

„УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА МЕДИЦИНСКИ НАУКИ



**АНАТОМСКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВЕРТЕБРО-
БАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ И НИВНИТЕ ПОСЛЕДИЦИ ВРЗ
ЦЕРЕБРАЛНАТА ЦИРКУЛАЦИЈА**

- докторска дисертација -

Ментор

Проф.Др.ТОШЕ КРСТЕВ

Кандидат

Др. ГАЗМЕНД ЗУЉБЕАРИ

Број на индекс: 311168

Штип, Јуни 2026

Интерен ментор: Проф. д-р Тоше Крстев

Факултет за медицински науки,
Универзитет -Гоце ДелчевII – Штип

Екстерен ментор: Проф. д-р Сади Беџети

Медицински факултет,
Универзитет во Тетово,Тетово

Комисија за оценка и одбрана

Претседател: Проф. д-р Светлана Јовевска

Факултет за медицински науки,
Универзитет —Гоце Делчев – Штип

Член: Проф. д-р.Тоше Крстев

Факултет за медицински науки,
Универзитет —Гоце Делчев – Штип

Член: Проф.д-р. *Даниела Ристик-Стомнароска*

Факултет за медицински науки,
Универзитет —Гоце Делчев - Штип

Член: Проф. д-р. *Јасминка Чабуковска Радуловска,*

Факултет за медицински науки,
Универзитет-Гоце Делчев - Штип

Член: Проф. д-р Сади Беџети

Факултет за медицински науки,
Универзитет во Тетово -Тетово

Научно поле: **Анатомија**

Научна област: **Базични и клинички истражувања во медицината**

Датум на одбрана:

ПОСВЕТА

Оваа докторска дисертација со неизмерна љубов и благодарност им ја посветувам на мојата сопруга и мојата ќерка.

На мојата сопруга, за нејзината бескрајна љубов, трпение, разбирање и поддршка во сите години на моето образование и професионално усовршување.

На мојата ќерка, Ариела која со својата насмевка, радост и љубов ми беше најголемата инспирација и мотивација да истраам до крај.

Вашата љубов, поддршка и жртва се темелот врз кој се изградени сите мои успеси.

Со љубов и неизмерна благодарност.

БЛАГОДАРНОСТ

Изразувам искрена и длабока благодарност до мојот ментор, Проф. д-р Тоше Крстев, за неговото стручно водство, континуирана поддршка, конструктивни сугестии и драгоцени совети во текот на подготовката и изработката на оваа докторска дисертација. Неговата професионалност, посветеност и научен пристап претставуваа значајна мотивација и непроценлив придонес за успешно реализирање на истражувањето.

Посебна благодарност упатувам до Проф. д-р Милка Здравковска, декан на Факултетот за медицински науки при Универзитетот „Гоце Делчев“ – Штип, за поддршката, охрабрувањето и корисните насоки дадени во текот на моето докторско образование и изработката на дисертацијата.

Искрена благодарност изразувам и до мојот екстерен ментор, Проф. д-р Сади Беџети, за неговата стручна помош, научни сугестии, корисни препораки и континуирана поддршка во текот на целиот истражувачки процес.

Посебна благодарност упатувам до претседателот на Комисијата, Проф. д-р Светлана Јовевска, како и до членовите на Комисијата, за нивниот професионален ангажман, стручни забелешки и значаен придонес во унапредувањето на квалитетот на оваа докторска дисертација.

На крај, од сè срце им благодарам на моето семејство, колегите, соработниците и пријателите за нивната безрезервна поддршка, разбирање, трпение и охрабрување во текот на целиот период на моето докторско образование и научно-истражувачка работа. Нивната доверба и поддршка беа моја постојана мотивација и поттик за успешно завршување на овој значаен академски предизвик.

Рецензирани и објавени трудови

1. Gazmend ZYLBEARI, Art ZYLBEARI, Zamira BEXHETI, Elita MASHA, Milka ZDRAVKOVSKA, Tose KRSTEV, Sadi BEXHETI. ANATOMICAL VARIATIONS OF THE VERTEBRO-BASILAR SYSTEM AND THEIR CONSEQUENCES ON CEREBRAL CIRCULATION. Acta Medica Balkanica. International Journal of Medical Sciences Vol.10 | No.19-20 (2025),ISSN:2545-4110 (Print). ISSN: 2545-4870;Pages:158-166.

2. Gazmend Zylbeari; Sadi Bexheti Tose Krstev. ANATOMICAL AND MORPHOLOGICAL VARIATIONS OF THE BASILAR ARTERY ASSOCIATED WITH CEREBRAL CIRCULATION CHANGES. MEDIS (International Journal of Medical sciences and Research) ,Vol.5 ,No-2. 16-MAJ-2026

3. GAZMEND ZYLBEARI, Sadi Bexeti,Tose Krstev. Anatomical variations of the vertebral arteries and their impact on cerebral circulation. AJTES (International Journal of Medical sciences and Research),July 2026,Vol10, No.2 .

АНАТОМСКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ И НИВНИТЕ ПОСЛЕДИЦИ ВРЗ ЦЕРЕБРАЛНАТА ЦИРКУЛАЦИЈА

Абстракт

Вовед: Вертебробазиларниот систем (ВБС), формиран од двете вертебрални артерии и базиларната артерија, обезбедува крвоснабдување на мозочното стебло, малиот мозок, таламусот, окципиталните лобуси и делови од цервикалниот 'рбетен мозок. Анатомските варијации на овие артерии можат да влијаат врз церебралната хемодинамика и да го зголемат ризикот од цереброваскуларни заболувања. Познавањето на нивната морфологија и клиничка релевантност е од особено значење за современата дијагностика и неврохируршката практика.

Цели: Да се утврди зачестеноста на анатомските варијации на вертебробазиларниот систем, да се анализира нивното влијание врз церебралната циркулација, да се процени нивната поврзаност со клиничките симптоми и да се изврши морфометриска анализа на вертебралните и базиларната артерија според пол и возраст.

Материјал и методи: Спроведена е ретроспективна опсервациона студија кај 60 пациенти (25 жени и 35 мажи) испитувани во Клиничка болница – Тетово во периодот од 01.11.2024 до 01.11.2025 година. Кај сите испитаници беа извршени компјутерска томографија, СТ-ангиографија, магнетнорезонантна ангиографија и колор-доплер ултрасонографија. Анализирани беа морфометриските карактеристики и анатомските варијации на вертебралните и базиларната артерија. Статистичката анализа беше извршена со SPSS Statistics 26, при ниво на значајност $p < 0,05$.

Резултати: Нормална анатомска конфигурација на вертебробазиларниот систем беше утврдена кај 58,3% од испитаниците, додека хипоплазија беше регистрирана

кај 24,6%, а долихоектазија кај 5–7% од случаите. Базиларната артерија покажа најголем просечен дијаметар ($3,22 \pm 0,58$ mm), а левата вертебрална артерија имаше поголем просечен дијаметар во споредба со десната. Статистички значајна поврзаност беше утврдена помеѓу возраста над 45 години и зачестеноста на васкуларните варијации ($p < 0,05$). Пациентите со анатомски варијации почесто покажуваа симптоми на вертебробазиларна инсуфициенција и цереброваскуларни нарушувања.

Заклучок: Анатомските варијации на вертебробазиларниот систем се релативно чести и имаат значајно влијание врз церебралната хемодинамика и ризикот од исхемични цереброваскуларни настани. Нивното навремено препознавање е важно за точна дијагноза, процена на ризикот и планирање на неврорадиолошки, ендоваскуларни и хируршки интервенции.

Клучни зборови: вертебробазиларен систем, анатомски варијации, вертебрална артерија, базиларна артерија, церебрална циркулација, цереброваскуларни заболувања.

ANATOMICAL VARIATIONS OF THE VERTEBROBASILAR SYSTEM AND THEIR CONSEQUENCES ON CEREBRAL CIRCULATION

Abstract

Introduction: The vertebrobasilar system (VBS), formed by the paired vertebral arteries and the basilar artery, constitutes the principal vascular network supplying the brainstem, cerebellum, thalamus, occipital lobes, and portions of the cervical spinal cord. Anatomical variations of these arteries may significantly affect cerebral hemodynamics and increase the risk of cerebrovascular disorders. Therefore, understanding their morphology and clinical relevance is of particular importance in contemporary diagnostic, neuroradiological, and neurosurgical practice.

Objectives: To determine the frequency of anatomical variations of the vertebrobasilar system, to analyze their impact on cerebral circulation and hemodynamics, to evaluate their association with clinical symptoms, and to perform a morphometric assessment of the vertebral and basilar arteries according to sex and age.

Material and Methods: A retrospective observational study was conducted on 60 patients (25 females and 35 males) examined at the Clinical Hospital of Tetovo between November 1, 2024, and November 1, 2025. All participants underwent computed tomography (CT), CT angiography (CTA), magnetic resonance angiography (MRA), and color Doppler ultrasonography. Morphometric characteristics and anatomical variations of the vertebral and basilar arteries were analyzed. Statistical analysis was performed using SPSS Statistics version 26, with a significance level of $p < 0.05$.

Results: A normal anatomical configuration of the vertebrobasilar system was identified in 58.3% of the subjects, whereas vertebral artery hypoplasia was observed in 24.6% and basilar artery dolichoectasia in 5–7% of cases. The basilar artery demonstrated the largest mean diameter (3.22 ± 0.58 mm), while the left vertebral artery exhibited a greater mean diameter than the right vertebral artery, indicating left-sided dominance. A statistically significant association was found between age above 45 years and the

prevalence of vascular variations ($p < 0.05$). Patients with anatomical variations more frequently presented with symptoms of vertebrobasilar insufficiency and cerebrovascular disorders.

Conclusion: Anatomical variations of the vertebrobasilar system are relatively common and have a significant impact on cerebral hemodynamics and the risk of ischemic cerebrovascular events. Early identification of these variations is important for accurate diagnosis, risk assessment, and planning of neuroradiological, endovascular, and neurosurgical interventions.

Keywords: vertebrobasilar system, anatomical variations, vertebral artery, basilar artery, cerebral circulation, cerebrovascular diseases.

Листа на кратенки:

VBS	- <i>Systema Vertebrobasilare</i>	-	Вертебробазиларен систем (ВБС)
VA	- <i>Arteria Vertebralis</i>	-	Вертебрална артерија (ВА)
BA	- <i>Arteria Basilaris</i>	-	Базиларна артерија (БА)
PCA	- <i>Arteria Cerebri Posterior</i>	-	Задна церебрална артерија (ЗЦА)
ACA	- <i>Arteria Cerebri Anterior</i>	-	Предна церебрална артерија (ПЦА)
MCA	- <i>Arteria Cerebri Media</i>	-	Средна церебрална артерија (СЦА)
PComA	- <i>Arteria Communicans Posterior</i>	-	Задна комуникантна артерија (ЗКА)
ICA	- <i>Arteria Carotis Interna</i>	-	Внатрешна каротидна артерија (ВКА)
ECA	- <i>Arteria Carotis Externa</i>	-	Надворешна каротидна артерија (НКА)
CCA	- <i>Arteria Carotis Communis</i>	-	Заедничка каротидна артерија (ЗКАр)
PICA	- <i>Arteria Cerebelli Inferior Posterior</i>	-	Задна долна церебеларна артерија (ЗДЦА)
ASA	- <i>Arteria Spinalis Anterior</i>	-	Предна спинална артерија (ПСА)
MS	- <i>Medulla Spinalis</i>	-	’Рбетен мозок
CTA	- <i>Angiographia Tomographiae Computatoriae</i>	-	Компјутеризирана томографска ангиографија (КТА)

CT	- <i>Tomographia Computatoria</i>	- Компјутеризирана томографија (КТ)
MRA	- <i>Angiographia Resonantiae Magneticae</i>	- Магнетнорезонантна ангиографија (МРА)
VBI	- <i>Insufficiencia Vertebrobasilaris</i>	- Вертебробазиларна инсуфициенција
TIA	- <i>Attactus Ischaemicus Transitorius</i>	- Транзиторен исхемичен напад
AIS	- <i>Insultus Ischaemicus Acutus</i>	- Акутен исхемичен мозочен удар
M	- Men	- Мажи
W	- Women	- Жени
$\bar{X}$	- Mean Value	- Средна вредност
SD	- Standard Deviation	- Стандардна девијација
SEM	- Standard Error of Mean	- Стандардна грешка на средната вредност
CV	- Coefficient of Variation	- Коефициент на варијација
R	- Correlation Coefficient	- Коефициент на корелација
P	- Probability Value statistical Significance)	- Ниво на статистичка значајност

СОДРЖИНА

АНАТОМСКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ (ВБС) И НИВНОТО ВЛИЈАНИЕ ВРЗ ЦЕРЕБРАЛНАТА ЦИРКУЛАЦИЈА

1. ВОВЕД.....	1
2. О. ОПШТ ПОИМ ЗА ЦЕРЕБРАЛНА ЦИРКУЛАЦИЈА.....	3
2.1. КРАТОК ИСТОРИСКИ ПРЕГЛЕД НА ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ (ВБС).....	3
2.2. ПРЕДНА И ЗАДНА ЦЕРЕБРАЛНА ЦИРКУЛАЦИЈА.....	7
2.3. ПОВРШЕН И ДЛАБОК ВЕНСКИ СИСТЕМ, КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ.....	9
2.4. КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА ВЕНСКОИТ СИСТЕМ.....	10
2.5. ФАКТОРИ ШТО ДОВЕДУВААТ ДО НЕДОВОЛНА ЦЕРЕБРАЛНА ЦИРКУЛАЦИЈА.....	11
2.6. РЕГУЛАЦИЈА НА ЦЕРЕБРАЛНАТА ЦИРКУЛАЦИЈА.....	16
2.6.1. АВТОРЕГУЛАЦИЈА НА ЦЕРЕБРАЛНИОТ ПРИТИСОК.....	17
3. АНАТОМИЈА И ДЕФИНИЦИЈА НА ВЕРТЕБРО-БАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ (ВБС).....	19
3.1. ОСНОВНИ КОМПОНЕНТИ НА ВЕРТЕБРО-БАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ.....	20
3.2. ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРЕН СИСТЕМ И КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА АНАТОМСКИТЕ ВАРИЈАЦИИ.....	24
3.3. КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА ЦЕРЕБРАЛНАТА ПЕРФУЗИЈА.....	25
3.4. ЕМБРИОНАЛЕН РАЗВОЈ НА ЦЕРЕБРАЛНИТЕ КРВНИ САДОВИ.....	25
3.5. КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА ВАСКУЛАРНИОТ СИСТЕМ.....	27
4. ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА (ARTERIA VERTEBRALIS) - АНАТОМСКА ОРГАНИЗАЦИЈА И КЛИНИЧКО-АНАТОМСКО ЗНАЧЕЊЕ.....	29

4.1. V1- ПРЕФОРАМИНАЛЕН СЕГМЕНТ	31
4.2. V2- ФОРАМИНАЛЕН СЕГМЕНТ.....	30
4.3. V3- АТЛАНТЕН СЕГМЕН.....	30
4.4. V4- ИНТРАКРАНИЈАЛЕН СЕГМЕНТ.....	30
4.5. ЕМБРИОГЕНЕЗА НА ВЕРТЕБРАЛНАТА АРТЕРИЈА (ARTERIA VERTEBRALIS - AV).....	31

