

# ANATOMSKE VARIJANTE WILLISOVOG PRSTENA

KORESPONDENT

Aleksandra Milenković  
Medicinski fakultet  
Kosovska Mitrovica  
petrovicaleksandra@gmail.com

## AUTORI

Aleksandra Milenković<sup>1</sup>, Slađana Petrović<sup>2</sup>, Simon Nikolić<sup>1</sup>, Branislava Radović<sup>1</sup>, Aleksandra Ilić<sup>1</sup>, Miloš Gašić<sup>1</sup>, Bojan Tomić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Univerzitet u Prištini-Kosovska Mitrovica, Medicinski fakultet, Srbija

<sup>2</sup> Univerzitet u Nišu, Medicinski fakultet, Srbija

<sup>3</sup> Vojno medicinska akademija-Beograd, Srbija

## SAŽETAK

**Uvod:** Willisov arterijski prsten je glavni izvor kolateralnog krvnog protoka između karotidnog i vertebrobazilarnog sistema. Njegov potencijal zavisi od prisustva i veličine arterija koje veoma variraju među normalnim pojedincima te je zato neophodna njihova adekvatna opservacija od strane radiologa.

**Cilj rada:** Utvrditi tip konfiguracije Willisovog prstena i njihovu učestalost. Odrediti tip, učestalost i lokalizaciju anatomskih varijanti arterija prstena, kao i njihov prosečan dijametar. Porediti ove varijable prema starosti i polu ispitanika.

**Metode rada:** Retrospektivna studija izvedena je u Centru za Radiologiju KC Niš tokom 2017. godine. Svi ispitanici su bili izloženi CT ili MR angiografiji prema standardnom protokolu za endokranijum. Prednji i zadnji deo prstena su posebno posmatrani, sa akcentom na prisustvo ili odsustvo anatomskih varijanti arterija, uz merenje njihovog prečnika. Tako dobijeni podaci su razvrstani u varijante prednjeg ili zadnjeg dela prstena kao i tip prstena prema celovitosti. Merena je učestalost ovih varijabli i njihovo poredjenje prema polu i starosti.

**Rezultati:** Istraživanjem su bila obuhvaćena 92 ispitanika. Prema konfiguraciji Willisovog arterijskog prstena najčešće je zastupljen adultni tip (71,7%). Najčešći tip prema celovitosti je parcijalno kompletan. Najučestalije anatomske varijante dobijene u našem radu su aplazija AcoA (27,2%) i aplazija jedne ili obe PcoA (21%). Hipoplazija PcoA se kod žena javlja sa učestalošću od 13,5% dok kod muskaraca nije bila prisutna.

**Zaključak:** Adekvatno sagledavanje morfologije Willisovog poligona radiološkim metodama predstavlja dobar vodič za neurohirurške i radiološke interventne procedure. Na taj način se mogu smanjiti potencijalno značajne neurološke komplikacije i rizik od morbiditeta i mortaliteta.

**Ključne reči:** Willisov arterijski prsten, angiografija, anatomske varijante

## ENGLISH

### ANATOMICAL VARIANTS OF CIRCLE OF WILLIS

Aleksandra Milenković<sup>1</sup>, Slađana Petrović<sup>2</sup>, Simon Nikolić<sup>1</sup>, Branislava Radović<sup>1</sup>, Aleksandra Ilić<sup>1</sup>, Miloš Gašić<sup>1</sup>, Bojan Tomić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Priština-Kosovska Mitrovica, Faculty of Medicine, Serbia

<sup>2</sup> University of Niš, Faculty of Medicine, Serbia

<sup>3</sup> Military Medical Academy, Belgrade, Serbia

### SUMMARY

**Introduction:** The circle of Willis is the major source of collateral blood flow between the carotid and vertebrobasilar system. Its potential depends on the presence and size of arteries that vary greatly among normal individuals and therefore their adequate observation by a radiologist is necessary.

**Aim:** Determine the type of the circle of Willis and their frequency. Determine the type, frequency and localization of anatomical variants of arteries, as well as their average diameter. Compare these variables according to the age and gender of the examinees.

