinjene su standardne 2D rekonstrukcije debljine preseka od 0,5 mm, koje su obrađivane na radnoj stanici MSCT aparata u programu *Vital Image* (verzija 4,1), u prozoru za kost (100–300HI). Indirektno merenje vršeno je manuelnim povlačenjem merne linije između prethodno nedvosmisleno identifikovanih KAOT iz tabele 1 na 2D rekonstrukcijama od strane jednog ispitivača, tri puta za svaki od LMP-a, u vremenskim razmacima od 24 h, softverskim alatom *Vital Image* programa (slika 3). Prosečna vrednost

tri merenja za odgovarajući LMP, na svakoj od 12 mandibula uzeta je za konačnu statističku analizu.

dibula, bile su u opsegu: Gn-IdD 23–35 mm/15,6–41,6 mm; Go-GoD 84–107 mm/80–106 mm; Ko-KoD 106–128



Sl. 3 – Indirektno manuelno merenje linearnih morfometrijskih parametara softverskim alatom *Vital Image* programa na 2D rekonstrukcijama multislajskih kompjuterskih tomografija

\*Gn-IdD, VTM, Ko-KoD, Go-GoD, ŠTM, VKo, MVR, DTM, GnKoD, MŠR - linearni morfometrijski parametri definisani u tabeli 2

Određivani LMP prikazani su u obliku srednje vrednosti (SV), standardne devijacije (SD), apsolutne razlike (AR) i procentualne razlike (%R) između uporedivanih SV direktnog i indirektnog merenja za odgovarajući LMP. Apsolutna razlika i %R izračunate su prema formulama<sup>15</sup>:

AR = SV direktnog merenja - SV indirektnog merenja;

$$\%R = \frac{AR}{SV \text{ direktnog merenja}} \times 100$$

Za ispitivanje normalnosti raspodele parametara korišćen je Shapiro-Wilk test. Testiranje razlike između vrednosti dobijenih direktnim i indirektnim merenjem za isti LMP, vršeno je Studentovim *t* testom za nezavisne male uzorke sa nivoom statističke značajnosti testa  $p < 0,05$ . Statistička analiza vršena je softverskim paketom SPSS (verzija 15).

## Rezultati

Srednje vrednosti centralnih LMP donje vilice, merenih direktno i indirektno, prikazane su u tabeli 3. Prosečne vrednosti devet direktnih/tri indirektna merenja za svaku od man-

mm/106,4–124,8 mm. Statistički značajno veća SV Gn-IdD za 21,57% bila je prisutna pri direktnom nego pri indirektnom merenju (29,2 mm vs 22,9 mm;  $p = 0,004$ ). Poređenjem ostalih analiziranih vrednosti za isti centralni LMP, nije nađena statistički značajna razlika u odnosu na primenjenu tehniku merenja (tabela 2).

Srednje vrednosti direktno i indirektno obostrano merenih bilateralnih LMP donje vilice prikazane su u tabelama 4 i 5. Prosečne vrednosti devet direktnih/tri indirektna merenja sa leve strane, za svaku od mandibula, bile su u opsegu: DTM 67–79 mm/64,7–91,4 mm; VTM 19–36 mm/18–31 mm; ŠTM 10–16 mm/10,7–15 mm; MŠR 22–33 mm/25–32 mm; MVR 76–53 mm/55–74,5 mm; VKo 8–26 mm/8,7–22 mm, Gn-KoD 110–140 mm/91–130 mm. Prosečne vrednosti devet direktnih/tri indirektna merenja sa desne strane, za svaku od mandibula, bile su u opsegu: DTM 65,8–78,5 mm/64,1–88,4 mm; VTM 20–35 mm/18,6–33 mm; ŠTM 9–16 mm/9–15,4 mm; MŠR 24–32 mm/24–32 mm; MVR 50–72 mm/45–88 mm; VKo 6–26 mm/8,9–23,4 mm, Gn-KoD 110–140 mm/89–130 mm. Statistički značajno veća SV Gn-KoD za 14,1%, bila je prisutna pri direktnom nego pri indirektnom merenju sa leve strane (122,7 mm vs 105,4 mm;  $p = 0,001$ ) (tabela 4), odnosno