5.0. АНАТОМСКИ И МОРФОЛОШКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВЕРТЕБРАЛНИТЕ АРТЕРИИ.....32

5.1. ХИПОПЛАЗИЈА НА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА.....	33
5.2. КЛИНИЧКИ, ЕМБРИОЛОШКИ И МОРФОЛОШКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВЕРТЕБРАЛНИТЕ АРТЕРИИ (ARTERIAE VERTEBRALES).....	35

5.3. АСИМЕТРИЈА ВО ДИЈАМЕТАРОТ НА ВЕРТЕБРАЛНИТЕ АРТЕРИИ.....	35
5.4. ЕМБРИОЛОШКИ РАЗВОЈ И АГЕНЕЗИЈА НА ВЕРТЕБРАЛНАТА АРТЕРИЈА.....	35
5.5. ТОРТУОЗНОСТ.....	36
5.6. АБНОРМАЛЕН ВЛЕЗ НА ВЕРТЕБРАЛНАТА АРТЕРИЈА ВО FORAMEN TRANSVERSARIUM.....	36
5.7. МОРФОЛОШКИ ВАРИЈАЦИИ СПОРЕД ПОТЕКЛО, ТЕК И СТРУКТУРА НА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА.....	38

6. БАЗИЛАРНА АРТЕРИЈА (ARTERIA BASILARIS – АВ).....38

6.1. КЛИНИЧКИ И МОРФОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА БАЗИЛАРНА АРТЕРИЈА.....	41
6.2. СТРУКТУРА, ГРАНКИ И ФУНКЦИЈА НА БАЗИЛАРНАТА АРТЕРИЈА	41
6.3. ЕМБРИОЛОШКИ РАЗВОЈ НА БАЗИЛАРНАТА АРТЕРИЈА.....	42
6.4. МОРФОЛОШКИ ВАРИЈАЦИИ НА БАЗИЛАРНА АРТЕРИЈА	42
6.5. ДОЛИХОЕКТАЗИЈА НА БАЗИЛАРНАТА АРТЕРИЈА	42
6.6. ДУПЛИКАЦИЈА И ФЕНЕСТРАЦИЈА НА БАЗИЛАРНА АРТЕРИЈА	43
6.7. АНАТОМСКИ ВАРИЈАЦИИ НА КРУГОТ НА ВИЛИС.....	47
6.8. КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА КРУГОТ НА ВИЛИС	47
6.9. АРТЕРИИ НА ЗАДНАТА ЦИРКУЛАЦИЈА НА МОЗОКОТ (CIRCULUS ARTERIOSUS POSTERIOR).....	48

6.10. ОДНОС НА ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ СО КРУГОТ НА ВИЛИС (CIRCULUS ARTERIOSUS CEREBRI)	49
6.11. ФУНКЦИОНАЛНО ЗНАЧЕЊЕ НА КРУГОТ НА ВИЛИС.....	49
6.12. АНАТОМСКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ (ВБС)....	50
6.13. ХЕМОДИНАМИЧКО И КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА ВАРИЈАЦИИТЕ.....	50
6.14. ЕМБРИОЛОШКИ И ПЕРЗИСТЕНТНИ АРТЕРИСКИ ВАРИЈАЦИИ.....	51
6.15. ПЕРФОРАНТНИ АРТЕРИИ И ИСХЕМИЧНИ РИЗИЦИ.....	51
6.16. МОРФОЛОШКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВБС.....	51
6.17.ВАРИЈАЦИИ ВО КАЛИБАР (ХИПОПЛАЗИЈА, АСИМЕТРИЈА)	52
6.18. АПЛАЗИЈА НА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА.....	53
6.19. ДУЛИКАЦИИ И ФЕНЕСТРАЦИИ НА БАЗИЛАРНАТА АРТЕРИЈА.....	58
6.20. АБНОРМАЛЕН ТЕК И ТОРТУОЗИТЕТ	58
6.21. ВАРИЈАЦИИ ВО НИВОТО НА СПОЈУВАЊЕ НА ВЕРТЕБРАЛНИТЕ АРТЕРИИ.....	59
6.22. КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА ВАРИЈАЦИИТЕ НА ВБС	
6.23. ХИПОПЛАЗИЈА НА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА.....	62
6.24. ВЛИЈАНИЕ НА АНАТОМСКИТЕ ВАРИЈАЦИИ ВРЗ ЦЕРЕБРАЛНАТА ЦИРКУЛАЦИЈА	62
6.25. ВАРИЈАЦИИ ВО ВБС И ХЕМОДИНАМИЧКО ВЛИЈАНИЕ.....	64
6.26. КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА ВАРИЈАЦИИТЕ НА ВБС СИСТЕМ (ВБС).....	65
6.27. ДИЈАГНОСТИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА СОВРЕМЕНИТЕ ДИЈАГНОСТИЧКИ МЕТОДИ.....	62
6.28. РИЗИК ЗА ИСХЕМИЈА ВО ЗАДНАТА МОЗОЧНА ЦИРКУЛАЦИЈА.....	62
6.29. СИМПТОМИ НА ВБ ВАРИЈАЦИИ, ДИЈАГНОЗА И ЛЕКУВАЊЕ.....	65
6.30. ДИЈАГНОСТИЧКО,КЛИНИЧКО И ТЕРАПЕВТСКО ЗНАЧЕЊЕ НА ВБС.....	65
7. ЦЕЛИ НА ТРУДОТ.....	69
8.МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДИ.....	71

8.1. ДИЗАЈН НА СТУДИЈА.....	71
8.2. КРИТЕРИУМИ ЗА ВКЛУЧУВАЊЕ ВО ИСТРАЖУВАЊЕТО.....	71
8.3.КРИТЕРИУМИ ЗА ИСКЛУЧУВАЊЕ.....	71
9. РЕУЛТАТИ.....	77
9.1 . ДЕСКРИПТИВНА СТАТСИСТИКА И ТЕСТИРАЊЕ НА НОРМАЛНОСТА НА ДИЈАМЕТРИТЕ НА НА БАЗИЛАРНА АРТЕРИЈА, ЛЕВА И ДЕСНА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА.....	78
9.2. СПОРЕДБА НА ДИЈАМЕТРИТЕ НА БАЗИЛАРНА, ЛЕВА И ДЕСНА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА СПОРЕД ПОЛ.....	80
9.3. СПОРЕДБА НА ДИЈАМЕТРИТЕ НА БАЗИЛАРНА, ЛЕВА И ДЕСНА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА СПОРЕД ВОЗРАСТ.....	87
9.4. СПОРЕДБА НА ДИЈАМЕТРИТЕ НА БАЗИЛАРНА, ЛЕВА И ДЕСНА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА СПОРЕД ДИЈАГНОЗА.....	92
9.5. СПОРЕДУВАЊА НА МОРФОЛОШКИТЕ АНАТОМСКИ ВАРИЈАЦИИ (НАШИ РЕЗУЛТАТИ vs ЛИТЕРАТУРА)	105
9.6.СПОРЕДБА НА ДИЈАМЕТРИТЕ НА БАЗИЛАРНА, ЛЕВА И ДЕСНА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА РИЗИК ФАКТОРИТЕ	107
10. ДИСКУСИЈА.....	104
1. ЗАКЛУЧОК.....	107
КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА.....	110

АНАТОМСКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ И НИВНИТЕ ПОСЛЕДИЦИ ВРЗ ЦЕРЕБРАЛНАТА ЦИРКУЛАЦИЈА

1. ВОВЕД

Вертебробазиларниот систем (ВБС) претставува дел од постериорната церебрална циркулација (posterior cerebral circulation) и е составен од двете вертебрални артерии - *arteria vertebralis dextra* и *arteria vertebralis sinistra* - кои по нивното спојување ја формираат базиларната артерија (*arteria basilaris*). Овој васкуларен систем има клучна улога во снабдувањето со крв на мозочното стебло, церебелумот, таламусот, окципиталните и делумно темпоралните региони на мозокот. Преку својата анатомска организација, ВБС обезбедува перфузија на структури одговорни за одржување на виталните невролошки функции, како: свеста, рамнотежата, координацијата на движењата, визуелната обработка и автономната кардио/респираторна регулација [1–5]. Поради функционалната комплексност на задната циркулација, нарушувањата во ВБС можат да доведат до сериозни невролошки оштетувања и висок морбидитет. Клиничките состојби кои го зафаќаат нарушувањата на ВБС се: атеросклероза, стеноза на крвните садови поради атеросклеротски плаки, тромбоемболитични оклузии, аневризми, артериски дисекции, како и различни анатомски и морфолошки варијации. Овие промени можат да резултираат со вертебробазиларна инсуфициенција (ВБИ), која клинички најчесто се манифестира со следниве симптоми: вртоглавица, атаксија, нарушување на рамнотежата, диплопија, дизартрија, визуелни нарушувања и исхемични настани во задната циркулација. Колатералната циркулација, особено преку вилисовиот круг (*circulus arteriosus cerebri-Willisii*), може делумно да ја компензира редуцијата на крвниот проток. Сепак, кај пациенти со изразени васкуларни варијации, хипоплазија или значајни атеросклеротски промени, компензациските механизми често се недоволни, што доведува до хемодинамичка нестабилност и церебрални исхемични оштетувања [6]. Во последните децении, сè поголемо внимание се посветува на анатомските варијации на базиларната и левата и десната вертебрална артерија, поради

нивното големо влијание врз церебралниот крвоток и ризикот за цереброваскуларни заболувања.Најчесто опишани варијации се хипоплазија на вертебрална артерија, асиметрија во дијаметарот на артериите, фенестрации, долихоектазија, абнормален тек на крвните садови и варијации во нивното разгранување.Овие варијации можат да предизвикаат турбулентен проток на крв као и промени во васкуларниот отпор како и промени во васкуларниот отпор, хипоперфузија и намалување на регионалната церебрална перфузија.Анатомските варијации на ВБС имаат значајно клиничко и хируршко значење. Нивното познавање е неопходно за правилна интерпретација на радиолошките наоди, планирање на ендоваскуларни и неврохируршки процедури, како и за проценка на ризикот од исхемични и хеморагични компликации.Современите дијагностички методи, како доплер ултрасонографија, компјутерска томографска ангиографија (СТА), магнетно-резонантна ангиографија (МРА) и дигитална субтракциона ангиографија (DSA), овозможуваат детална анализа на васкуларната морфологија и рано откривање на значајните варијации [6].Поради високата клиничка важност на задната циркулација, рано откривање на хемодинамички значајните варијации на ВБС претставува основа за современата неврологија, радиологија и неврохирургија. Проучувањето на овие варијации има значајна улога во превенцијата, раната дијагностика и третманот на цереброваскуларните заболувања [7,8].

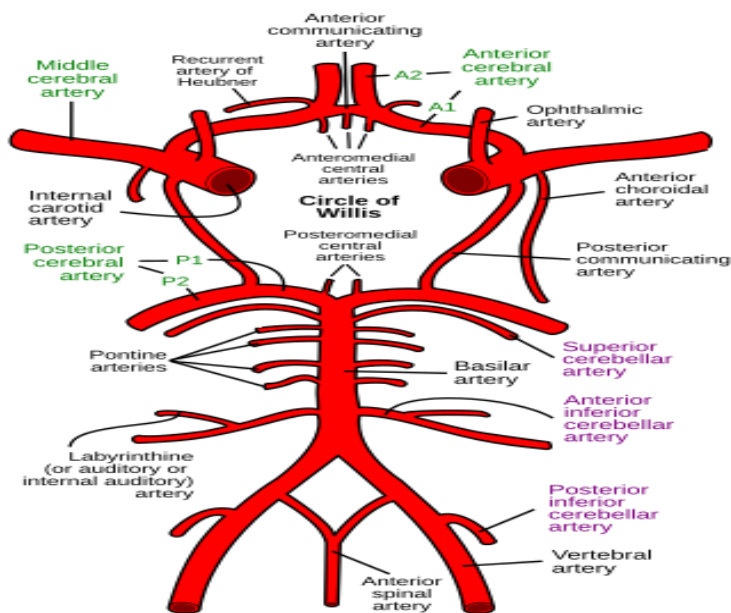
2.0. ОПШТ ПОИМ ЗА ЦЕРЕБРАЛНА ЦИРКУЛАЦИЈА

2.1. Краток историски преглед на вертебробазиларниот систем

Развојот на познавањата за церебралната циркулација и васкуларната анатомија на мозокот започнува уште во античкиот период. Меѓу првите автори кои укажале на постоењето на крвни садови одговорни за исхрана на мозочното ткиво бил Galen of Pergamon, чии анатомски описи претставувале основа за понатамошниот развој на медицинската наука. Во периодот на ренесансата, значителен придонес во развојот на анатомијата дал Andreas Vesalius, кој преку систематски дисекции и детални анатомски илустрации овозможил попрецизен приказ на мозочните артерии и нивните анастомози. Подоцна, Albrecht von Haller дополнително придонел кон систематизацијата и описот на церебралната васкулатура [9,10]. Посебно место во развојот на цереброваскуларната медицина има Johann Jakob Wepfer, кој во своето дело *Historiae Apoplecticorum* од 1658 година детално ги опишал вертебралните артерии, формирањето на базиларната артерија и основните механизми на мозочниот удар. Тој бил меѓу првите што укажале дека церебралната исхемија може да биде резултат на тромбоза, емболија или хеморагија, нагласувајќи ја поврзаноста помеѓу артериската опструкција и појавата на невролошки симптоми. Голем напредок во разбирањето на церебралната циркулација бил постигнат во XVII век преку трудовите на Thomas Willis. Во неговото дело *Cerebri Anatome* (1664), детално бил опишан артерискиот круг на мозочната основа, денес познат како Вилисов круг (*circulus arteriosus cerebri Willisii*). Willis ја истакнал улогата на вертебралните и базиларната артерија во одржувањето на постериорната церебрална циркулација и колатералната перфузија. Во XIX и XX век, со развојот на микроскопската анатомија, неврохирургијата и церебралната ангиографија, ВБС бил подетално дефиниран како анатомска и функционална целина. Напредокот на современите радиолошки методи (компјутерската томографска ангиографија (CTA) и магнетно-резонантната ангиографија (MRA), овозможува подетална анализа на анатомските варијации, хемодинамиските промени и васкуларните патологии на задната циркулација. ВБС познат и како задна церебрална циркулација, претставува комплексна васкуларна мрежа која