**Material and methods:** A retrospective study was performed at the Center for Radiology of the Clinical Center Nis during 2017. All subjects underwent CT or MR angiography according to a standard endocranial protocol. The anterior and posterior parts of the circle were specially observed, with an emphasis on the presence or absence of anatomical variants of the arteries, with the measurement of their diameter. The obtained data were classified into variants of the front or rear part of the ring as well as the type of ring according to integrity. The frequency of these variables and their comparison by sex and age were measured.

**Results:** The research included 92 examinees. According to the configuration of the Willis arterial ring, the adult type was the most often represented (71.7%). The most common type in terms of integrity was partially complete. The most common anatomical variants obtained in our work was aplasia of ACoA (27.2%) and aplasia of one or both PCoA (21%). PCoA hypoplasia was occurred in women with a frequency of 13.5% while in men it was not present.

**Conclusion:** Adequate understanding of the morphology of the circle of Willis by radiological methods is a good guide for neurosurgical and radiological intervention procedures. In this way, potentially significant neurological complications and the risk of morbidity and mortality could be reduced.

**Key words:** Circle of Willis, angiography, anatomical variants

## UVOD

Willisov arterijski prsten je glavni izvor kolateralnog krvnog protoka između karotidnog i vertebrobazilarnog sistema. Smešten na bazi mozga, njega formiraju desna i leva interna karotidna arterija (ICA) koje se u svom terminalnom delu granaju na parne prednju (ACA) i srednju moždanu arteriju (MCA). Prednje moždane arterije su međusobno povezane prednjom komunikantnom arterijom (ACoA) i čine prednju polovinu Willisovog prstena ili anteriornu cirkulaciju. Pozadi, bazilarna arterija nastala spajanjem parnih vertebralnih arterija, daje desnu i levu zadnju ili posteriornu moždanu arteriju (PCA). Obe PCA su povezane sa ICA obostrano preko zadnjih komunikantnih arterija (PCoA) i formiraju posteriornu cirkulaciju[1].

Kod pacijenata sa opstrukcijom unutrašnje karotidne arterije ovaj vaskularni prsten predstavlja najvažniji potencijalni put u održavanju adekvatnog cerebralnog krvnog protoka. Prednja (ACoA) i obe zadnje komunikantne moždane arterije (PCoA) predstavljaju primarne kolateralne puteve[2]. Kolateralni potencijal Willisovog prstena zavisi od prisustva i veličine njegovih elemenata koji veoma variraju između normalnim pojedincima te je zbog toga neophodna njihova pravilna opservacija od strane radiologa.

CT i MR angiografija pokazuju visoku senzitivnost u detekciji krvnih sudova Willisovog arterijskog prstena (CTA-88,5%, MRA-85,5%). Ta senzitivnost je niža za prednju i zadnje komunikantne arterije, posebno kod MRA [3]. U poređenju sa digitalnom subtrakcionom angiografijom (DSA), CTA ima visoku senzitivnost i specifičnost (preko 90%) ali nišku senzitivnost u detekciji hipoplastičnih promena (52,6%) [4].

Konfiguracija Willisovog prstena se može podeliti na tri tipa, zavisno od strukture zadnje moždane (PCA) i zadnje komunikantne arterije (PcoA). To su adultni, tranzicioni i fetalni tip dok prema celovitosti ovaj arterijski prsten može biti kompletan, parcijalno kompletan ili nekompletan.

Najčešće anatomske varijante Willisovog prstena su: duplikacije i fenestracije, hipoplazije i aplazije, perzistentne primitivne fetalne arterije[5]. One se mogu posmatrati i prema svojoj lokalizaciji, to jest da li pripadaju prednjoj ili zadnjoj cirkulaciji[1,6,7].

## CILJ RADA

- Utvrđivanje tipa konfiguracije Willisovog arterijskog prstena i njihovu učestalost.