Tabela 3

## Komparacija direktnog i indirektnog merenja centralnih mandibularnih linearnih morfometrijskih parametara (LMP)

LMP	Direktno merenje (mm)		Indirektno merenje (mm)		AR (mm)	%R	<i>p</i>
	SV	SD	SV	SD			
Gn-IdD	29,2	0,45	22,9	0,5	6,3	21,57	0,004*
Go-GoD	97,4	0,72	97,0	0,53	0,4	0,41	0,89
Ko-KoD	116,0	0,59	115,5	0,58	0,5	0,43	0,83

\*statistički značajna razlika (Studentov *t* test) ( $p < 0,05$ ); LMP – linearni morfometrijski parametar definisani u tabeli 2; SV – srednja vrednost za 12 mandibula; SD – standardna devijacija; AR – apsolutna razlika između  $SV^{DM}$  i  $SV^{IM}$ ; % R – procentualna razlika  $SV^{DM}$  i  $SV^{IM}$ ; *p* – vrednost Studentovog *t* testa

Tabela 4

## Komparacija direktnog i indirektnog merenja bilateralnih mandibularnih linearnih morfometrijskih parametara (LMP) sa leve strane

LMP	Direktno merenje		Indirektno merenje		AR (mm)	%R	<i>p</i>
	SV	SD	SV	SD			
VTM	27,3	0,48	23,8	0,46	3,5	12,8	0,090
ŠTM	11,8	0,19	12,0	0,17	-0,2**	1,69	0,660
DTM	70,5	0,38	74,2	0,74	-3,7**	5,25	0,14
MŠR	28,2	0,29	27,6	0,28	0,6	2,13	0,642
MVR	61,9	0,66	64,1	1,06	-2,2**	3,55	0,545
VKo	18,8	0,53	17,4	0,42	1,4	7,45	0,471
Gn-KoD	122,7	0,76	105,4	1,36	17,3	14,1	0,001*

\*statistički značajna razlika (Studentov *t* test) ( $p < 0,05$ ); \*\* $SV^{DM} < SV^{IM}$ ; LMP – linearni morfometrijski parametar definisani u tabeli 2; SV – srednja vrednost za 12 mandibula; SD – standardna devijacija; AR – apsolutna razlika između  $SV^{DM}$  i  $SV^{IM}$ ; % R – procentualna razlika  $SV^{DM}$  i  $SV^{IM}$ ; *p* – vrednost Studentovog *t* testa.

za 11,87% pri direktnom nego pri indirektnom merenju sa desne strane (124,7 mm vs 109,9 mm;  $p = 0,009$ ) (tabela 5). Između ostalih analiziranih vrednosti merenih sa leve i desne strane za isti bilateralni LMP, nije nađena statistički značajna razlika u odnosu na primenjenu metodu merenja.

rektno i indirektno mereni u ovom istraživanju. Samim tim, oni predstavljaju standardni minimum za konstruisanje MPM humane mandibule.

U odnosu na literaturne podatke, rezultati naših merenja potvrđuju ekstremnu multifaktorsku varijabilnost mandibu-

Tabela 5

## Komparacija direktnog i indirektnog merenja bilateralnih mandibularnih linearnih morfometrijskih parametara (LMP) sa desne strane

LMP	Direktno merenje		Indirektno merenje		AR (mm)	%R	<i>p</i>
	SV	SD	SV	SD			
VTM	26,4	0,58	22,6	0,48	3,8	14,39	0,096
ŠTM	11,8	0,17	11,8	0,15	0	0	0,950
DTM	69,5	0,36	73,3	0,71	-3,8**	5,47	0,16
MŠR	28,4	0,32	28,5	0,23	-0,1**	0,35	0,742
MVR	64,7	0,72	65,6	0,58	-2,2**	0,9	0,742
VKo	19,3	0,45	18,2	0,38	1,1	5,7	0,500
Gn-KoD	124,7	0,71	109,9	1,56	14,8	11,87	0,009*

\*statistički značajna razlika (Studentov *t* test) ( $p < 0,05$ ); \*\* $SV^{DM} < SV^{IM}$ ; LMP – linearni morfometrijski parametar definisani u tabeli 2; SV – srednja vrednost za 12 mandibula; SD – standardna devijacija; AR – apsolutna razlika između  $SV^{DM}$  i  $SV^{IM}$ ; % R – procentualna razlika  $SV^{DM}$  i  $SV^{IM}$ ; *p* – vrednost Studentovog *t* testa