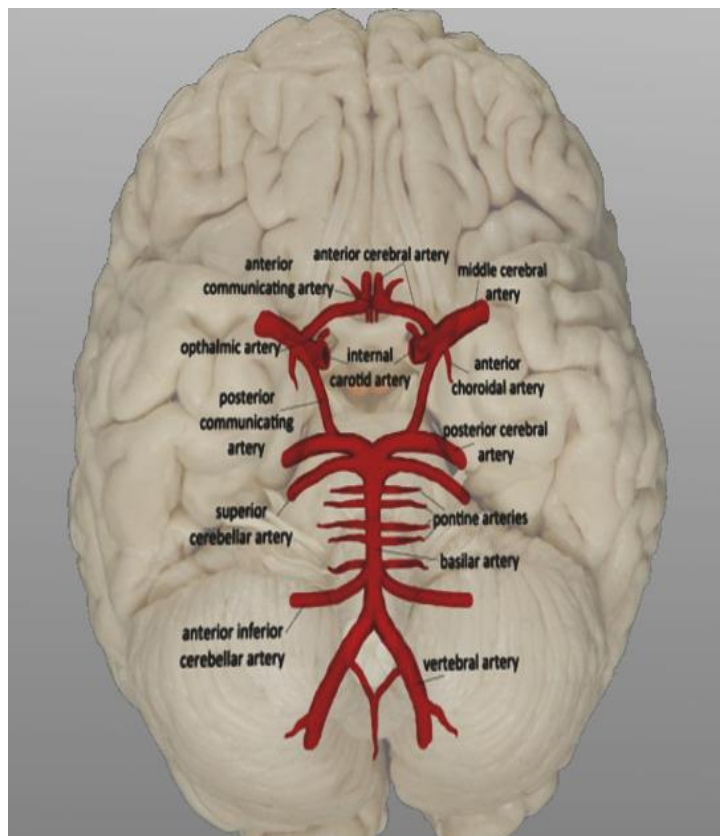
обезбедува крвоснабдување на мозочното стебло, церебелумот, окципиталните лобуси, задните делови на темпоралните лобуси и делови од таламусот. Овој систем учествува со приближно 20% од вкупниот церебрален крвен проток и има суштинско значење за одржување на виталните невролошки функции [11,12]. Церебралната циркулација претставува сложен и високо специјализиран систем за крвоснабдување на мозокот, чија основна функција е обезбедување континуирана испорака на кислород и хранливи материи, како и елиминација на метаболичките продукти. Иако мозокот сочинува приближно 2% од вкупната телесна маса, тој користи околу 15–20% од срцевиот минутен волумен и значителен дел од вкупната потрошувачка на кислород во организмот, што ја нагласува неговата висока метаболичка активност [13,14]. Крвоснабдувањето на мозокот се обезбедува преку два главни артериски системи: внатрешните каротидни артерии (*arteriae carotides internae*) и вертебробазиларниот систем. Овие системи се меѓусебно поврзани преку артериски анастомози на базата на мозокот, формирајќи го Вилисовиот круг (*circulus arteriosus cerebri Willisii*), кој претставува клучен колатерален механизам за одржување на церебралната перфузија при хемодинамички нарушувања [15,16]. Функционално, церебралната циркулација се дели на предна и задна циркулација. Предната циркулација потекнува од внатрешните каротидни артерии и обезбедува крв за најголемиот дел од церебралните хемисфери и окуларните структури. Внатрешната каротидна артерија се дели на предна церебрална артерија (ACA) и средна церебрална артерија (MCA). ACA ја васкуларизира медијалната површина на фронталниот и париеталниот лобус, додека MCA ги снабдува латералните региони на хемисферите, како и делови од базалните ганглии и внатрешната капсула [16,17,18]. Задната циркулација се формира од вертебралните артерии, кои на ниво на понтомедуларната јункција се спојуваат во базиларна артерија (*arteria basilaris*). Од вертебралните артерии потекнува задната инфериорна церебеларна артерија (PICA), додека базиларната артерија ги дава предната инфериорна церебеларна артерија (AICA), супериорната церебеларна артерија (SCA) и понтинските гранки, а терминално се дели на двете задни церебрални артерии (PCA). Овој систем е одговорен за крвоснабдување на мозочното стебло, малиот мозок, окципиталните и дел од темпоралните лобуси. Просечниот вкупен церебрален проток на крв кај возрасен човек изнесува приближно 700–750 mL/min, што претставува околу 15% од

срцевиот минутен волумен. Околу 70–75% од протокот се обезбедува преку предната циркулација, додека 25–30% преку вертебробазиларниот систем. Регулацијата на церебралниот проток се одвива преку сложена интеракција помеѓу неврните, глијалните клетки и васкуларниот ендотел, позната како невроваскуларна спрегнатост (neurovascular coupling), како и преку механизмите на церебрална авторегулација [13,14]. Особено значење имаат вододелните (watershed) зони, кои претставуваат граници помеѓу васкуларните територии на големите мозочни артерии и се особено чувствителни на намален проток на крв. Во услови на системска хипотензија или оклузивни васкуларни заболувања, колатералната циркулација преку Вилисовиот круг може делумно да ја компензира редукцијата на церебралната перфузија и да го намали ризикот од исхемични оштетувања [19,20,21]. Една од најзначајните карактеристики на церебралната циркулација е присуството на крвно-мозочната бариера, која овозможува селективна контрола на транспортот на молекули помеѓу крвта и мозочното ткиво, обезбедувајќи одржување на хомеостазата и заштита на централниот нервен систем. Нарушувањата на церебралната перфузија, авторегулацијата или интегритетот на крвно-мозочната бариера можат да доведат до церебрална хипоперфузија, исхемија и развој на мозочен удар.



Слика 1. Приказ на Вилисовиот круг (circulus Willisii)- Radiopaedia, August 2025

Figure 1. Illustration of the circle of Willis (circulus Willisii) Wikipedia. Radiopaedia, August 2025



Слика 2. Вертебробазиларен систем (Слика од Dr. S Bhimji MD)

Figure 2. Vertebrobasilar system (Image by Dr. S Bhimji MD)

♦ Лимфен систем на централниот нервен систем

Централниот нервен систем (ЦНС) долго време се сметал за структура без класичен лимфен систем. Современите истражувања, меѓутоа, потврдија постоење на специјализирани дренажни механизми кои ги вклучуваат глимфатичниот систем, периваскуларните патишта и менингеалните лимфни садови. Овие структури имаат важна улога во одржувањето на церебралната хомеостаза, елиминацијата на метаболички отпадни продукти и имунолошката регулација на мозокот [22,23]. Глимфатичниот систем претставува функционален механизам за размена помеѓу цереброспиналната течност (CSF) и интерстицијалната течност во мозочниот паренхим. Процесот се одвива преку периваскуларните простори, при што астроцитите богати со aquaporin-4 канали овозможуваат транспорт на течности и метаболити. На овој начин се отстрануваат отпадни продукти, вклучувајќи β -амилоид и тау-протеини, кои се насочуваат кон длабоките цервикални лимфни јазли. Менингеалните лимфни

садови, лоцирани во *dura mater* покрај дуралните венски синуси, претставуваат анатомска врска помеѓу централниот нервен систем и периферниот имунолошки систем. Тие овозможуваат дренажа на цереброспиналната течност и транспорт на имуноактивни клетки кон регионалните лимфни јазли. Ефикасноста на лимфната дренажа зависи од повеќе физиолошки фактори, вклучувајќи артериска пулсација, респираторни движења и промени на интракранијалниот притисок. Со стареењето се намалува дренажниот капацитет на овие системи, што може да доведе до акумулација на метаболички отпадни продукти, нарушена церебрална хомеостаза и зголемен ризик за невроде-генеративни и цереброваскуларни заболувања, вклучувајќи Alzheimer-ова болест, васкуларна деменција и хронична церебрална исхемија [22,23].

2.2. Предна и Задна Церебрална Циркулација

- Регулација на церебралната циркулација
 - **Метаболичка контрола (метаболичка авторегулација)**

Авторегулацијата на церебралниот проток на крв претставува физиолошки механизам кој овозможува одржување на стабилна церебрална перфузија, независно од варијациите на системскиот артериски притисок. Таа се реализира преку интеграција на миогени, метаболички и неврогени механизми кои ја одржуваат хомеостазата на мозочното ткиво [29]. Современите истражувања покажуваат дека регулацијата не е ограничена само на артериолите, туку учествуваат и поголемите интра- и екстракранијални артерии во стабилизацијата на перфузискиот притисок [30]. Клучна улога има крвно-мозочната бариера, со тесни меѓуклеточни врски и селективна пропустливост, која ја одржува јонската и метаболичката стабилност на невроните и спречува развој на вазоген едем. Најсилен метаболички фактор е CO_2 , при што:

- зголемен $\text{PaCO}_2 \rightarrow$ вазодилатација и зголемен проток
- намален $\text{PaCO}_2 \rightarrow$ вазоконстрикција и намален проток

Овој механизам е директно поврзан со pH промени и невроваскуларно спрегнување [31,32].

- **Авторегулација на церебралниот притисок**

Церебралната авторегулација овозможува одржување на релативно константен церебрален проток на крв и покрај варијации на артерискиот притисок. Таа е клучна поради високата метаболичка чувствителност на мозокот на хипо- или хиперперфузија. Механизмот се базира на промени во дијаметарот на артериолите, со регулирање на цереброваскуларниот отпор и CPP (cerebral perfusion pressure). Во клиничка пракса, MAP се користи како индиректен показател за CPP.

Во регулацијата учествуваат: миогени механизми, метаболички фактори, неврогени влијанија и ендотелен систем [33]

Ендотелот регулира вазодилатација преку NO и вазоконстрикција преку ендотелин-1 и тромбоксан A_2 . Статините потенцијално ја подобруваат ендотелната функција, но нивниот ефект врз авторегулацијата сè уште не е целосно дефиниран [34].

- **Хемиска (метаболичка) регулација**

Хемиската регулација обезбедува адаптација на церебралниот проток според метаболичките потреби на мозокот.

Најважен регулатор е CO_2 , каде:

- зголемен $PaCO_2 \rightarrow$ вазодилатација
- намален $PaCO_2 \rightarrow$ вазоконстрикција

Овој процес е поврзан со регулација на pH во цереброспиналната течност.

Дополнително, невронската активност влијае врз локалниот проток преку ослободување на: аденозин; K^+ јони, NO. Овие медијатори предизвикуваат локална вазодилатација и зголемена перфузија. При зголемен ICP се намалува

CPP, што доведува до хипоперфузија и потенцијална исхемија доколку не се коригира навреме.

- **Нервна контрола (невроген одговор)**

Неврогената регулација е брз механизам на контрола на церебралниот васкуларен тонус, посредуван од невоваскуларната единица (неврони, астроцити, микроглија и ендотел) [42].

Вазоактивните медијатори вклучуваат:

- вазодилатација: NO, ацетилхолин;
- вазоконстрикција: серотонин, NPY, катехоламини.

Овој систем овозможува директна врска помеѓу невронската активност и локалниот проток (невоваскуларно спрегнување). Патолошки промени во вертебробази-ларниот систем (стенози, варијации, тромбози) можат да ја нарушат оваа регулација и да доведат до вертебробазиларна инсуфициенција, која клинички се манифестира со вртоглавица, атаксија, диплопија и дизартрија. Колатералната циркулација преку Willis-овиот круг има ограничен компензациски капацитет при тешки оклузии [35].

2.3. Површен и длабок венски систем, клиничко значење

- **Површен венски систем**

Површинскиот венски систем е составен главно од дуралните венски синуси (sinus durae matris), ендотелизирани венски канали сместени помеѓу periostealниот и менингеалниот лист на dura mater. За разлика од периферните вени, тие немаат валвули и мускулен слој, што овозможува слободен проток на венска крв и цереброспинална течност. Површинските церебрални вени ја собираат крвта од кортикалните и субкортикалните региони и ја одведуваат во

дуралните синуси. Најзначаен е горниот сагитален синус (sinus sagittalis superior), кој се протега долж falx cerebri и прима бројни мостовидни вени, претставувајќи главен дренажен пат за супериорните делови на хемисферите. Понатаму, крвта се одведува во confluens sinuum, каде се спојуваат:

- sinus rectus
- sinus transversus
- sinus occipitalis

Попречните синуси продолжуваат во sinus sigmoideus, кој преминува во v. jugularis interna, преку која венската крв се враќа во системската циркулација.

• Длабок венски систем

Длабокиот венски систем ја дренира крвта од длабоките мозочни структури, вклучувајќи ги таламусот, базалните ганглии, corpus callosum, внатрешната капсула и длабоката бела маса. Главни компоненти на длабокиот венски систем се:

- vv. cerebri internae
- vv. basales (Rosenthal)
- vena cerebri magna (vena Galeni)

Внатрешните церебрални вени се формираат во близина на interventricular foramina и се спојуваат во vena Galeni, која се влева во sinus rectus, а потоа во confluens sinuum.

2.4. Клиничко значење на венскиот систем

Интегритетот на венската дренажа е клучен за одржување на нормален интракранијален притисок и церебрална перфузија. Нарушувањата можат да доведат до венска конгестија, едем, венска хипертензија и секундарна исхемија. Особено значајна е церебралната венска синусна тромбоза, која се манифестира со главоболка, епилептични напади, фокални невролошки

дефицити и знаци на покачен интракранијален притисок. Раната дијагноза со MR- или CT-венографија е клучна за превенција на трајни оштетувања.Анатомските варијации на венските синуси (асиметрија на попречните синуси, абнормални анастомози) имаат значајно влијание врз неврорадиолошката интерпретација и неврохируршкото планирање, особено при интервенции во задната кранијална јама [36].

2.5. Фактори што доведуваат до недоволна церебрална циркулација

Нарушувањата на вертебробазиларната циркулација претставуваат состојби при кои доаѓа до намалување или прекин на крвниот проток во задната церебрална циркулација.Вертебралните артерии се спојуваат и ја формираат базиларната артерија, која го снабдува мозочното стебло, малиот мозок, таламусот и окципиталните региони [37].

• Етиолошки и ризик-фактори

Намалениот проток во вертебробазиларниот систем најчесто е последица на атеросклеротски, хемодинамски и механички фактори.Атеросклерозата на интракранијалните и екстракранијалните артерии претставува водечка причина за хронична церебрална хипоперфузија. Дополнително, артериската хипертензија, дијабетес мелитус и дислипидемијата придонесуваат за ендотелна дисфункција и васкуларно ремоделирање.Најголеми фактори на ризик се и:

- пушење
- дебелина
- состојби кои го зголемуваат оксидативниот стрес и тромботската активност.
- Хиперкоагулабилните состојби,

Механичките фактори, како цервикална спондилоза и траума на вратот, можат да предизвикаат компресија или дисекција на вертебралните артерии. Анатомските варијации (хипоплазија, асиметрија, тортуозност) ја намалуваат колатералната резерва и го зголемуваат ризикот од исхемија. Хиперкоагулабилните состојби, вклучувајќи наследни тромбофилии и зголемен фибриноген, дополнително го зголемуваат ризикот од тромбоза во задната циркулација.