- Određivanje tipa, učestalosti i lokalizacije anatomskih varijanti arterija Willisovog prstena.
- Određivanje prosečnih dijametara komponenti Willisovog arterijskog prstena.
- Poređenje ovih varijabli prema starosti i polu ispitanika.

## MATERIJAL I METODE

Istraživanje je radjeno u Centru za radiologiju KC Niš. U ovu retrospektivnu studiju je bilo uključeno 92 ispitanika i to 40 muškaraca i 52 žene u toku 2017.godine. Svi oni su bili izloženi CT ili MR angiografiji prema standardnom protokolu za endokranijum, zbog simptoma glavobolje. Pacijenti koji su ranije bili izloženi nekoj endokranijalnoj operaciji, sa prisutnim aneurizmatiskim promenama, AV malformatima, endokranijalnim tumorima ili istorijom moždanog udara su bili isključeni iz studije.

Pregledi su obavljani na aparatu za magnetnu rezonancu (Avanto Siemens 1,5T i Philips 1,5T) i kompjuterizovanu tomografiju (GE Healthcare 16-slice). Koronalna i sagitalna multiplanarna reformacija (MPR), projekcija maksimalnog intenziteta (MIP), trodimenzionalni prikaz (VR) su postprocesingom dobijene na radnim stanicama radi evaluacije Willisovog poligona ispitanika.

Prednji i zadnji deo prstena su posebno posmatrani, sa akcentom na prisustvo ili odsustvo anatomskih varijanti prikazanih arterija. Tako dobijeni podaci razvrstavani su u varijante prednjeg ili zadnjeg dela prstena (tipovi a-j) i tip prstena prema celovitosti (kompletan, parcijalno kompletan ili nekompletan). Zavisno od strukture P1 segmenta PCA i PcoA Willisov prsten je podeljen na adultni, fetalni ili tranzicionalni tip. Merena je učestalost ovih varijabli i njihovo poređenje prema polu i starosti.

Sve komponente prstena su takodje sagledane merenjem prečnika u projekciji maksimalnog intenziteta, korišćenjem trodimenzionalne tehnike, u svim ravnima i poređene prema polu i starosti ispitanika. Merene su: desna i leva ICA (kavernozni segment), A1 segment ACA obostrano, ACoA, obe PcoA, P1 segment PCA (u delu prvih 10 mm) i BA (neposredno ispod mesta grananja na a.sup.cerebelli). Krvni sudovi dijametra manjeg od 1 mm smatrani su hipoplastičnim. Odsustvo vizualizacije na dobijenim tomogramima predstavljeno je aplazijom tog segmenta.

Za analizu primarnih podataka korišćene su deskriptivne statističke metode i metode za testiranje statističkih hipoteza. Statističke hipoteze su testirane na nivou statističke značajnosti (alfa nivo) od 0.05. Za statističku obradu

rezultata korišćen je softverski program SPSS Statistics 22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

## REZULTATI

Istraživanjem je obuhvaćeno 92 ispitanika, od toga je bilo muškaraca 40(43.5%) i žena 52 (56.5%). Prosečna starosna dob ispitanika je bila  $48.9 \pm 18.4$ . Starosna dob osoba muškog pola je iznosila  $55.3 \pm 18.5$  a osoba ženskog pola  $43.9 \pm 16.9$  (tabela 1.). Osobe muškog pola su statistički značajno starije ( $t=3.074$ ,  $p=0.003$ ).

Tabela 1. Starosna dob pacijenata

Pol	Broj	Aritmetička sredina	SD	Medijana	Min	Max
Muški	40	55.35	18.515	55.00	15	85
Ženski	52	43.94	16.947	48.00	13	73
Ukupno	92	48.90	18.444	50.00	13	85

Prema konfiguraciji Willisovog prstena u našem radu najčešće je zastupljen adultni tip, koji je uočen kod 66 ispitanika (71,7%), kako je prikazano u tabeli 2.