## Diskusija

Mandibula kao realni 3D objekat u prostoru, određen je referentnim geometrijskim parametrima (tačke, prave, pravci, ravni, uglovi) koji definišu njen oblik i položaj. Koristeći karakteristične anatomske detalje kao referentne tačke, moguće je njihovo merenje (morfometriiranje) i proračunavanje, odnosno formiranje geometrijskog modela (MPM) na osnovu izmerenih vrednosti MP<sup>6,7</sup>. Izdvajaju se dve grupe MP: linearni i angularni. Linearni definišu dimenzije, distance i ravni, a ugaoni međusobni položaj delova mandibule odnosno ugaone nagibe međusobno zaklapajućih ravni u realnom 3D prostoru<sup>16</sup>. Podaci iz literature<sup>15,16</sup> ukazuju da konfiguracija mandibule može biti precizno sagledana uz pomoć 10 osnovnih centralnih i bilateralnih mandibularnih LMP, koji su di-

larnih LMP. Tako, na primer, u analizi varijacija bilateralnih LMP mandibula u odnosu na etničko poreklo<sup>17</sup>, uz bliže determinante kao što su strana merenja, pol i stanje denticije, SV direktnih merenja na parcijalno bezubim mandibulama etničke grupe slične našoj populaciji, u odnosu na korespondentne naše SV bile su: za DTM znatno veće, odnosno za VTM znatno manje (> 5 mm), za MVR nešto manje (1–0,5 mm), za MŠR slične ( $\pm 0,5$  mm) i za VKo sa leve strane nešto veće, odnosno sa desne strane nešto manje. Autori pomenute studije ističu postojanje pozitivne korelacije u razlici SV DTM i MVR između ispitivanih etničkih grupa, kao i blagu asimetriju DTM za 1–2 mm na račun leve u odnosu na desnu stranu kod 77,7% direktno merenih mandibula u okviru bazične etničke grupe. Kao mogući razlozi uočene asimetrije mandibula u odnosu na DTM, ali i potencijalno VTM i VKo,

navode se genetski faktori, tip mastikacije i dobnu starost kada je nastupila totalna ili parcijalna bezubost. Varijacije ispitivanih LMP u odnosu na pol, iako prisutne, nisu bile statistički značajne<sup>17</sup>. U studiji u kojoj su mandibularni LMP indirektno mereni na 2D rekonstrukcijama CT snimaka osteoloških preparata humanih lobanja<sup>15</sup>, SV Ko-KoD bile su manje (1–5 mm) od naših, SV Go-GoD i MVR znatno manje od naših, dok su SV DTM sa leve strane bile slične, odnosno sa desne strane veće od naših SV indirektnih merenja. Indirektna morfometrija na 2D i 3D rekonstrukcijama CT snimaka mandibula kod ljudi sa klasom II/podtip I malokluzije<sup>18</sup>, pokazala je da su SV za DTM i MVR obostrano znatno manje, za Gn-KoD levostrano slične, desnostrano manje i za VKo obostrano slične SV naših indirektnih merenja. Indirektna merenja VTM na panoramskim rendgenografijama normalnih mandibula<sup>19</sup>, kao i Ko-KoD i Go-GoD na posteroanteriornim cefalogramima bolesnika sa transferzalnom mandibularnom deficijencijom<sup>20, 21</sup>, pokazala su da su SV VTM i Ko-KoD znatno veće od naših korespondentnih SV obostrano. Međutim, SV Go-GoD bile su slične<sup>20</sup>, veće<sup>21</sup>, odnosno znatno veće (> 10 mm) kod ljudi sa estetskim problemom tipa „kockasto proširenog donjeg dela lica“ koji je čest kod Azijata<sup>22, 23</sup>. Brojna ispitivanja populacionospecifičnog i polnog dimorfizma na osnovu morfometrijskih merenja mandibule, zuba i kostiju lobanje, takođe ukazuje da LMP mandibule u znatnoj meri variraju u odnosu na pol i etničko-populacionu pripadnost koje u antropomorfološkom smislu i specifično određuju<sup>24–28</sup>. Uticaj starosne dobi i stanja denticije na vrednosti pojedinih mandibularnih LMP, vrlo ilustrativno prikazuje poređenje naših rezultata sa rezultatima indirektnog merenja DTM, MVR, MŠR, Gn-IdD i Gn-KoD na lateralnim cefalometrijskim rendgenografijama kod mladih muškaraca prosečne starosti 22,4 godine sa očuvanom denticijom<sup>29</sup>. Vrednosti svih navedenih LMP znatno su veće u odnosu na naše, dobijene direktnim i indirektnim merenjem parcijalno bezubih mandibula. Uzimajući u obzir napred izneto, a u kontekstu što preciznijeg definisanja MPM „standardne mandibule“ kao osnove virtuelnog modeliranja u budućim istraživanjima i kliničkom radu, nameće se potreba za preciznim morfometrijskim kvantifikovanjem normalnih anatomskih varijacija u odnosu na pol, starost, stanje denticije i etničko poreklo kao značajne dopune važećih morfometrijskih standarda koji se koriste u dijagnostici i lečenju ortodontskih i ortognatskih poremećaja naše populacije.