• **Клинички последици се :**

Вертебробазиларната инсуфициенција (VBI) може да доведе до транзиторна исхемична атака или исхемичен мозочен удар. Клиничката слика зависи од степенот и локализацијата на исхемијата. Најчести симптоми се:

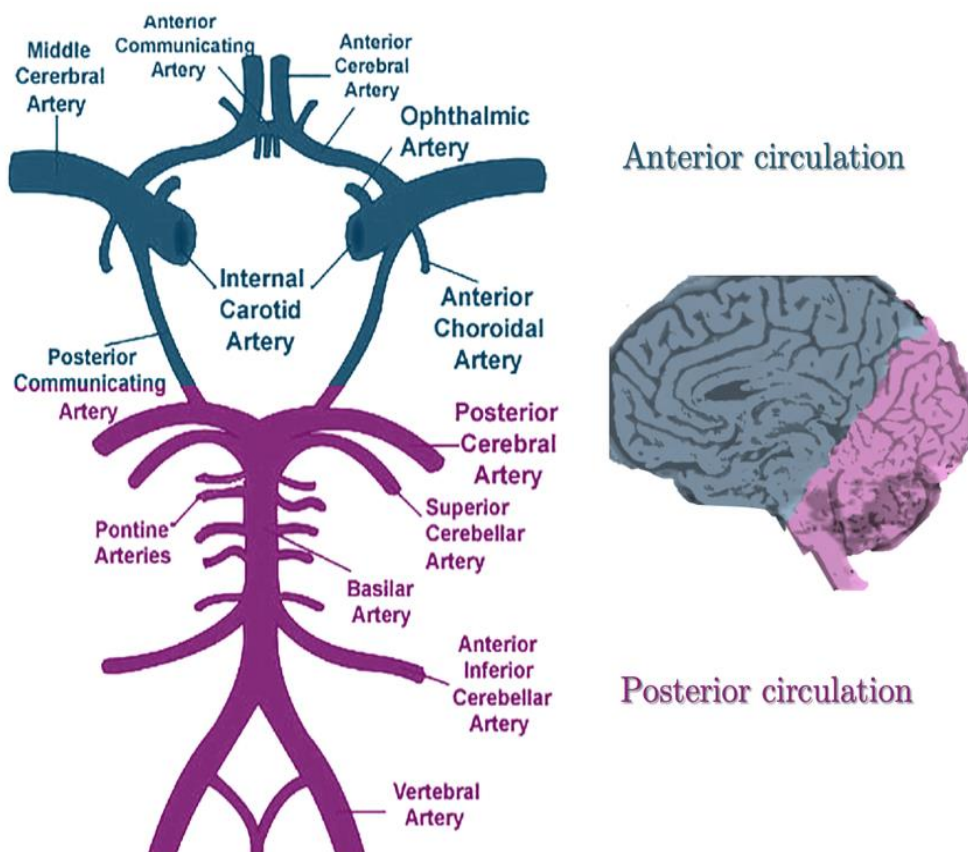
- вртоглавица и нестабилност;
- диплопија и визуелни нарушувања;
- дизартрија и дисфагија;
- атаксија;
- сензорни и моторни дефицити и
- „drop attacks“

Овие манифестации се резултат на хипоперфузија на мозочното стебло и церебелумот, со последична невролошка дисфункција [38].

Табела 1. Фактори, механизми и клинички манифестации при нарушена вертебробазиларна циркулација

Table 1. Factors, mechanisms and clinical manifestations in impaired vertebrobasilar circulation

Фактор на ризик /состојба	Патофизиолошки механизам	Клинички симптоми
Атеросклероза	Формирање на атероматозни плаки, стеноза, оклузија, намален проток на крв	Мозочен инфаркт, вртоглавица, слабост, слабост
Артеиска Хипертензија	Оштетување на ендотелот и васкуларна ремоделација, намалена еластичност и перфузија	Главоболка, конфузија, невролошки дефицит
Хиперлипидемија	Зголемени липиди, забрзана атеросклероза (прематурна атеросклероза)	Рана атеросклероза (исхемични симптоми)
Дијабет	Микро/ макроангиопатија, нарушена микроциркулација	Поспаност, слабост, когнитивни нарушувања
Дебелина	Метаболен синдром со васкуларна дисфункција	Невролошки симптоми, замор,
Пушење	Вазоконстрикција со ендотелна дисфункција и намален проток	Главоболка, вртоглавица, зголемен ризик за кардиоваскуларни болести и инфаркт
Транзиторна исхемиска атака	Привремена исхемија без трајно оштетување	Привремена слабост, губење на вид, говорни нарушувања
Цервикална патологија / трауматски-спондилонички промени	Механичка компресија на вертебралните артерии	Вртоглавица при движење на врат, нестабилност, „главо болки
Хиперкоагулабилни состојби	Зголемена коагулација со тромбоза и оклузија	ТИА и ненадејни невролошки испади,

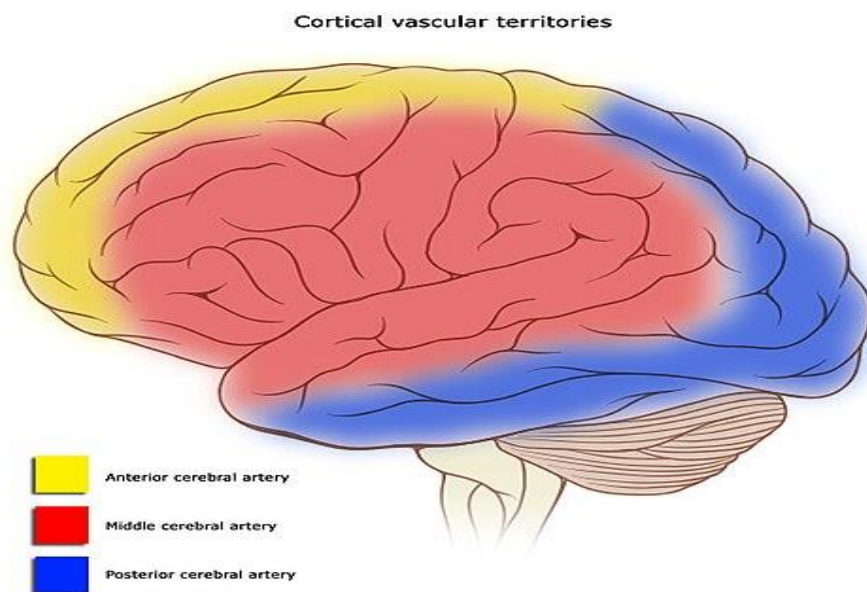


Слика 3. Предна и задна церебрална циркулација и придружните региони. Јануари 2025. Wang et al. and Triarhou..

Figure 3. Anterior and posterior cerebral circulation and associated regions. January 2025. adapted and from Wang et al. and Triarhou et al.



Слика 4. Церброваскуларен систем-Википшедија,2025
Figure 4. Cerebrovascular system-Wikipedia 2025



Слика 5. :Дијаграм на нормален човечки мозок и мозочно стебло
Figure 5.Brain and brainstem normal human diagram.Brain: Normal Anatomy (2025)

➤ 2.6. Регулација на церебралната циркулација

Регулацијата на церебралната циркулација претставува комплексен физиолошки систем кој обезбедува стабилна церебрална перфузија и адекватна оксигенација на мозочното ткиво, независно од варијациите на системскиот артериски притисок и метаболичките потреби. Таа се базира на интегрирано дејство на миогени, метаболички, хемиски и неврогени механизми, кои заеднички ја одржуваат цереброваскуларната хомеостаза [38]. Современите невроваскуларни истражувања покажуваат дека регулацијата не се одвива исклучиво на ниво на артериолите, туку учествуваат и поголемите интракранијални и екстракранијални артерии, кои придонесуваат за стабилизација на перфузискиот притисок и заштита на микроциркулацијата од хемодинамски флукуации [40]. Клучна улога има и церебралниот ендотел, кој како дел од крвно-мозочната бариера (BBB) ја регулира селективната пропустливост, јонската хомеостаза и транспортот на супстанции помеѓу крвта и мозочното ткиво. Нарушувањето на BBB може да доведе до вазоген едем и зголемен интракранијален притисок.

- **Метаболичка и хемиска регулација (метаболичка авторегулација)**

Метаболичката авторегулација претставува најважен механизам во малите церебрални крвни садови и директно зависи од локалната метаболичка активност на невроните. Најсилен вазоактивен фактор е јаглерод диоксидот (CO_2). Зголемување на PaCO_2 предизвикува вазодилатација и зголемен церебрален проток, додека намалување на PaCO_2 доведува до вазоконстрикција и редукција на перфузијата, преку промени во pH и CO_2 -сензитивни васкуларни механизми. CO_2 има клучна улога и во невроваскуларното спрегнување, поврзувајќи ја невронската активност со локалната перфузија. При хипоксија и хипоперфузија, акумулацијата на CO_2 и метаболички продукти предизвикува вазодилатација, додека при хипервентилација намалениот CO_2 доведува до вазоконстрикција и намален церебрален проток [42]. Покрај CO_2 , значајна улога имаат и аденозин, K^+ јони и азотен оксид (NO), кои локално ја модулираат васкуларната релаксација и перфузијата.

2.7. Авторегулација на церебралниот притисок

Церебралната авторегулација овозможува одржување на релативно константен церебрален проток на крв, и покрај варијации на системскиот артериски притисок. Поради високата метаболичка чувствителност на мозокот, дури и краткотрајна хипо- или хиперперфузија може да доведе до функционално оштетување. Овој механизам се базира на промени во дијаметарот на церебралните артериоли, со регулирање на цереброваскуларниот отпор и церебралниот перфузиски притисок (CPR). Во клиничка пракса, MAP често се користи како индиректен индикатор за CPR. Авторегулацијата е резултат на интеграција на:

- миогени механизми
- метаболички фактори
- неврогени влијанија
- ендотелна функција [43]

Ендотелот регулира васкуларен тонус преку вазодилатори (NO) и вазоконстриктори (ендотелин-1, тромбоксан A_2). Балансот меѓу овие медијатори е клучен за стабилна церебрална хемодинамика. Статините потенцијално ја подобруваат ендотелната функција, но нивниот ефект врз авторегулацијата сè уште не е целосно дефиниран [44].

- **Неврогена (нервна) контрола**

Неврогената регулација е најбрз механизам на контрола на церебралниот васкуларен тонус и се реализира преку невроваскуларната единица, составена од неврони, астроцити, микроглија и ендотел [45]. Во вазоактивните медијатори вклучуваат:

- вазодилатори: NO, ацетилхолин
- вазоконстриктори: серотонин, неuropeпид Y, катехоламини

Овој систем создава директна врска помеѓу невронската активност и локалната перфузија (невроваскуларно спрегнување). Зголемената невронска активност ја зголемува метаболичката побарувачка и предизвикува рефлексна вазодилатација. Патолошки промени во ВБС (стенози, тромбози, анатомски варијации) можат да ја нарушат неврогената регулација и да доведат до вертебробазиларна инсуфициенција, која клинички се манифестира со вртоглавица, атаксија, диплопија и дизартрија. Колатералната циркулација преку Willis-овиот круг може делумно да компенсира, но има ограничен капацитет при тешки оклузии.

3. АНАТОМИЈА И ДЕФИНИЦИЈА НА ВЕРТЕБРО-БАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ (ВБС)

ВБС претставува функционална артериска целина на задната церебрална циркулација, составена од двете вертебрални артерии и базиларната артерија. Основната улога на овој систем е обезбедување на артериска перфузија на мозочното стебло, цервикалниот дел од 'рбетниот мозок, малиот мозок, таламусот и окципиталните лобуси. Преку своите артериски гранки, овој систем ги васкуларизира медулата облонгата, понсот, мезенцефалонот и делови од диенцефалонот. ВБС има клучна улога во одржување на виталните невролошки функции, вклучувајќи свесност, постурална рамнотежа, координација на движењата, визуелна обработка и автономна кардиореспираторна регулација. Поради значењето на овие структури, нарушувањата на вертебробазиларната циркулација можат да доведат до сериозни невролошки дефицити, транзиторни исхемични атаки или животозагрозувачки состојби [49,50,51]. Анатомски, ВБС е формиран од десната и левата вертебрална артерија (*arteriae vertebrales dextra et sinistra*), кои потекнуваат од субклавијалните артерии и се делат на четири сегменти (V1–V4). Во својот интракранијален сегмент (V4), двете вертебрални артерии се спојуваат и ја формираат базиларната артерија (*arteria basilaris*), која претставува неспарена средишна артерија од клучно значење за задната циркулација на мозокот. Базиларната артерија се протега по вентралната површина на понсот и завршува со бифуркација во двете задни церебрални артерии (*arteriae cerebri posteriores*), кои обезбедуваат перфузија на окципиталните лобуси и дел од темпоралните региони. Преку своите перфорирачки и терминални гранки, овој систем игра клучна улога во васкуларизацијата на виталните структури на мозочното стебло и церебелумот. ВБС и каротидниот систем заедно ја сочинуваат главната артериска мрежа на мозокот. Овие два системи се функционално поврзани преку комуникантните артерии во рамките на Вилисовиот артериски круг, кој претставува важен колатерален механизам за одржување на церебралната перфузија при стенози или оклузии на главните артериски садови [62]. Во задната циркулација, задните комуникантни артерии (*arteriae communicantes posteriores*) ја поврзуваат каротидната и вертебро-базиларната циркулација, овозможувајќи функционална хемодинамичка компензација при нарушен

проток. Во рамките на церебеларната васкуларизација, задната инфериорна церебеларна артерија (PICA) потекнува од вертебралните артерии, предната инфериорна церебеларна артерија (AICA) од базиларната артерија, додека горната церебеларна артерија (SCA) се одвојува од терминалниот сегмент на базиларната артерија непосредно пред нејзината бифуркација [63]. Во клиничката пракса, анатомските варијации на вертебралните и базиларната артерија се релативно чести. Иако најчесто се асимптоматски, тие можат значајно да влијаат врз церебралната хемодинамика и да го зголемат ризикот од исхемични настани, тромботични оклузии и васкуларни повреди. Поради тоа, деталното познавање на нивната анатомија (потекло, тек, дијаметар и варијации) е од суштинско значење за безбедно изведување на неврохируршки и ендоваскуларни процедури [54]. Со оглед на релативно високата преваленца на варијантна анатомија, предоперативната компјутерска томографска ангиографија (СТА) претставува стандарден дијагностички метод при сомневање за васкуларни варијации, особено кај пациенти со траума на цервикалниот 'рбет или нестабилност, каде ризикот од васкуларна повреда е зголемен [64,65].