Tabela 2. Konfiguracija Willisovog prstena

Konfiguracija CW	Broj	%
Adultni tip	66	71.7
Fetalni tip	24	26.1
Tranzicionni tip	2	2.2
Ukupno	92	100.0

Učestalost različitih tipova konfiguracije CW-a ne razlikuje se statistički značajno u odnosu na pol (hi-kvadrat = 2.831,  $p = 0.243$ ). Medijana starosne dobi adultnog tipa CW iznosi 46.5 (opseg 13.0-85.0), fetalnog 62.5 (opseg 25.0-84.0) i tranzicionnog 33.5 (opseg 29.0-38.0). Starosna dob ispitanika se statistički značajno razlikuje u odnosu na konfiguraciju CW (hi-kvadrat = 14.9,  $p < 0.001$ ). Razlika medijana starosne dobi je statistički značajna između adultnog i fetalnog tipa ( $p < 0.001$ ), kao i između fetalnog i tranzicionnog tipa ( $p = 0.043$ ), ali nije statistički značajna između adultnog i tranzicionnog ( $p = 0.309$ ), kako je prikazano u tabeli 3.

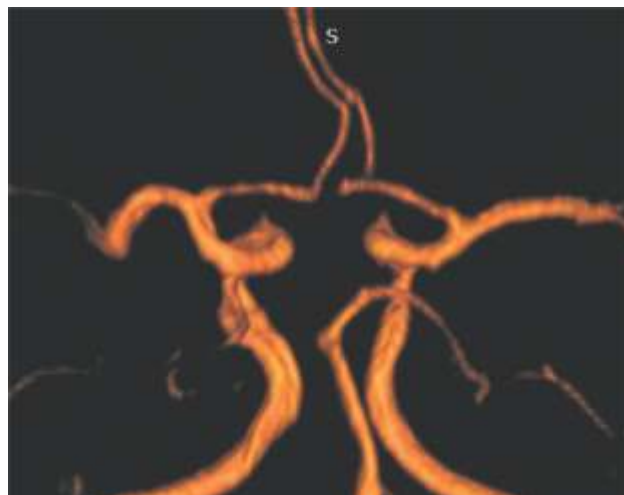
Tabela 3. Poređenje konfiguracije CW prema starosti ispitanika

Konfiguracija CW	Broj	Aritmetička sredina	SD	Medijana	Min	Max
Adultni tip	66	45.1	18.3	46.5	13.0	85.0
Fetalni tip	24	60.7	13.7	62.5	25.0	84.0
Tranzicionni tip	2	33.5	6.4	33.5	29.0	38.0

Kako je prikazano u tabeli 4. najčešće anatomske varijante dobijene u našem radu su aplazija ACoA (slika 1.) i aplazija jedne ili obe PCoA (slika 2.). U odnosu na deo Willisovog prstena gde su prisutne, veća učestalost varijanti je u posteriornoj cirkulaciji.

Tabela 4. Učestalost anatomske varijacije

Anatomske varijacije	Prisutna	Odsutna
Aplazija ACoA, n (%)	67 (72.8%)	25 (27.2%)
Hipoplazija ACoA, n (%)	88(95.7%)	4(4.3%)
Aplazija A1D, n (%)	91(98.9%)	1(1.1%)
Bihemisferična ACA, n (%)	91(98.9%)	1(1.1%)
Hipoplazija A1D, n (%)	90(97.8%)	2(2.2%)
Hipoplazija A1L, n (%)	89(96.7%)	3(3.3%)
Fenestracija ACoA, n (%)	91(98.9%)	1(1.1%)
Aplazija obe PCoA, n (%)	81(88.0%)	11(12.0%)
Aplazija PCoA D, n (%)	90(97.8%)	2(2.2%)
Aplazija PCoA L, n (%)	86(93.5%)	6(6.5%)
Hipoplazija obe PCoA, n(%)	87(94.6%)	5(5.4%)
Hipoplazija PCoA D, n (%)	89(97.6%)	3(3.3%)
Hipoplazija PCoA L, n (%)	85(92.4%)	7(7.6%)
Fetalne obe PCA, n (%)	84(91.3%)	8(8.7%)
Fetalna PCA D, n (%)	84(91.3%)	8(8.7%)
Fetalna PCA L, n (%)	84(91.3%)	8(8.7%)
Hipoplazija P1 D, n (%)	84(91.3%)	8(8.7%)
Hipoplazija P1 L, n (%)	84(91.3%)	8(8.7%)
Hipoplazija obe P1, n (%)	90(97.8%)	2(2.2%)