Za većinu LMP koje smo određivali u našem istraživanju, izuzev Gn-IdD i Gn-KoD, statistički značajne razlike pri direktnom merenju na osteološkim preparatima humanih mandibula uz pomoć kljunastog merila sa nonijusom i indirektnom merenju na 2D rekonstrukcijama MSCT snimaka istih mandibula, nisu nađene. S obzirom na postavljeni cilj istraživanja u smislu provere validnosti rezultata indirektnog merenja, statistički značajno niže SV pri indirektnom merenju za Gn-IdD (22,9 mm) i Gn-KoD (levo 105,4 mm, desno 109,9 mm) u odnosu na korespondentne, dobijene direktnim merenjem (Gn-IdD 29,2 mm; Gn-KoD levo 122,7 mm, desno 124,7 mm) na istim mandibulama, ukazuju na postojanje izvesnog stepena odstupanja od realnih dimenzija koja se mogu smatrati greškom nastalom pri indirektnom merenju na

2D rekonstrukcijama MSCT snimaka za pomenute LMP. Konkretno, našli smo da ovo odstupanje, izražena kao %R SV direktnih u odnosu na indirektna merenja, za Gn-IdD iznosi 21,57%, odnosno za Gn-KoD 14,1% sa leve i 11,87% sa desne strane. Pošto su SV direktnih merenja veće od SV indirektnih merenja, to praktično znači da su za navedene vrednosti %R indirektno merene Gn-IdD i Gn-KoD kraće od stvarnih na istim mandibulama. Pojava ovakvih odstupanja u kontekstu daljeg procesuiranja podataka, izradi MPM i konačnog virtuelnog modela za konkretnog pacijenta kod koga se npr. planira rekonstruktivni zahvat milimetarske tačnosti ili izrada individualnog implantata, može biti vrlo problematična. Cefalometrijska istraživanja na osteološkim preparatima lobanja takođe su pokazala da indirektna merenja na rekonstrukcijama CT snimaka gotovo uvek u izvesnoj meri pokazuju manje dimenzije u odnosu na realne. Šta više, ovakva odstupanja su čak nešto veća (1–2 mm) u odnosu na ona pri indirektnoj morfometriji na frontalnim i lateralnim cefalografijama<sup>30</sup>. Kod pojedinih autora, za indirektna merenja na 2D rekonstrukcijama CT snimaka, ona se kreću u opsegu 0,1–3,0% sa SV %R od 0,9%, što su autori navedene studije ocenili kao tolerantno odstupanje od realnih dimenzija<sup>31</sup>, dok je kod drugih, odstupanje iznosilo od 1,52% do čak 22,6%<sup>32</sup>. Postavlja se pitanje kliničkog normativa preciznosti odnosno, koliko odstupanje može biti tolerisano. Iako jedinstvenog odgovora za sada još uvek nema, stav većine autora je da preciznost merenja treba prilagoditi svrsi, odnosno zahtevanoj preciznosti krajnjeg cilja za koje je morfometriiranje bilo potrebno<sup>30</sup>. Pokazano je da dozvoljeni opseg klinički prihvatljivog odstupanja pri izradi stereolitografskih modela RP (*rapid prototyping*) tehnologijom, na osnovu indirektnih merenja na 2D rekonstrukcijama CT snimaka, optimalno može iznositi  $\pm 0,5\%$  (0,5 mm na 100 mm)<sup>15</sup>.