3.1. Основни компоненти на Вертебро-Базиларниот систем

Вертебробазиларниот систем претставува една од двете главни артериски компоненти на мозочната циркулација и има суштинска улога во обезбедувањето на крвоснабдување на структурите на задната черепна јама. Заедно со каротидниот систем, тој учествува во одржувањето на церебралната перфузија и нормалната невролошка функција. Вертебробазиларниот систем обезбедува артериска крв за мозочното стебло, малиот мозок, таламусот, окципиталните лобуси и делови од темпоралните лобуси, односно региони кои се одговорни за виталните автономни функции, координацијата на движењата, видот, рамнотежата и свесноста. Основата на вертебробазиларниот систем ја формираат двете вертебрални артерии (*arteriae vertebrales*), кои претставуваат гранки на субклавијалните артерии. Десната вертебрална артерија најчесто потекнува од десната субклавијална артерија, додека левата вертебрална артерија потекнува од левата субклавијална артерија. По своето потекло,

вертебралните артерии се движат нагоре низ попречните отвори на вратните пршлени, влегуваат во черепната празнина преку foramen magnum и се спојуваат на нивото на понтомедуларниот спој, формирајќи ја базиларната артерија (arteria basilaris). Базиларната артерија претставува централна артериска оска на задната церебрална циркулација. Таа се протега по вентралната површина на понсот во средишната бразда (sulcus basilaris) и има просечна должина од околу 25 до 35 mm. Во текот на својот пат таа испраќа бројни гранки кои учествуваат во снабдувањето на мозочното стебло и малиот мозок. Меѓу најважните гранки се парамедијалните понтински артерии, кратките и долгите циркумферентни артерии, предната инфериорна церебеларна артерија (AICA), лабиринтната артерија и горната церебеларна артерија (SCA). Парамедијалните понтински артерии обезбедуваат крвоснабдување на медијалните делови на понсот, каде што се наоѓаат важни моторни и сензорни патишта. Нивното оштетување може да доведе до сериозни невролошки синдроми, вклучувајќи хемипареза, дисартрија и различни синдроми на мозочното стебло. Кратките и долгите циркумферентни артерии ги васкуларизираат латералните региони на понсот и соседните структури. Предната инфериорна церебеларна артерија (AICA) најчесто потекнува од проксималниот дел на базиларната артерија и обезбедува крвоснабдување на предно-долните делови на малиот мозок, латералниот понс и дел од внатрешното уво. Оклузијата на AICA може да резултира со појава на вртоглавица, атаксија, губење на слухот и нарушувања на рамнотежата. Горната церебеларна артерија (SCA) потекнува непосредно пред терминалната поделба на базиларната артерија. Таа ги снабдува горните делови на малиот мозок, горниот дел на понсот и одредени региони на средниот мозок. Ишемијата во нејзината васкуларна територија најчесто се манифестира со атаксија, дизартрија и нарушувања на координацијата. На крајот од својот тек, базиларната артерија се дели на двете задни церебрални артерии (arteriae cerebri posteriores – PCA). Овие артерии имаат исклучително значење бидејќи ги снабдуваат окципиталните лобуси, долните и медијалните делови на темпоралните лобуси, таламусот и одредени структури на средниот мозок. Бидејќи окципиталниот лобус е примарен центар за визуелна обработка, исхемичните лезии во територијата на PCA често доведуваат до нарушувања на видното поле, кортикално слепило или визуелни халуцинации. Особено

значајна анатомска карактеристика на задната церебрална циркулација е нејзината поврзаност со предната циркулација преку задните комуникантни артерии (*arteriae communicantes posteriores*). Овие артерии ги поврзуваат задните церебрални артерии со внатрешните каротидни артерии и претставуваат составен дел на Вилисовиот круг (*Circulus arteriosus cerebri Willisii*). Вилисовиот круг претставува артериски анастомотски прстен сместен на базата на мозокот, чија основна функција е обезбедување колатерална циркулација. Во случај на стеноза, тромбоза или оклузија на една од главните мозочни артерии, Вилисовиот круг овозможува прераспределба на крвниот проток и делумна компензација на нарушената перфузија. Благодарение на оваа анатомска организација, мозокот поседува одреден степен на заштита од акутни исхемични настани. Сепак, бројни анатомски варијации можат да влијаат врз ефикасноста на колатералната циркулација. Хипоплазијата на вертебрална артерија, асиметријата на вертебралните артерии, феталниот тип на задна церебрална артерија, агенезијата или хипоплазијата на комуникантните артерии и долхоектазијата на базиларната артерија се меѓу најчестите варијанти опишани во литературата. Овие варијации можат да предизвикаат промени во хемодинамиката и да ја намалат способноста за колатерална компензација при цереброва-скуларни заболувања. Клиничкото значење на вертебробази-ларниот систем е исклучително големо бидејќи вертебробази-ларната исхемија учествува со околу 20% од сите исхемични мозочни удари. Симптомите најчесто вклучуваат вртоглавица, нестабилност при одење, диплопија, дизартрија, дисфагија, атаксија и нарушувања на свеста. Во потешките случаи може да настане инфаркт на мозочното стебло или оклузија на базиларната артерија, состојба која е поврзана со висока смртност и тежок невролошки инвалидитет. Современите дијагностички методи, како што се магнетнорезонантната ангиографија (MRA), компјутеризираната томографска ангиографија (CTA), дигиталната суптракциска ангиографија (DSA) и колор-доплер ултрасонографијата, овозможуваат детална визуелизација на вертебробазиларниот систем и неговите анатомски варијации. Прецизното познавање на овие структури има суштинско значење за невролозите, неврохирурзите, интервенциските радиолози и васкуларните хирурзи при планирањето на ендоваскуларни процедури, микроваскуларни реконструкции и хируршки интервенции во пределот на задната черепна јама. Оттука, деталното

проучување на анатомијата, ембриологијата и варијабилноста на вертебробазиларниот систем претставува значајна основа за разбирање на патофизиологијата на цереброваскуларните заболувања, за подобрување на дијагностичките стратегии и за оптимизирање на современиот терапевтски пристап кај пациентите со заболувања на задната церебрална циркулација.

➤ Краток историски преглед на вертебробазиларниот систем (ВБС)

Првите сознанија за артериското крвоснабдување на мозокот потекнуваат од античкиот период. Гален од Пергамон (129–216 г. н.е.) бил меѓу првите кој го опишал постоењето на крвни садови што го снабдуваат мозокот, иако неговите анатомски и физиолошки концепти биле ограничени од тогашното ниво на научно знаење. Во XVI век, Andreas Vesalius (1514–1564) направил значаен напредок во анатомијата преку детални описи на церебралната васкуларизација и артериските врски, поставувајќи темели за развојот на современата невроанатомија. Подоцна, Albrecht von Haller придонел за појаснување на морфолошката и функционалната организација на мозочните артерии. Особено значаен придонес во развојот на цереброваскуларната наука дал швајцарскиот патолог Johan Jakob Wepfer (1620–1695). Во делото *Historiae Apoplecticorum* (1658), тој детално ја опишал анатомијата на церебралната циркулација, вклучувајќи ги вертебралните артерии и нивното спојување во базиларната артерија во регијата на медулата облонгата. Wepfer бил меѓу првите што ја поврзале мозочната апоплексија со васкуларна оклузија или крварење, поставувајќи основи за современата цереброваскуларна патологија [52,53]. Во XVII век, Thomas Willis (1621–1675) направил клучен придонес со описот на артерискиот круг на мозокот, денес познат како Willis-ов круг (*circulus arteriosus cerebri*), нагласувајќи ја улогата на вертебралните и базиларната артерија во задната циркулација на мозокот. Во XIX и XX век, со развојот на микроскопската анатомија, неврологијата и ангиографијата, вертебробазиларниот систем е дефиниран како посебна анатомска и функционална целина. Современите радиолошки методи, како СТ-ангиографија и MR-ангиографија, овозможуваат прецизна визуелизација на неговите

морфолошки варијации и патолошки промени.ВБС, познат и како задна церебрална циркулација, ги снабдува мозочното стебло, малиот мозок, окципиталните лобуси и задните делови од темпоралните лобуси. Тој учествува со приближно 20% од вкупниот церебрален проток на крв, што ја нагласува неговата функционална важност во одржување на невролошката хомеостаза [54].

3.2. ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРЕН СИСТЕМ И КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА АНАТОМСКИТЕ ВАРИЈАЦИИ

Анатомските варијации на ВБС имаат значајно клиничко значење, бидејќи можат да придонесат за развој на тромботични настани, аневризми и други цереброваскуларни нарушувања. Зачуваниот анатомски и функционален интегритет на овој систем е од суштинско значење за нормалната невролошка функција и адекватната перфузија на структурите од задната циркулација. Вертебро-базиларниот систем претставува главен дел од задната церебрална циркулација и обезбедува крвоснабдување на мозочното стебло, малиот мозок, таламусот, окципиталните лобуси и делови од темпоралниот лобус. Поради снабдувањето на витални невролошки центри, секое нарушување на неговата хемодинамика може да има сериозни функционални последици.Анатомските варијации можат значајно да влијаат врз церебралната хемодинамика и капацитетот на колатералната циркулација. Најчести варијации се унилатерална хипоплазија на вертебралните артерии, асиметрија на протокот, варијации на задната долна и предна долна церебеларна артерија (PICA и AICA), како и варијации на базиларната артерија. Овие промени можат да доведат до нерамномерна распределба на протокот и зголемен ризик од исхемични настани.Клинички, вертебралната артерија се дели на четири сегменти (V1–V4), при што секој сегмент има различни анатомски и патолошки импликации, особено во контекст на компресивни, дегенеративни и атеросклеротски процеси.Дополнително, ВБС е под влијание на автономниот нервен систем, кој учествува во брза неврогена адаптација на церебралната циркулација и одржување на перфузискиот притисок, што е клучно за стабилноста на задната циркулација [46,47].

3.3. Клиничко значење на церебралната перфузија

Церебралниот перфузиски притисок (CPR) претставува хемодинамски градиент кој го овозможува протокот на крв низ мозочното ткиво и мора да се одржува во тесни физиолошки граници. CPR се дефинира како разлика помеѓу средниот артериски притисок (MAP) и интракранијалниот притисок (ICP), при што неговата стабилност е клучна за одржување на нормална невронска функција и енергетски метаболизам. Намалувањето на CPR доведува до церебрална хипоперфузија, нарушување на оксигенацијата и појава на исхемични промени во мозочното ткиво. Продолжената хипоперфузија може да резултира со неповратно невронско оштетување. Од друга страна, зголемувањето на CPR може да предизвика пораст на интракранијалниот притисок, нарушување на крвно-мозочната бариера и секундарно влошување на церебралната циркулација. Клиничкото значење на CPR е особено изразено кај пациенти со исхемичен мозочен удар, трауматска повреда на мозокот и други акутни невроинтензивни состојби, каде континуираното мониторирање е од суштинско значење за превенција на секундарно мозочно оштетување [48].

3.4. Ембрионален развој на церебралните крвни садови

Развојот на церебралните крвни садови претставува високо комплексен и строго организиран ембриолошки процес кој започнува рано во ембриогенезата, а продолжува со значајни структурни и функционални промени и во постнаталниот период. Овој процес е тесно поврзан со развојот на невралната цевка и формирањето на примарната циркулаторна мрежа на ембрионот [55]. Церебралната васкуларизација започнува околу третата гестациска недела (приближно 21-ви ден), паралелно со иницијалната органогенеза, при што ендотелните клетки и крвните елементи потекнуваат од мезодермот. Во оваа фаза се воспоставува примитивна васкуларна мрежа преку процесите на васкулогенеза и ангиогенеза, кои овозможуваат основна перфузија на развојните ткива. Во раниот ембрионален период, внатрешната каротидна артерија (*arteria carotis interna*) се развива од третата брахијална (фарингеална) артерија околу 24-тиот ден од гестацијата. До приближно 28-миот ден, таа се диференцира на предна и задна гранка. Задната гранка учествува во формирањето на транзиторни ембрионални анастомози, вклучувајќи

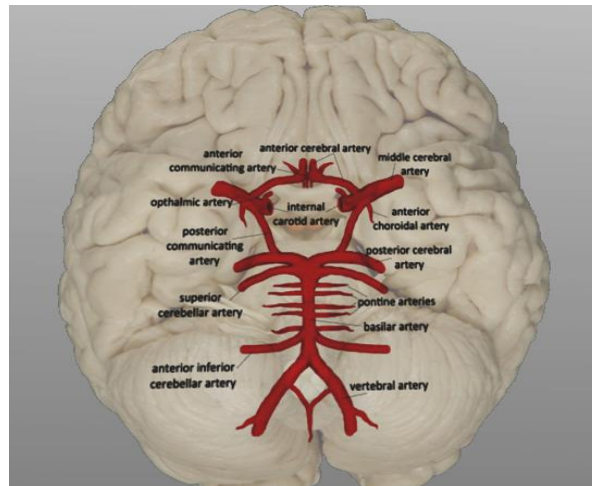
тригеминална, отична, хипоглосална и проатлантска артерија, кои привремено ја обезбедуваат перфузијата на задната циркулација на мозокот. Овие ембрионални артериски структури имаат преодна функција и постепено регресираат со развојот на трајната задната циркулација. Паралелно, се воспоставува перманентниот вертебробазиларен систем преку развојот на задната комуникантна артерија и формирањето на базиларната артерија, која се создава со фузија на примитивни ембрионални васкуларни канали долж вентралната површина на мозочното стебло. Меѓу 33-тиот и 55-тиот ден од ембрионалниот развој, вертебралните артерии се формираат преку анастомозирање на цервикалните интерсегментални артерии. Овој процес започнува од проатлантската артерија и се шири краниокаудално до нивото на шестата интерсегментална артерија. Првичните интерсегментални артерии регресираат, додека седмата интерсегментална артерија перзистира и ја формира субклависката артерија, која се поврзува со примитивната вертебрална артерија. На тој начин се воспоставува континуитет на вертебробазиларниот систем и се создава функционалната задна церебрална циркулација. Ембриолошките нарушувања во овие процеси можат да резултираат со различни анатомски варијации, вклучувајќи хипоплазија на вертебралните артерии, варијации на базиларната артерија, аневризматски промени и други конгенитални васкуларни абнормалности, кои имаат значајно клиничко и хемодинамичко влијание. Во раниот постнатален период продолжуваат значајни молекуларни и функционални промени во церебралната васкулатура. Ендотелните клетки започнуваат експресија на Р-гликопротеин, кој игра клучна улога во формирањето и одржувањето на крвно-мозочната бариера. Истовремено, васкуларните мазни мускулни клетки развиваат контрактилни протеини (актин и миозин-11), што овозможува постепена контрола на васкуларниот тонус и регулација на церебралниот проток на крв. Кај возрасен човек, церебралниот проток на крв изнесува приближно 750 ml/min, што претставува околу 15–20% од срцевиот минутен волумен. Со стареењето, овој процент постепено се намалува, и покрај релативно стабилниот срцев минутен волумен. Церебралната перфузија е строго регулирана за да ги задоволи метаболичките потреби на мозочното ткиво. Намалување на церебралниот проток под 18–20 ml/100 g/min доведува до функционална исхемија, додека вредности под 8–10 ml/100 g/min резултираат со неповратно

невронско оштетување. Спротивно, прекумерната перфузија (хиперемиа) може да доведе до зголемен интракранијален притисок и секундарно оштетување на мозочното ткиво. Церебралниот проток на крв зависи од повеќе хемодинамски и реолошки фактори, вклучувајќи ја вискозноста на крвта, дијаметарот на крвните садови и церебралниот перфузиски притисок (CPP). CPP се дефинира како разлика помеѓу средниот артериски притисок (MAP) и интракранијалниот притисок (ICP). Кај здрави индивидуи, CPP обично изнесува >50 mmHg, додека ICP нормално е <15 mmHg; вредности над 20 mmHg се сметаат за интракранијална хипертензија. Церебралните крвни садови одржуваат стабилен проток преку механизам на авторегулација, при што зголемен артериски притисок предизвикува вазоконстрикција, а намален притисок вазодилатација. Дополнително, церебралните артериоли реагираат на хемиски стимули, особено на CO_2 , при што хиперкапнијата предизвикува вазодилатација, а хипокапнијата вазоконстрикција. Формирањето на ВБС се комплетира со перзистенцијата на седмата интерсегментална артерија, која ја формира субклависката артерија и воспоставува анатомски и функционален континуитет со ВА(вертебралната артерија), со што се создава зрелата задна циркулација на мозокот [56].