Slika 1. 3D VR MRA-Aplazija ACoA



Slika 2. 3D VR MRA-Aplazija obe PCoA

Što se tiče poređenja anatomske varijante prema polu, hipoplazija PCoA (L) se kod žena javlja sa učestalošću od 13,5% dok kod muškaraca nije bila prisutna pa je statistički značajno učestalija kod osoba ženskog pola (hi-kvadrat=5.83,  $p=0.016$ ).

Najčešći tip CW prema celovitosti u našem istraživanju je parcijalno kompletan, što se vidi u tabeli 5.

Tabela 5. Učestalost tipa CW prema celovitosti

CW prema celovitosti	Broj	%
Kompletan	29	31.5
Parcijalno kompletan	48	52.2
Nekompletan	15	16.3
Ukupno	92	100.0

Kako je prikazano u tabeli 6. aritmetička sredina dijametra ICA-D kod muškog pola iznosi  $4.8 \pm 0.8$  mm a kod ženskog pola  $4.3 \pm 0.7$  mm. Prosečna vrednost dijametra ICA-D je statistički značajno veća kod muškog pola u odnosu na ženski ( $t = 3.09$ ,  $p=0.003$ ) kao i dijametra ICAL ( $t = 2.59$ ,  $p = 0.011$ ). Dijametar PCoA (L) pokazuje statistički značajnu razliku u odnosu na pol ( $U = 441.0$ ,  $p = 0.017$ ).

Tabela 6. Poređenje dijametara krvnih sudova prema polu

Krvni sud	Pol						P
	Muški			Ženski			
	$\bar{x} \pm SD$	Medijana	Min-Max	$\bar{x} \pm SD$	Medijana	Min-Max	
ICA D	4.8±0.8	4.8	3.2-6.4	4.3±0.7	4.3	3.0-6.0	0.003*
ICA L	4.8±0.8	4.8	3.2-6.4	4.4±0.7	4.4	2.9-6.5	0.011*
A1 D	2.4±0.5	2.4	0.9-3.4	2.4±0.4	2.4	0.8-3.0	0.968
A1 L	2.3±0.5	2.4	0.97-3.2	2.3±0.5	2.3	0.9-3.3	0.679
ACoA	1.3±0.5	1.2	0.8-2.1	1.3±0.3	1.3	0.9-1.9	0.279
PCoA D	1.6±0.5	1.3	0.8-2.9	1.4±0.6	1.3	0.6-2.8	0.307
PCoA L	1.6±0.6	1.4	0.95-2.8	1.4±0.5	1.2	0.8-2.8	0.017*
P1 D	2.2±0.7	2.3	0.9-3.7	2.2±0.6	2.3	0.8-3.9	0.825
P1 L	2.2±0.7	2.4	0.8-3.5	2.3±0.6	2.4	0.7-3.2	0.723
BA	3.4±0.6	3.3	1.7-4.7	3.2±0.5	3.2	2.3-5.3	0.267

U tabeli 7. je poređena je starost ispitanika i dijametar krvnih sudova. Između dijametara ICA (D) i starosne dobi postoji statistički značajna pozitivna osrednja povezanost ( $r = 0.344$ ,  $p = 0.001$ ). Između dijametara ICA (L) i starosne dobi postoji statistički značajna negativna osrednja povezanost ( $r = -0.356$ ,  $p < 0.001$ ). Između dijametara A1 (D) i starosne dobi postoji statistički značajna negativna osrednja povezanost ( $r = -0.342$ ,  $p = 0.001$ ). Između dijametara P1 (D) i starosne dobi postoji statistički značajna negativna slaba povezanost ( $r = -0.245$ ,  $p = 0.018$ ).