U našem istraživanju, direktno merenje uzeto je kao referentno iz dva osnovna razloga. Prvi je primenjeni protokol merenja koji obuhvata 9 merenja za svaki od određivanih LMP, od strane tri nezavisna ispitivača po tri puta, u vremenskim razmacima od 24 h, u odnosu na trostruko manji broj indirektnih merenja jednog ispitivača. Drugi razlog je bazična činjenica da kod direktnog merenja ispitivač neposredno identifikuje KAOT na stvarnom 3D objektu uz direktno merenje distanci između njih u realnom prostoru i vremenu, kalibrisanim mernim instrumentom. Iz ovoga sledi da se referentnost direktnog merenja ne može dovesti u pitanje, pa razloge za uočena odstupanja, odnosno greške u indirektnom merenju treba tražiti u tehničkim specifičnostima samog postupka indirektnog merenja LMP na 2D rekonstrukcijama MSCT snimaka, na šta ukazuju i drugi autori<sup>15, 33</sup>. Pošto se suštinski indirektno merenje svodi na softversko izračunavanje distance između identifikovane orijentacione tačke na 2D slici objekta, razlozi za moguće greške i odstupanja u odnosu na realne dimenzije mogu se uslovno podeliti na greške ispitivača i tehničke greške<sup>15, 30, 33</sup>.

Najveća greška ispitivača koja može nastati pri indirektnim morfometrijskim/cefalometrijskim merenjima na rekonstrukcijama CT snimaka kostiju lica i lobanje, rezultat je pogrešne i/ili neprecizne identifikacije KAOT. Pokazano je

da za svaku od KAOT postoji tipičan stepen greške u identifikaciji kojim ona procentualno doprinosi ukupnoj nepreciznosti indirektnog merenja na 2D/3D rekonstrukcijama MSCT snimaka<sup>30, 33</sup>. Preporuka je da razlika pri ponavljanoj identifikaciji jedne iste kraniofacijalne KOAT na 2D rekonstrukcijama MSCT osteoloških preparata, sme da bude u opsegu  $\pm 0,5$  mm<sup>30</sup>. Sve preko toga značajno povećava ukupnu nepreciznost indirektnog morfometrijskog merenja. U našem istraživanju ovakva greška, kao uzrok uočenog statistički značajnog odstupanja u SV Gn-IdD i Gn-KoD dobijenih direktnim u odnosu na indirektna merenja, malo je verovatna jer, kad bi postojala, ona bi bila sistemska i ispoljila bi se kroz razlike u SV i drugih LMP koje definišu identične KAOT<sup>33</sup>. Dodatna nepreciznost u identifikaciji KAOT može nastati pri indirektnoj morfometriji na preparatima kadavera ili ispitanicima zbog distorzije slike koju stvaraju meka tkiva<sup>33</sup>. To je jedan od razloga što se morfometrija osteoloških preparata smatra zlatnim standardom za izradu MPM.

Tehničke greške podrazumevaju greške koje mogu nastati u definisanju optimalnih parametara CT snimanja, procesu obrade snimaka i izradi i kvalitetu rekonstrukcija, kao i u odabiru optimalne debljine preseka što se ističe kao najbitniji faktor u ovoj grupi<sup>15, 30, 33</sup>. U našem istraživanju, primenjeni su standardni parametri MSCT snimanja koji se koriste u rutinskoj dijagnostičkoj vizuelizaciji koštanih struktura lica sa debljinom preseka od 0,5 mm. Međutim, ne možemo prenebregnuti mogućnost da standardni parametri MSCT snimanja koji zadovoljavaju kvalitativno-deskriptivne dijagnostičke zahteve, nisu optimalni i u slučaju kvantitativno-morfometrijskih studija.

Uvođenje korekcionog faktora dobijenog na osnovu uporednih direktnih/indirektnih morfometrijskih merenja na dovoljno velikom uzorku, po standardizovanom protokolu,

potencijalno rešava uočeni problem odstupanja od realnih dimenzija pojedinih LMP, u našem slučaju Gn-IdD i Gn-KoD, pri indirektnom merenju na 2D rekonstrukcijama MSCT snimaka. Takođe, nameće se potreba za optimizacijom tehničkih parametara MSCT snimanja, akvizicije, rekonstrukcije i obrade podataka u cilju što preciznije vizuelizacije KAOT. Na kraju, s obzirom na veliku multifaktorsku varijabilnost mandibule, kvantifikovanje anatomskih varijacija u odnosu na pol, starost, stanje denticije i etničko poreklo ne sme biti zanemareno.