3.5. Клиничко значење на васкуларниот систем

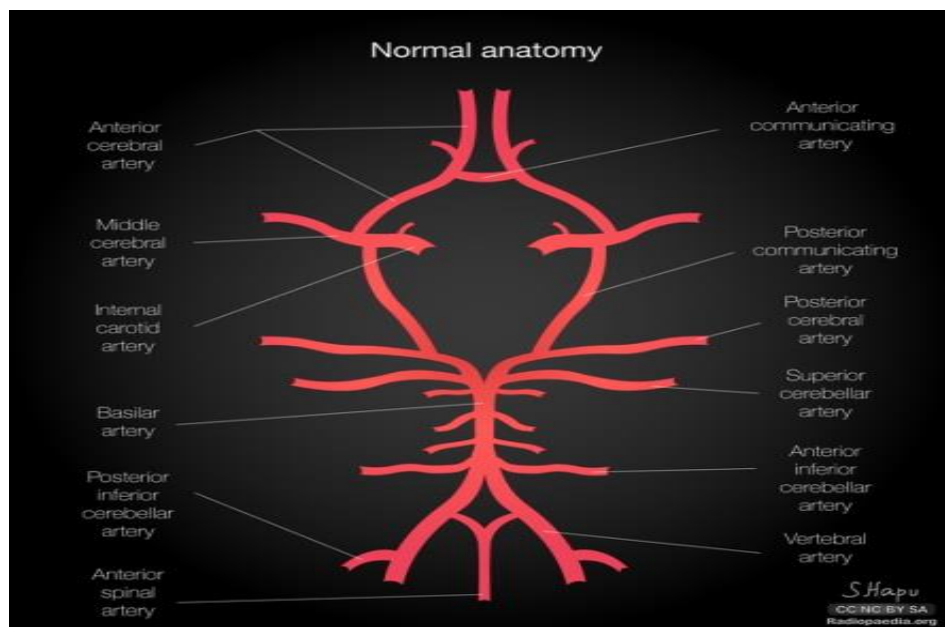
Клиничкото значење на церебралниот васкуларен систем се огледа во неговата улога во патофизиологијата на акутните и хроничните цереброваскуларни заболувања. Нарушувањето на артерискиот и венскиот интегритет доведува до регионални или глобални нарушувања на церебралната перфузија, со директни последици врз невронската функција и преживување на мозочното ткиво. Во акутниот исхемичен мозочен удар, степенот на невролошки дефицит во голема мера зависи од времетраењето на хипоперфузијата и ефикасноста на колатералната циркулација. Добро развиените колатерални патишта можат привремено да го одржат церебралниот проток и да ја забават прогресијата на инфарктното јадро, што е од клучно значење за успешна реперфузиона терапија [57,58]. Кај хеморагичните цереброваскуларни заболувања, како интрацеребрална и субарахноидална хеморагија, доаѓа до секундарно нарушување на церебралната перфузија поради мас-ефект, зголемен интракранијален

притисок и оштетување на микроциркулацијата, што може да резултира со глобална церебрална дисфункција и висок морбидитет [59,60]. Хроничните васкуларни промени, особено кај артериска хипертензија, предизвикуваат ремоделирање на церебралните артериоли со намалување на нивната еластичност и лумен. Овие промени доведуваат до намалена васкуларна резерва, хронична хипоперфузија и зголемен ризик за лакунарни инфаркти, церебрална микроангиопатија и когнитивен пад [61].



Слика 6:Вертебробазиларен систем (Слика од Dr. S Bhimji MD)

Figure 6: Vertebrobasilar system (Image by Dr. S Bhimji MD)



Слика 7: Илустрации на вообичаените варијанти на кругот на Вилис. Radiopaedia, Јули 16 2026

Figure 7: Illustrations of the common variants of the circle of willis. Radiopaedia, Jul 16 2026

4. ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА (ARTERIA VERTEBRALIS) - АНАТОМСКА ОРГАНИЗАЦИЈА И КЛИНИЧКО-АНАТОМСКО ЗНАЧЕЊЕ

Вертебралната артерија (*arteria vertebralis*) претставува една од двете главни гранки на субклавијалната артерија и има клучна улога во формирањето на вертебро-базиларниот систем. Таа се дели на четири анатомски сегменти (V1–V4), со јасни топографски и функционални карактеристики.

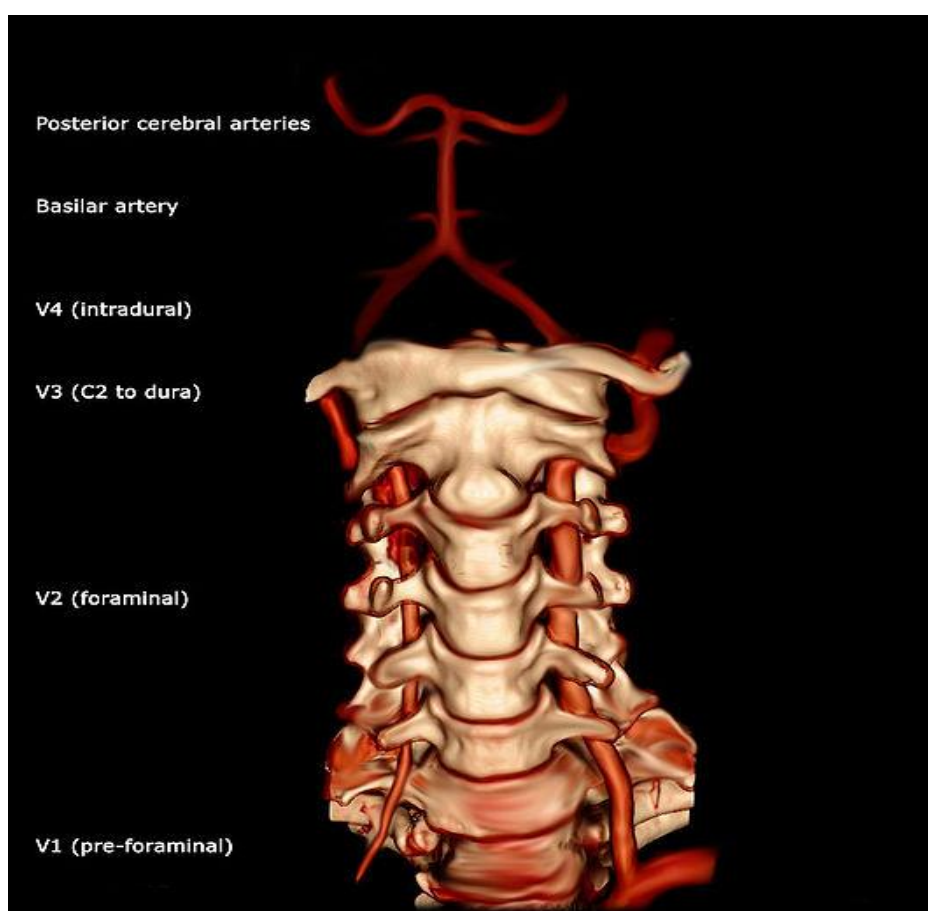
4.1. V1- префораминален сегмент:Потекнува од субклавијалната артерија и се движи постериорно, помеѓу *m. scalenus anterior* и *m. longus colli*, сè до влезот во трансверзалните отвори.

4.2. V2- фораминален сегмент:Влегува најчесто на ниво C6 и се искачува вертикално низ трансверзалните отвори на цервикалните пршлени до C2. Во овој сегмент е придружена од венски плексус и симпатички нервни влакна.

4.3. V3- атлантен сегмент:По излегување од C2, артеријата се движи латерално и постериорно, формирајќи изразена кривина над задниот лак на атласот, минува низ субокципиталниот триаголник и се подготвува за влез во кранијалната празнина.

4.4. V4- интракранијален сегмент:По влегување преку *foramen magnum*, вертебралната артерија дава важна гранка — задната инфериорна церебеларна артерија (PICA). Потоа се насочува кон вентралната површина на медула облонгата, каде се спојува со контралатералната вертебрална артерија и ја формира базиларната артерија. Интракранијално, вертебралната артерија дава цервикални, спинални и медуларни гранки, вклучувајќи придонес кон предната спинална артерија, кои имаат клучна улога во перфузијата на 'рбетниот мозок и долните делови на мозочното стебло [66,67]. Анатомско-функционалната организација на вертебробазиларниот систем претставува критичен детерминант на церебралната хемодинамика, особено во задната циркулација. Значајната интер-индивидуална варијабилност во дијаметарот, симетријата и траекторијата на вертебралните артерии има директни последици врз регионалната перфузија и може да претставува предиспонирачки фактор за хемодинамски компромис и исхемични

цереброваскуларни настани [68]. Во оваа смисла, прецизното познавање на морфолошките карактеристики на вертебробазиларниот систем е од суштинско значење не само за дијагностичка стратификација на ризик, туку и за оптимално планирање и изведување на неврохируршки и ендоваскуларни интервенции, каде варијабилната анатомија може да претставува значаен технички и безбедносен предизвик. Современите неинвазивни имиджинг модалитети, особено СТ-ангиографијата и MR-ангиографијата, овозможуваат високоразрешувачка тридимензионална реконструкција на васкуларната архитектура, со што значително се унапредува проценката на церебралната перфузија и хемодинамичкиот статус [69].



Слика 8. Веребрална артеријај. Radiopaedia .20 November 2025

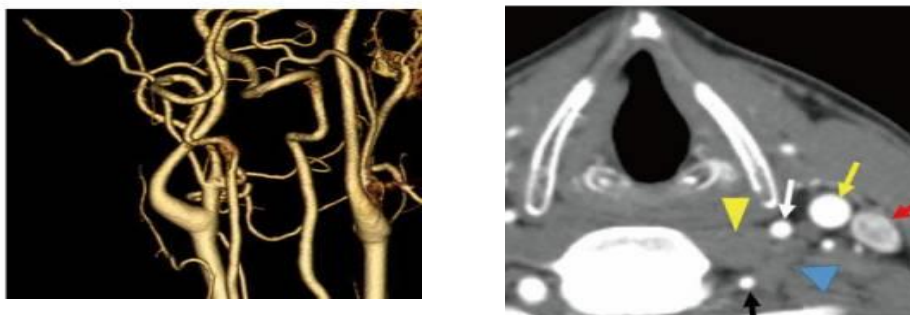
Figure 8. Vertebral artery Radiopaedia .20 November 2025

4.5. Ембриогенеза на Вертебралната Артерија (arteria vertebralis -AV)

Ембриогенезата на вертебралната артерија претставува комплексен и строго координиран васкулогенетски процес кој се одвива помеѓу петтата и осмата гестациска недела. Вертебралната артерија се формира преку лонгитудинална анастомоза на цервикалните интерсегментални артерии, кои потекнуваат од дорзалната аорта [70]. Во текот на ембрионалниот развој, првите шест цервикални интерсегментални артерии постепено регресираат проксимално, додека нивните дистални делови се поврзуваат и формираат континуиран артериски канал. Седмата интерсегментална артерија перзистира и учествува во формирањето на субклавијалната артерија, преку која се воспоставува дефинитивната врска со вертебралната артерија. Нормалниот развој на вертебралната артерија е од суштинско значење за формирање на вертебробазиларниот систем и задната церебрална циркулација. Нарушувањата во процесите на анастомоза, регресија и васкуларно ремоделирање можат да доведат до различни анатомски варијации, како хипоплазија, асиметрија, аберантно потекло, дупликација или перзистирачки ембриолошки анастомози, кои имаат значајно клиничко и хемодинамско значење [71].

5.0. АНАТОМСКИ И МОРФОЛОШКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВЕРТЕБРАЛНИТЕ АРТЕРИИ

Вертебралните артерии покажуваат значајна морфолошка варијабилност во однос на дијаметарот, симетријата, текот и нивото на влез во трансверзалните отвори на цервикалните пршлени. Овие варијации се резултат на ембриолошкиот развој и васкуларното ремоделирање и имаат важно клиничко и хемодинамско значење. Најчеста варијација е асиметријата на вертебралните артерии, при што една артерија е доминантна, а контралатералната може да биде хипопластична. Хипоплазијата на вертебралната артерија се среќава кај значителен дел од популацијата и е поврзана со намален проток и зголемен ризик за вертебробазиларна инсуфициенција и исхемични настани во задната циркулација. Варијации се забележуваат и во нивото на влез на артеријата во foramen transversarium, најчесто на ниво C6, но можни се и влезови на C4, C5 или C7. Овие особености имаат значење при хируршки и ендоваскуларни процедури на цервикалниот регион. Поретко се среќаваат дупликација, фенестрација, сегментална агенезија и аберантно потекло на вертебралната артерија. Иако најчесто се асимптоматски, овие варијации се важни поради нивната поврзаност со хемодинамски промени, аневризми и потенцијални интервенциски компликации [72,73].



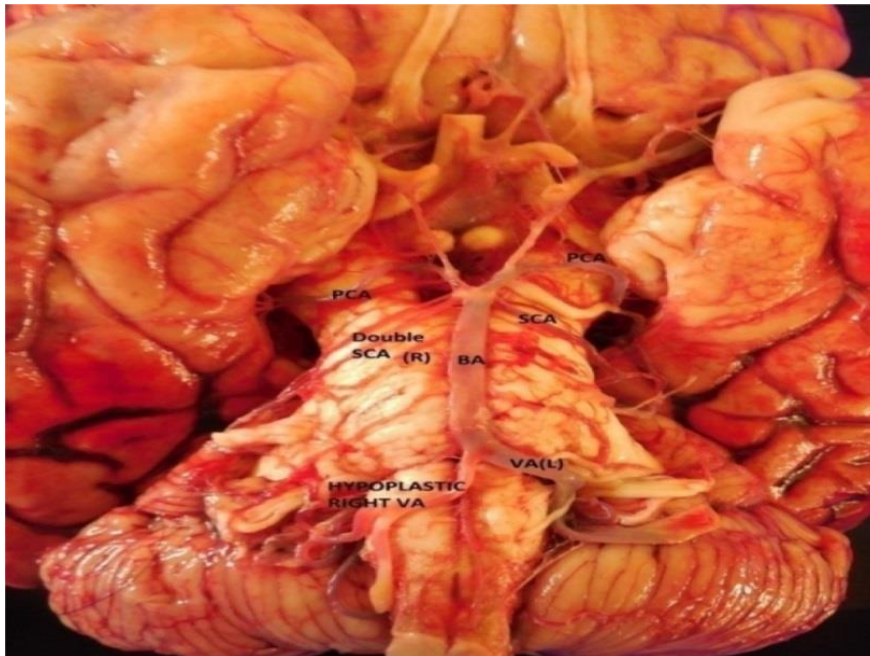
Слика 9: Дупликација на потеклото на левата вертебрална артерија (магнетно-резонантна ангиограма не е прикажана). Реконструираната компјутеризирана томографска (КТ) ангиографија покажува лева дуплирана вертебрална артерија (ВА) што потекнува од левата субклавијална артерија и аортниот лак (А: жолта стрелка, медијален крак на левата дуплирана ВА; бела стрелка, латерален крак на левата дуплирана ВА). Медијалниот крак на дуплираната ВА се наоѓа помеѓу долгиот мускул на коли и предниот скален мускул (Б: црна стрелка, латерален крак на левата дуплирана ВА; бела стрелка, медијален крак на левата ВА, црвена стрелка, лева внатрешна југуларна вена; жолта стрелка, лева заедничка каротидна артерија; жолта стрелка, долг мускул на коли; сина стрелка, преден скален мускул).