Tabela 7. Korelacija starosne dobi ispitanika i dijametara krvnih sudova

Grupa	Korelacija	Prednja cirkulacija				
		ICA D	ICA L	A1 D	A1 L	ACoA
Starosna dob	r	0.344	-0.356	-0.342	-0.150	-0.066
	p	0.001*	<0.001*	0.001*	0.153	0.595
	n	92	92	91	92	67
Grupa	Korelacija	Zadnja cirkulacija				
		PCoA D	PCoA L	P1 D	P1 L	BA
Starosna dob	r	0.095	0.207	-0.245	-0.156	-0.077
	p	0.404	0.079	0.018*	0.138	0.463
	n	79	73	92	92	92

Rezultati našeg istraživanja Willisovog poligona putem CT ili 3D TOF MR angiografije poredjeni su sa rezultatima drugih studija gde su uključeni ispitanici bez prethodnih neurovaskularnih abnormalnosti. Postoji širok procentualni raspon u rezultatima učestalosti konfiguracije, anatomskih varijanti, kompletnosti vaskularnog prstena i njihovog poređenja prema polu i starosti. Postoji više razloga za to. Pre svega, veličina uzorka i izbor ispitanika je različit u raznim studijama (prosečna starosna dob, stanje krvnih sudova, pol). Zatim, korišćene su različite metode i tehnike u istraživanjima (CT i/ili MR angiografije, DSA, autopsije i drugo) kao i različiti kriterijumi u definisanju normalnog ili izmenjenog Willisovog prstena.

Stepen kojim vertebrobazilarni i karotidni sliv doprinose poreklu zadnje moždane arterije (PCA) od velikog je kliničkog značaja. U zavisnosti od međusobnog odnosa dijametara P1 segmenta PCA i zadnje komunikantne arterije (PcoA), Willisov arterijski prsten može imati tri tipa konfiguracije: adultni, fetalni ili tranzicioni. U studiji Dodevskog i ostalih[8], radjene putem CT angiografije, adultna konfiguracija je prisutna sa 69,8%, fetalni tip kod 22,6% a tranzicioni kod 7,5% ispitanika, što je veoma blizu našim rezultatima. Slični rezultati pominju se i u autopsijskom istraživanju od strane Gunnal i saradnika[9]. U našem radu medijana starosne dobi adultnog tipa CW iznosi 46.5, fetalnog 62.5 i tranzicionog 33.5. Postoji statistički značajna razlika između adultnog i fetalnog tipa, kao i između fetalnog i tranzicionog u odnosu na godine ispitanika. Yeniçeri[10] navodi veću učestalost adultnog tipa (85%), što može biti u vezi sa nižom prosečnom starošću ispitanika u ovom radu (29,7 god.).

U odnosu na prisustvo anatomskih varijanti prema delu Willisovog prstena u našem radu, mnogo češće su prisutne varijante zadnje cirkulacije. Kompletan prednji prsten je prisutan kod 71,1% ispitanika dok je kompletan zadnji prisutan

kod 51,1%. Krabbe-Hartkamp[1,2] u svom radu upotrebom 3D-TOF MR angiografije pominje slične rezultate kod starije grupe ispitanika.

U odnosu na svoju celovitost, Willisov vaskularni prsten može biti kompletan, parcijalno kompletan i nekompletan. U kineskoj studiji Li i saradnici[11] navode da je 27% ispitanika imalo kompletan prsten, 56% parcijalni dok je 17% imalo nekompletan konfiguraciju. Slične podatke ima i Krabbe-Hartkamp[1,2]. U našem istraživanju su dobijeni slični rezultati, sa nešto većim procentom parcijalno kompletnih i nekompletnih konfiguracija kod starijih i kod muškaraca, ali bez statističke značajnosti.