### Zaključak

Naše istraživanje jasno pokazuje da indirektno merenje Gn-IdD i Gn-KoD na 2D rekonstrukcijama MSCT snimaka humanih mandibula standardnim protokolom koji se koristi u svakodnevnom kliničkom radu, ne daje validne rezultate u odnosu na korespondentne vrednosti direktnih merenja. Uočene razlike ukazuju na potrebu uvođenja odgovarajućeg korekcionog faktora za indirektno merenje Gn-IdD i Gn-KoD prilikom definisanja parametarskog modela „standardne mandibule“ na osnovu morfometrijskog merenja na 2D rekonstrukcijama MSCT snimaka. Slična ispitivanja na većem broju uzoraka, uz kvantifikovanje anatomskih varijacija u odnosu na pol, starost, stanje denticije i etničko poreklo, dodatno će povećati preciznost merenja, a time i pouzdanost budućeg parametarskog modela humane mandibule.

### Zahvalnost

Istraživanje je finansirano sredstvima iz projekta TR-12012 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

## L I T E R A T U R A

1. *Sadler TW, Langman J.* Longman's medical embryology. 10th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
2. *Standring S,* editor. Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice. 39th ed. Philadelphia: Elsevier Curcill Livingstone; 2004.
3. *Benazzi S, Stansfield E, Kullmer O, Fiorenza L, Gruppioni G.* Geometric morphometric methods for bone reconstruction: the mandibular condylar process of Pico della Mirandola. *Anat Rec (Hoboken)* 2009; 292(8): 1088–97.
4. *Sun W, Darling A, Starly B, Nam J.* Computer-aided tissue engineering: overview, scope and challenges. *Biotechnol Appl Biochem* 2004; 39(Pt 1): 29–47.
5. *Starly B, Fang Z, Sun W, Shokoufandeh A, Regli W.* Three-dimensional reconstruction for medical-CAD modeling. *J Comput Aided Des Appl* 2005; 2(1–4): 431–8.
6. *Stojkovic M, Trajanovic M, Vitkovic N, Milovanovic J, Arsic S, Mitkovic M.* Referential geometrical entities for reverse modeling of geometry of femur. In: *Tavares JM, Jorge N,* editors. *VIPIIMAGE 2009. Proceedings of the Second Thematic Conference on Computational Vision and Medical Image Processing;* 2009 Oct 14–16. Portugal: Porto; 2009. p. 189–94.
7. *Trajanovic M, Vitkovic N, Stojkovic M, Manic M, Arsic S.* The morphological approach to geometrical modelling of the distal femur. In: *Papadarakakis M, Kojic M, Papadopoulos V,* editors. *SEECM 2009. An IACM-ECCOMAS Special Interest Conference; Proceedings of the Second South-East European Conference on Computational Mechanics [proceedings on CD-ROM: SE191].* 2009 June 22–24; Greece: Rhodes; 2009.
8. *Ciocca L, De Crescenzo F, Fantini M, Scotti R.* CAD/CAM and rapid prototyped scaffold construction for bone regenerative medicine and surgical transfer of virtual planning: a pilot study. *Comp Med Imaging Graph* 2009; 33(1): 58–62.
9. *Eufinger H.* Individual augmentation of the atrophic mandible based on CAD/CAM-manipulated computed tomography data-in vitro results. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1994; 23 (6 Pt 2): 399–402.
10. *Sohmura T, Kusumoto N, Otani T, Yamada S, Wakabayashi K, Yutani H.* CAD/CAM fabrication and clinical application of surgical template and bone model in oral implant surgery. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20(1): 87–93.
11. *Vandermeulen D, Claes P, Loeckx D, De Greef S, Willems G, Suetens P.* Computerized craniofacial reconstruction using CT-derived implicit surface representations. *Forensic Sci Int* 2006; 159S: S164–74.
12. *Zollhofer CPE, Ponce de León MS, Martin RD.* Computer-assisted Paleoanthropology. *Evol Anthropol* 1998; 6: 41–54.
13. *Benazzi S, Stansfield E, Milani C, Gruppioni G.* Geometric morphometric methods for three-dimensional virtual reconstruction of a fragmented cranium: the case of Angelo Poliziano. *Int J Legal Med* 2009; 123: 333–44.