Figure 9: Duplication of the left vertebral artery (magnetic resonance angiogram not shown).

5.1. ХИПОПЛАЗИЈА НА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА

Хипоплазијата на вертебралната артерија претставува конгенитална морфолошка варијација на ВБС, дефинирана со перзистентно намален луменски дијаметар на една од вертебралните артерии, најчесто под прагот од 2.0–2.5 mm. Оваа анатомска варијанта се среќава релативно често и во голем број случаи се идентификува инцидентно при неинвазивни имиџинг испитувања на церебралната циркулација, особено при СТ-ангиографија и MR-ангиографија [74]. Иако хиперп-лазија на вертебралната артерија традиционално се смета за бенигна анатомска варијација, современите хемодинамички модели и клинички студии укажуваат дека таа може да претставува значаен модулатор на церебралната перфузија во задната циркулација. Намалениот калибар на засегнатата артерија ја ограничува нејзината хемодинамска резерва и ја намалува способноста за компензација при зголемени перфузиски барања или при контралатерална стеноза/оклузија. Во присуство на дополнителни васкуларни ризик-фактори, како атеросклероза, артериска хипертензија, дијабетес мелитус, дислипидемија и хиперкоагулабилни состојби, хиперп-лазија на вертебралната артерија може да придонесе кон функционален хемодинамски дисбаланс на вертебробазиларниот систем, со последователно зголемен ризик за исхемични настани во задната церебрална циркулација. Хемодинамската релевантност на хиперплазија на вертебралната артерија се објаснува преку редуциран проточен капацитет и намалена колатерална компензација, што може да доведе до регионална хипоперфузија, особено во услови на динамички или фиксни стенотични промени во доминантната вертебрална артерија или базиларната артерија. Дополнително, се претпоставува дека хронично намалениот проток може да индуцира ендотелна дисфункција и да промовира локални атеротромботични процеси [75]. Епидемиолошките податоци покажуваат зголемена застапеност на НВА кај пациенти со исхемичен мозочен удар во задната циркулација, вклучително и кај помлади пациенти без значајно изразена системска атеросклероза, што ја поддржува хипотезата за нејзината независна или ко-факторска улога во цереброваскуларната патофизиологија. Од клинички аспект, идентификацијата на НВА има значајна дијагностичка и прогностичка вредност, особено кај пациенти со симптоми на вертебробазиларна инсуфициенција, вклучувајќи вртоглавица, атаксија, постурална нестабилност, визуелни нарушувања и

транзиторни исхемични епизоди. Поради тоа, прецизното препознавање на оваа варијација е од суштинско значење во современата неврорадиологија, васкуларна неврологија и предоперативно планирање на ендоваскуларни и неврохируршки интервенции [76].



Слика 10: Хипоплазија на десната вертебрална артерија: десната вертебрална артерија е хипопластична во споредба со левата вертебрална артерија.

Дупликација на горната церебеларна артерија се гледа од десната страна.

Користени кратенки: VA(L): лева вертебрална артерија; BA: базиларна артерија; SCA: горна церебеларна артерија; PCA: задна церебрална артерија. Американски журнал за неврологија. Анатомски варијанти на церебрални артерии. Anatomical variants of cerebral arteries | Stroke Manual

Figure 10: Hypoplasia of the right vertebral artery: the right vertebral artery is hypoplastic compared with the left vertebral artery. Duplication of the superior cerebellar artery is seen from the right side. Abbreviations used: VA(L): left vertebral artery; BA: basilar artery; SCA: superior cerebellar artery; PCA: posterior cerebral artery. American Journal of Neurology. Anatomical variants of cerebral arteries. Anatomical variants of cerebral arteries | Stroke Manual

5.2. КЛИНИЧКИ,ЕМБРИОЛОШКИ И МОРФОЛОШКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВЕРТЕБРАЛНИТЕ АРТЕРИИ (ARTERIAE VERTEBRALES)

5.3. Асиметрија во дијаметарот на вертебралните артерии

Асиметријата во дијаметарот на вертебралните артерии (arteriae vertebrales – VA) претставува една од најчестите анатомски варијации во рамките на вертебробазиларниот систем. Таа се карактеризира со доминација на една артерија, додека контралатералната покажува редуциран калибар или хипопластични карактеристики. Во најголем дел од случаите левата вертебрална артерија е поголема по дијаметар во споредба со десната [70]. Оваа варијабилност се поврзува со индивидуални ембриолошки и хемодинамички фактори, како и со адаптивни промени на церебралните потреби за проток [71]. Во литературата постојат различни дијагностички критериуми за дефинирање на доминантна вертебрална артерија, при што најчесто се користи апсолутна разлика ≥ 0.3 mm или релативна разлика $\geq 30\%$ меѓу двете артерии. Од функционален аспект, асиметријата може да влијае врз распределбата на протокот во задната циркулација и да биде поврзана со нарушена колатерална компензација и зголемен ризик од исхемични настани [72].

5.4. Ембриолошки развој и агенезија на вертебралната артерија

Ембриолошкиот развој на вертебралните артерии претставува сложен процес кој започнува преку формирање и фузија на цервикалните интерсегментални артерии од дорзалната аорта. Вертебралната артерија се формира преку лонгитудинални анастомози на првите седум цервикални интерсегментални артерии [73]. Нарушувањата во процесите на регресија и перзистенција резултираат со различни анатомски варијации, вклучувајќи атипично потекло, аберантен тек и двојно потекло на артеријата [74]. Агенезијата на вертебралната артерија претставува ретка конгенитална аномалија која се карактеризира со целосно отсуство на артеријата. Иако најчесто е асимптоматска, може да биде клинички значајна при присуство на дополнителни васкуларни ризик-фактори и да доведе до симптоми на вертебробазиларна инсуфициенција.

5.5. **Тортуозност**, ремоделирање на foramen transversarium и долихоектазија

Тортуозноста на вертебралната артерија претставува релативно честа морфолошка варијација која може да биде конгенитална или стекната. Во одредени случаи хроничната извитканост може да доведе до ремоделирање и проширување на foramen transversarium. Вертебробазиларната долихоектазија претставува васкуларна аномалија карактеризирана со издолжување, дилатација и тортуозност на вертебробазиларниот систем. Таа може да предизвика компресија на мозочното стебло и кранијалните нерви, како и нарушувања на церебралната хемодинамика [75].

5.6. **Абнормален влез на вертебралната артерија во foramen transversarium**

Во нормални услови вертебралната артерија влегува во foramen transversarium на ниво C6. Сепак, варијабилен влез на ниво C5, C4, C7, а ретко и C3, е документиран во значителен процент од популацијата [76]. Овие варијации се ембриолошки условени и имаат особена важност при хируршки и ендоваскуларни процедури поради зголемен ризик од јатрогени васкуларни повреди [77].

5.7. **Морфолошки варијации според потекло, тек и структура на Вертебрална артерија**

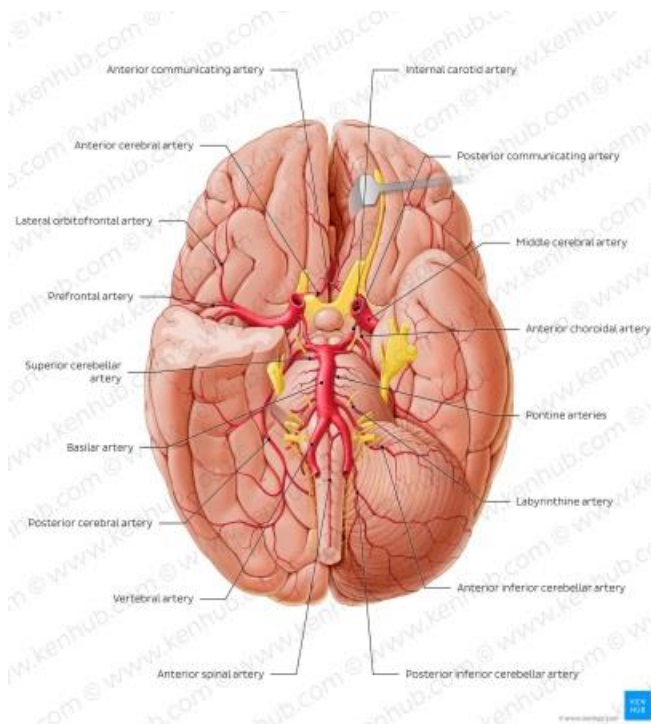
Најчестата варијација се однесува на потеклото на вертебралната артерија. Иако вообичаено потекнува од arteria subclavia, левата вертебрална артерија може директно да произлегува од arcus aortae, што има значајни ембриолошки и клинички импликации. Ретки варијанти вклучуваат двојно потекло (duplication), при што артеријата има две независни проксимални гранки кои се спојуваат на различни нивоа. Оваа варијација може да симулира патолошки состојби при ангиографска интерпретација.

- **Морфолошки и хемодинамски карактеристики**

Вертебралните артерии покажуваат значајна интериндивидуална варијабилност во дијаметарот, должината и симетријата. Просечниот интракранијален дијаметар изнесува околу 3 mm, при што левата артерија најчесто е доминантна. Поретки варијации, како атлантен аркуатен форамен, дупликација и фенестрација, имаат потенцијално клиничко значење поради можноста за компресија, дисекција или тромбоемболиски компликации

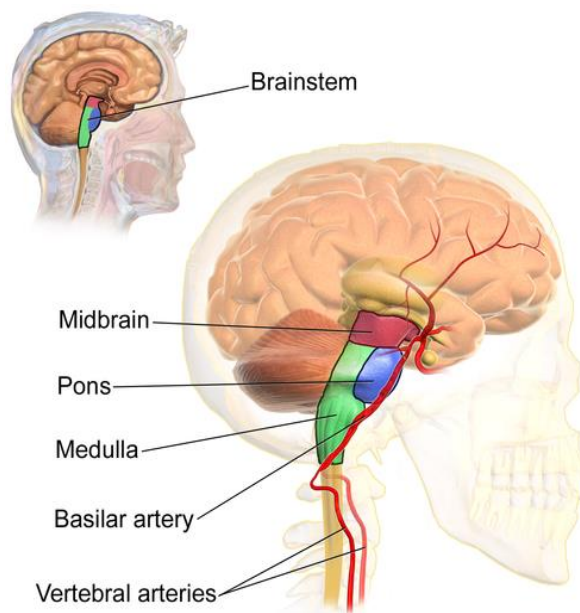
6. БАЗИЛАРНА АРТЕРИЈА (Arteria Basilaris – АВ)

Базиларната артерија (arteria basilaris-AB) претставува централна артериска структура на вертебробазиларниот систем и се формира со спојување на двете вертебрални артерии на ниво на понтомедуларната граница. Таа е непарна срединска артерија која се движи антеросупериорно по базиларниот сулкус на понсот до понтомезенцефалниот спој и претставува главен сад на задната церебрална циркулација. Заедно со нејзините гранки го формира вертебробазиларниот систем [84]. Базиларната артерија обезбедува клучна перфузија на мозочното стебло, малиот мозок и делови од задната циркулација преку нејзините терминални гранки – двете задни церебрални артерии (PCA). По својот тек дава парамедијални и циркумферентни понтински артерии, предна инфериорна церебеларна артерија (AICA) и горна церебеларна артерија (SCA), кои се клучни за васкуларизацијата на понсот и церебелумот. Лабиринтската артерија најчесто потекнува од AICA и учествува во снабдување на внатрешното уво. Задната инфериорна церебеларна артерија (PICA) најчесто потекнува од вертебралната артерија [78]. Во својот терминален дел, базиларната артерија се дели на двете задни церебрални артерии (PCA), со што се комплетира задната церебрална циркулација. Преку задните комуникантни артерии воспоставува врска со Willis-овиот круг, овозможувајќи колатерална перфузија помеѓу каротидниот и вертебробазиларниот систем [79].



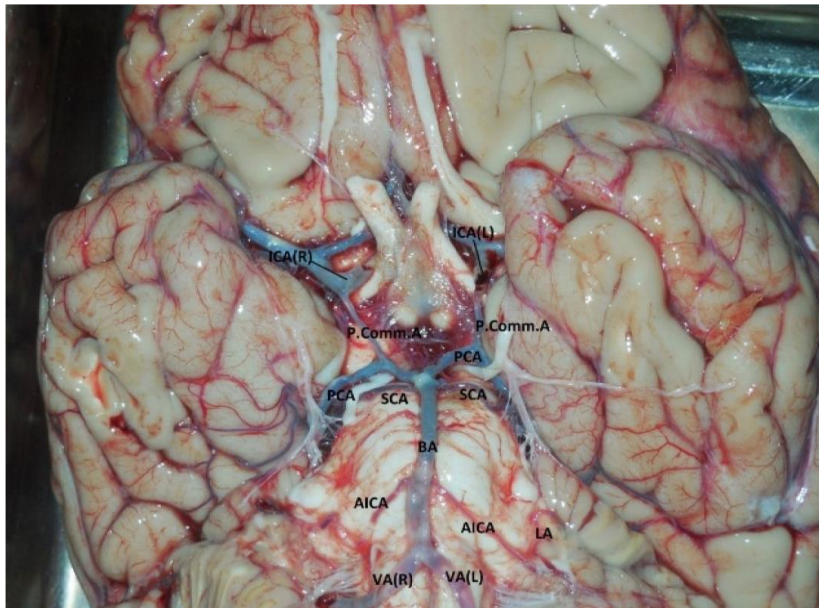
Слика 11: Базиларна артерија, нејзините гранки и други артерии на мозокот. Kenhub. Basilar artery: Anatomy, course and branches. Accessed June 2026.

Figure 11 :Basilar artery: Anatomy, course and branches. Kenhub. Basilar artery: Anatomy, course and branches. Accessed June 2026.



Слика 12: Базиларната артерија. Physiopedia. Brainstem [Internet]. Jun 2026.

Figura 12: Basilar artery. Physiopedia. Brainstem [Internet]. Jun 2026.