U odnosu na tip anatomske varijante, najčešće su ovim istraživanjem uočene aplazija AcoA (27,2%) i PcoA (21%). Ne postoji statistička značajnost varijanti u odnosu na starost. U odnosu na pol, prisutna je statistički značajna razlika učestalosti hipoplazije PcoA (L) kod žena dok ona nije primećena kod muških ispitanika. Gunnal i saradnici[9] u svojoj studiji na kadaverima pominju preko 50% varijanti prisutnih kod PcoA.

Iako CTA i 3D-TOF MRA imaju visoku senzitivnost u detekciji krvnih sudova vaskularnog prstena, obe tehnike imaju svoja ograničenja. To se pre svega odnosi na otežanu detekciju krvnih sudova manjih od 1 mm. Spor ili turbulentan tok krvi otežava njihovu vizualizaciju kod pregleda 3D-TOF MR angiografijom. Otud i različiti rezultati istraživanja različitim modalitetima. Sem toga, postoje različiti stavovi u definisanju hipoplazije ili aplazije (odsutnog) krvnog suda. Krabbe-Hartkamp[1] kontinualne krvne sudove dijametara manjih od 0,8 mm smatra hipoplastičnim. Arterijske segmente manje do 1 mm Li i saradnici[11] smatraju hipoplastičnim ili odsutnim, ukoliko se ne vizualizuju.

Merenje dijametara krvnih sudova takođe zavisi od vrste pregleda ali i od subjektivnosti istraživača. Osim toga, što su krvni sudovi užji, teže je merenje. Takođe, sa promenom prozora prilikom gledanja dolazi do promene veličine krvnog suda.

Dobijeni dijametri krvnih sudova u našem radu slični su onima dobijenih od strane El-Bahroun i saradnika[12], nešto veći u odnosu na rad Kathuria i saradnika[13] ali ipak u korelaciji. Većina merenih krvnih sudova naših ispitanika pokazuje veći dijametar kod osoba muškog pola. Prosečna vrednost dijametara obe ICA i PcoA (L) je statistički značajno veća kod muških ispitanika. Krabbe-Hartkamp[1,2] navodi da su proksimalni krvni sudovi (obe ICA i bazilarna arterija) većih dijametara kod starijih dok su distalne grane (centrifugalni sudovi) kod njih užje. To objašnjava kompenzatornim uvećanjem velikih dovodnih grana zbog vaskularnih promena uzrokovanih starenjem i zbog toga lošom vizualizacijom malih krvnih sudova. Ispitanici u našem istraživanju pokazuju donekle slično ponašanje u odnosu na starosnu dob. Naime, između dijametara ICA (D) i starosne dobi postoji statistički značajna pozitivna osrednja povezanost tj. sa povećanjem godina povećava se i dijametar ovog krvnog suda. S druge strane, između ICA (L), A1 (D), P1 (D) i starosne dobi postoji statistički značajna negativna povezanost tj. sa starenjem se smanjuje njihov dijametar.

## ZAKLJUČAK

Anatomske varijacije dobijene pomoću 3D-TOF MR ili CT angiografije u našem radu mogu predstavljati izvor prikaza Willisovog prstena regionalnog stanovništva. Konfiguracija vaskularnog prstena se u velikoj meri razlikuje u opštoj populaciji.

Dobijena učestalost adultne konfiguracije kao i kompletnog Willisovog prstena je nešto veća kod mlađjih i kod osoba ženskog pola. Dijametri merenih krvnih sudova su pretežno veći kod muškaraca. Ova normalna anatomski razlika može biti u korelaciji sa razvojem cerebrovaskularnih bolesti. S tim u vezi treba obratiti pažnju na polne i starosne razlike medju pacijentima.

Adekvatno sagledavanje morfologije Willisovog poligona lako dostupnim neinvazivnim radiološkim metodama predstavlja dobar vodič za neurohirurške i radiološke interventne procedure. Na taj način će se smanjiti potencijalno značajne neurološke komplikacije i rizik od morbiditeta i mortaliteta. Međutim, treba imati u vidu i tehnička ograničenja ovih modaliteta u proceni malih krvnih sudova.