14. *Buikstra JE, Ubelaker DH.* Standards for data collection from human skeletal remains. Proceedings of a Seminar at the Field Museum of Natural History. Fayetteville, AK: Arkansas Archaeological Survey, Arkansas; 1994 [accepted 2009 January 11]. Available from: <http://www.cleber.com.br/standard.html>
15. *Nizam A, Gopal RN, Naing L, Hakim AB, Samsudin AR.* Dimensional accuracy of the skull models produced by rapid prototyping technology using stereolithography apparatus. Arch Orofac Sci 2006; 1: 60–6.
16. *Drăgulescu D, Stanciu D, Toth-Taşcău M.* Modeling and dynamic study of human mandible. 10<sup>th</sup> Conference of Mechanical Vibrations with International Participation, 23-24 May 2002. Romania: Timisoara; 2002.
17. *Pușoru M, Forna N, Fătu AM, R. Fătu R, Fătu C.* Analysis of mandibular variability in humans of different geographic areas. Ann Anat 2006; 188(6): 547–54.
18. *Križane Z, Urtane I, Kramina G, Bieža A, Zepa K, Rogovska I.* Condylar and mandibular morphological criteria in the 2D and 3D MSCT imaging for patients with Class II division 1 subdivision malocclusion. Stomatologija 2007; 9(3): 67–71.
19. *Balcikonyte E, Balciuniene I, Alekna V.* Bone mineral density and radiographic mandibular body height. Stomatologija 2003; 5(4): 137–40.
20. *Del Santo M Jr, Guerrero CA, Buschang PH, English JD, Samchukov ML, Bell WH.* Long-term skeletal and dental effects of mandibular symphyseal distraction osteogenesis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2000; 118(5): 485–93.
21. *Işeri H, Malkoç S.* Long-term skeletal effects of mandibular symphyseal distraction osteogenesis. An implant study. Eur J Orthod 2005; 27(5): 512–17.
22. *Han K, Kim J.* Reduction mandibuloplasty: ostectomy of the lateral cortex around the mandibular angle. J Craniofac Surg 2001; 12(4): 314–25.
23. *Cui J, Zhu S, Hu, J, Li J, Luo, E.* The effect of different reduction mandibuloplasty types on lower face width and morphology. Aesth Plast Surg 2008; 32(4): 593–8.
24. *Nicholson E, Harvati K.* Quantitative analysis of human mandibular shape using three-dimensional geometric morphometrics. Am J Phys Anthropol 2006; 131: 368–83.
25. *Hanibara T.* Comparison of craniofacial features of major human groups. Am J Phys Anthropol 1996; 99: 389–412.
26. *Green H, Curnoe D.* Sexual dimorphism in Southeast Asian crania: a geometric morphometric approach. Homo 2009; 60(6): 517–34.
27. *Oettlé AC, Pretorius E, Steyn M.* Geometric morphometric analysis of the use of mandibular gonial eversion in sex determination. Homo 2009; 60(1): 29–43.
28. *Steyn M, İşcan MY.* Sexual dimorphism in the crania and mandibles of South African whites. Forensic Sci Int 1998; 98: 9–16.
29. *Chang HP, Liu PH, Yang YH, Lin HC, Chang CH.* Craniofacial morphometric analysis of mandibular prognathism. J Oral Rehabil 2006; 33: 183–93.
30. *Lou L, Lagravere MO, Compton S, Major PW, Flores-Mir C.* Accuracy of measurements and reliability of landmark identification with computed tomography (CT) techniques in the maxillofacial area: a systematic review. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2007; 104: 402–11.
31. *Waitzman AA, Posnick JC, Armstrong DC, Pron GE.* Craniofacial skeletal measurements based on computed tomography. Part I. Accuracy and reproducibility. Cleft Palate Craniofac J 1992; 29: 112–7.
32. *Lascaia CA, Panella J, Marques MM.* Analysis of the accuracy of linear measurements obtained by cone beam computed tomography (CBCT-NewTom). Dentomaxillofac Radiol 2004; 33: 291–4.
33. *van Vlijmen OJC, Maal TJJ, Berge SJ, Bronkhorst EM, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM.* A comparison between two-dimensional and three-dimensional cephalometry on frontal radiographs and on cone beam computed tomography scans of human skulls. Eur J Oral Sci 2009; 117: 300–5.

Primljen 30. III 2010.  
Prihvaćen 19. V 2010.