## LITERATURA

1. Krabbe-Hartkamp MJ, van der Grond J, de Leeuw FE, de Groot JC, Algra A, Hillen B, Breteler MM, Mali WP. Circle of Willis: morphologic variation on three-dimensional time-of-flight MR angiograms. *Radiology*. 1998 Apr;207(1):103-11. doi: 10.1148/radiology.207.1.9530305. PMID: 9530305.
2. Hartkamp MJ, van Der Grond J, van Everdingen KJ, Hillen B, Mali WP. Circle of Willis collateral flow investigated by magnetic resonance angiography. *Stroke*. 1999 Dec;30(12):2671-8. doi: 10.1161/01.str.30.12.2671. PMID: 10582995.
3. Katz DA, Marks MP, Napel SA, Bracci PM, Roberts SL. Circle of Willis: evaluation with spiral CT angiography, MR angiography, and conventional angiography. *Radiology*. 1995 May;195(2):445-9. doi: 10.1148/radiology.195.2.7724764. PMID: 7724764.
4. Han A, Yoon DY, Chang SK, Lim KJ, Cho BM, Shin YC, Kim SS, Kim KH. Accuracy of CT angiography in the assessment of the circle of Willis: comparison of volume-rendered images and digital subtraction angiography. *Acta Radiol*. 2011 Oct 1;52(8):889-93. doi: 10.1258/ar.2011.110223. Epub 2011 Jul 29. PMID: 21828003.
5. Dimmick SJ, Faulder KC. Normal variants of the cerebral circulation at multidetector CT angiography. *Radiographics*. 2009 Jul-Aug;29(4):1027-43. doi: 10.1148/rg.294085730. PMID: 19605654.
6. Naveen SR, Bhat V, Karthik GA. Magnetic resonance angiographic evaluation of circle of Willis: A morphologic study in a tertiary hospital set up. *Ann Indian Acad Neurol*. 2015 Oct-Dec;18(4):391-7. doi: 10.4103/0972-2327.165453. PMID: 26713008; PMCID: PMC4683875.
7. Chen H, Yen P, Lee C, Chen C, Chang P, Chou A, et al. Magnetic Resonance Angiographic Evaluation of Circle of Willis in General Population: A Morphologic Study in 507 Cases. *Chinese Journal Of Radiol*. 2004. (5): 223.
8. Dodevski A, Tosovska Lazarova D, Mitreska N, Aliji V, Stojovska Jovanovska E. Posterior cerebral artery--variation in the origin and clinical significance. *Pril (Makedon Acad Nauk Umet Odd Med Nauki)*. 2014;35(1):163-8. PMID: 24798602.
9. Gurnal SA, Farooqui MS, Wabale RN. Anatomical Variability of the Posterior Communicating Artery. *Asian J Neurosurg*. 2018 Apr-Jun;13(2):363-369. doi: 10.4103/ajns.AJNS\_152\_16. PMID: 29682035; PMCID: PMC5898106.
10. Yeniçeri İÖ, Çullu N, Deveer M, Yeniçeri EN. Circle of Willis variations and artery diameter measurements in the Turkish population. *Folia Morphol (Warsz)*. 2017;76(3):420-425. doi: 10.5603/FM.a2017.0004. Epub 2017 Feb 2. PMID: 28150270.
11. Li Q, Li J, Lv F, Li K, Luo T, Xie P. A multidetector CT angiography study of variations in the circle of Willis in a Chinese population. *J Clin Neurosci*. 2011 Mar;18(3):379-83. doi: 10.1016/j.jocn.2010.07.137. Epub 2011 Jan 19. PMID: 21251838.
12. El-Barhoun EN, Gledhill SR, Pitman AG. Circle of Willis artery diameters on MR angiography: an Australian reference database. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2009 Jun;53(3):248-60. doi: 10.1111/j.1754-9485.2009.02056.x. PMID: 19624291.
13. Kathuria S, Gregg L, Chen J, Gandhi D. Normal cerebral arterial development and variations. *Semin Ultrasound CT MR*. 2011 Jun;32(3):242-51. doi: 10.1053/j.sult.2011.02.002. PMID: 21596279.