Слика 13: нормална варијанта на базиларната артерија и нејзините гранки во основата на мозокот. Се наоѓа на вентралниот дел од понсот во плиток среден жлеб наречен базиларен сулкус. Користени кратенки: VA(R): Десна вертебрална артерија; VA(L): Лева вертебрална артерија; BA: базиларна артерија; AICA: предна долна церебеларна артерија; LA: лабиринтна артерија; SCA: горна церебеларна артерија; PCA: задна церебрална артерија; P.Comm.A: задна комуникантна артерија; ICA(R): десна внатрешна каротидна артерија; ICA(L): лева внатрешна каротидна артерија. Wikipedia July 2025

Figure 13: A specimen showing normal variant of basilar artery and its branches at the base of brain. It is situated on the ventral aspect of pons in a shallow median groove called basilar sulcus. Abbreviations used: VA(R): Right vertebral artery ;VA(L): Left vertebral artery; BA: basilar artery; AICA: anterior inferior cerebellar artery; LA: labyrinthine artery; SCA: superior cerebellar artery; PCA: posterior cerebral artery; P.Comm.A: posterior communicating artery; ICA(R): right internal carotid artery; ICA(L): left internal carotid artery. Wikipedia July 2025

6.1. КЛИНИЧКИ И МОРФОЛОШКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА БАЗИЛАРНА АРТЕРИЈА

Дијаметарот на базиларната артерија кај возрасни најчесто изнесува 2,5–3,5 mm, со просечна вредност околу 3,0 mm. Машките пациенти имаат тенденција за нешто поголем калибар во споредба со женските. Зголемување на дијаметарот над 4,5 mm се дефинира како базиларна ектазија или долихоектазија, состојба поврзана со зголемен ризик за исхемични настани и компресивен ефект врз мозочното стебло [80]. Морфологијата на базиларната артерија (должина, калибар и бифуркациски агол) има значајна клиничка важност при проценка на ризикот од задноциркулаторни мозочни удари и при планирање на ендоваскуларни и неврохируршки интервенции. Клиничките лезии на базиларната артерија можат да доведат до сериозни невролошки синдроми, вклучувајќи нарушување на свеста, кранијални нервни дефицити, церебеларна дисфункција и тешки моторно-сензорни нарушувања, често со висок степен на морбидитет [81].

6.2. Структура, гранки и функција на базиларната артерија

Базиларната артерија е непарна срединска артерија формирана со спојување на вертебралните артерии. Таа претставува главен сад на задната циркулација и терминално се дели на двете задни церебрални артерии. По својот тек дава повеќе важни гранки, вклучувајќи парамедијални и циркумферентни понтински артерии, како и церебеларни гранки кои учествуваат во васкуларизацијата на мозочното стебло и малиот мозок [82,83]. Предната инфериорна церебеларна артерија (AICA) најчесто потекнува од средниот сегмент на базиларната артерија и го снабдува латералниот понс и инфериорниот дел на малиот мозок, при што лабиринтната артерија често потекнува од неа. Горната церебеларна артерија (SCA) се одвојува непосредно проксимално од терминалната бифуркација и го васкуларизира супериорниот дел на малиот мозок и делови од средниот мозок. Во терминалниот дел, базиларната артерија се дели на двете задни церебрални артерии (PCA), кои преку задните комуникантни артерии воспоставуваат врска со каротидниот систем и учествуваат во формирањето на Willis-овиот круг [83].

6.3. Ембриолошки развој на базиларната артерија

Базиларната артерија се развива во раниот ембрионален период од дорзалните лонгитудинални артерии и транзиторните каротидно-вертебробазиларни анастомози. Во текот на ембриогенезата се јавуваат привремени артериски врски (тригеминална, хипоглосална и проатлантска артерија), кои постепено регресираат додека се формира стабилен вертебробазиларен систем. Околу четвртата гестациска недела се формира примитивен базиларен артериски канал преку спојување на дорзалните артерии, кој подоцна се интегрира со вертебралните артерии и Willis-овиот круг [84,85]. Зрелата базиларна артерија се позиционира во базиларниот сулкус на понсот и има блиски анатомски односи со кранијалните нерви, особено со п. abducens, што има значајно клиничко и неврохируршко значење [86,87].

6.4. МОРФОЛОШКИ ВАРИЈАЦИИ НА БАЗИЛАРНА АРТЕРИЈА

6.5. Долихоектазија на базиларната артерија

Долихоектазијата на базиларната артерија (arteria basilaris – BA) претставува хронична васкуларна аномалија која се карактеризира со дилатација, издолжување и изразен тортуозитет на артеријата. Терминот *dolichoectasia* потекнува од грчките зборови *dolichos* (издолжен) и *ektasis* (проширување), што ја опишува морфолошката природа на оваа состојба. Најчесто се јавува кај постари пациенти и е поврзана со артериска хипертензија, атеросклероза и дегенеративни промени на васкуларниот сид [88]. Патофизиолошки, долихоектазијата настанува како резултат на прогресивно структурно слабеење на медијата на артерискиот сид, што доведува до дилатација, издолжување и извиткување на артеријата. Овие промени предизвикуваат нарушена хемодинамика со турбулентен проток и зголемен механички притисок врз околните невроваскуларни структури [89]. Радиолошки, дијагнозата се базира на зголемен дијаметар на базиларната артерија ($>4,5$ mm), како и проценка на нејзината должина, латерална девијација и степен на тортуозитет. Во потешки случаи, артеријата може значително да отстапи од средната линија и да предизвика компресија на мозочното стебло и кранијалните нерви. Клиничката презентација е варијабилна и зависи од степенот на анатомска деформација. Најчести симптоми се вртоглавица, нестабилност, дизартрија, дисфагија,

диплопија, атаксија, тинитус, слабост на екстремитетите и транзиторни исхемични атаки или инфаркти во задната циркулација. Механизмите на невролошка симптоматологија вклучуваат компресија на мозочното стебло, компресија на кранијалните нерви, нарушена перфузија преку перфорантните гранки и емболиски или хемодинамски исхемични настани [90,91]. Особено значајна е компресијата на VIII кранијален нерв, која може да доведе до вестибуларни нарушувања, додека зафатеноста на V, VII и IX нерв може да предизвика невралгии, фацијална слабост и дисфагија [92-96]. Долихоектазијата не е поврзана само со исхемични, туку и со хеморагични компликации. Поради хронична дегенерација на васкуларниот сид, постои зголемен ризик од формирање на аневризми, микроруптури и интракранијални крварења. Дијагнозата се поставува со компјутерска томографска ангиографија (СТА), магнетнорезонантна ангиографија (МРА) и дигитална субтракциона ангиографија (DSA), кои овозможуваат прецизна проценка на морфологијата и односот со околните структури. Третманот е главно конзервативен и вклучува контрола на артериската хипертензија, анти тромботска терапија и редовно следење. Хируршки и ендоваскуларни интервенции се ретки и се применуваат само во селектирани случаи поради комплексната анатомија на задната циркулација. Раното препознавање на оваа состојба е од големо клиничко значење, бидејќи овозможува превенција на сериозни невролошки и васкуларни компликации [97-101].

6.6. Дупликација и фенестрација на базиларна артерија

Фенестрацијата на базиларната артерија (*arteria basilaris*) претставува конгенитална васкуларна аномалија која настанува поради непотполна фузија на ембрионалните лонгитудинални артериски сегменти во текот на развојот на вертебробазиларниот систем. Морфолошки, таа се карактеризира со сегментална поделба на артерискиот лумен на два паралелни ендотелизирани канали, кои проксимално и дистално повторно се спојуваат во единствен артериски сад. Фенестрацијата претставува најчеста интракранијална артериска фенестрација и една од најчестите конгенитални аномалии на базиларната артерија. Во зависност од степенот на изразеност, може да варира од минимална септација до речиси

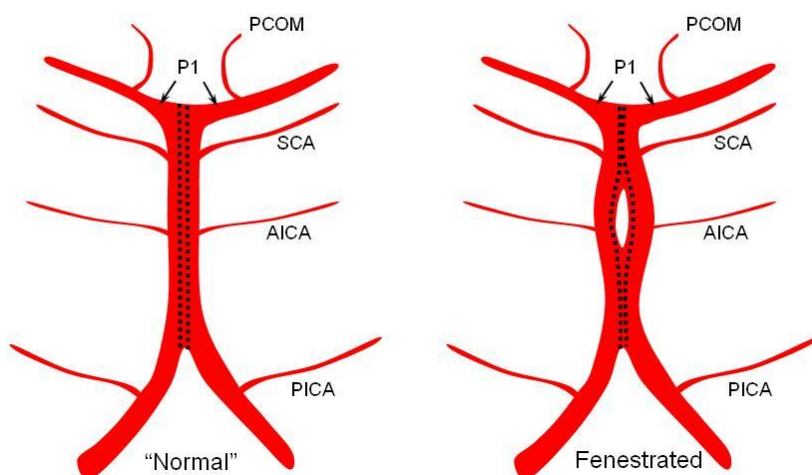
комплетна дупликација на артерискиот сегмент. Најчесто се локализира во инфериорниот сегмент на базиларната артерија, во регијата на вертебробазиларната спојка. Постморталните студии покажуваат преваленца до 6%, додека ангиографската застапеност се движи помеѓу 0,04–0,6%, што укажува дека голем дел од случаите остануваат асимптоматски и недијагностицирани [102-109]. Комплетната дупликација на базиларната артерија претставува исклучително ретка варијанта, при која двете вертебрални артерии продолжуваат без целосна фузија и формираат два независни артериски канали. Оваа состојба најчесто се открива инцидентно при CTA, MRA или DSA испитувања. Клиничкото значење произлегува од променетата хемодинамика и турбулентниот проток, што може да доведе до слабеење на васкуларниот сид и формирање на аневризми. Аневризмите најчесто се локализирани во вертебробазиларната спојка и имаат сакуларна морфологија. Дополнително, овие аномалии можат да бидат асоцирани со тромбоемболиски настани, исхемични инфаркти во задната циркулација и нарушување на перфорантните понтински гранки [110-111].



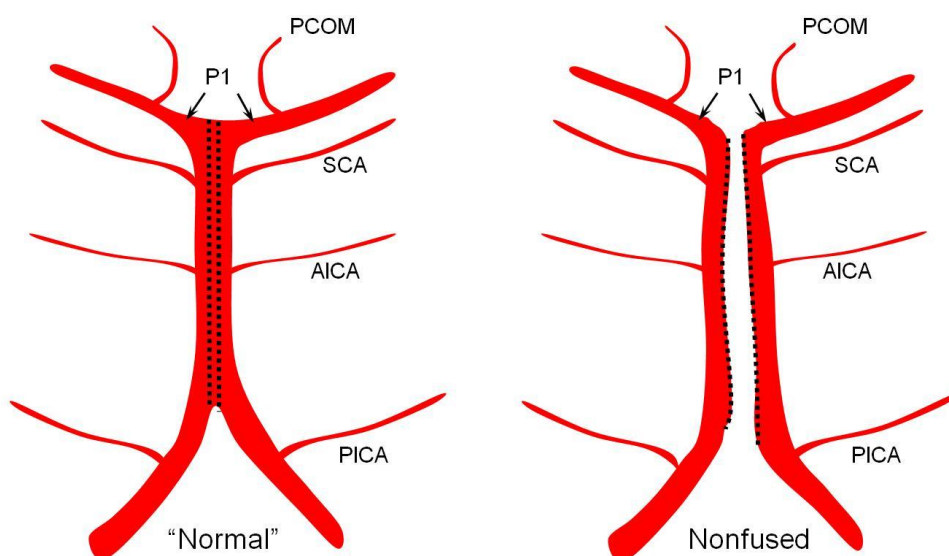
Слика 14. Фенестрација на базиларна артерија. fenestration .Radiopaedia. 22 Apr 2022

Figure 14. Fenestration of the basilar artery. fenestration .Radiopaedia. 22 Apr 2022

Basilar Fenestration



Longitudinal Basilar Nonfusion

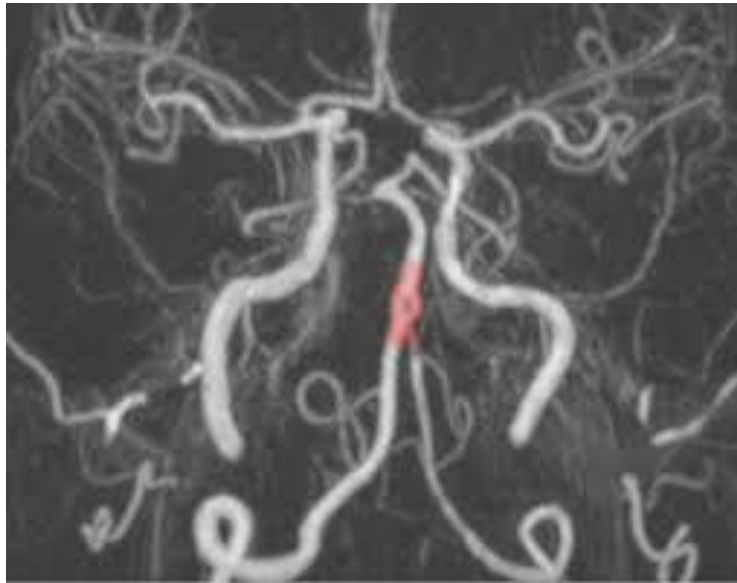


Слика 15: Морфолошки варијацији на arteria basilaris (различни форми и текови),адаптирано според Akar et al. Microsurgical anatomy of the cisternal segment of the basilar artery

and its branches. Neurosurgery. (1992).

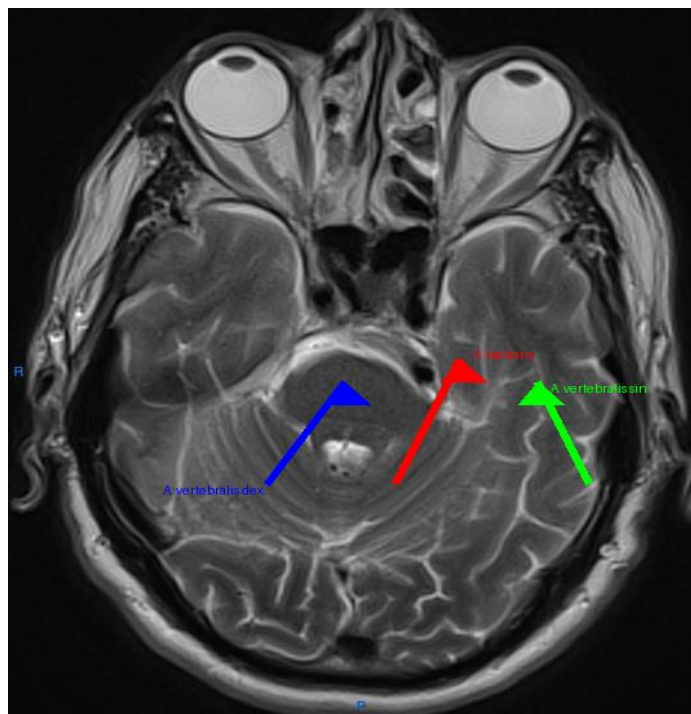
Figure 15: Morphological variations of the basilar artery (different forms and courses).adapted from

Akar et al. Microsurgical anatomy of the cisternal segment of the basilar artery and its branches. Neurosurgery. (1992).



Slika 16: Фенестрација на Базиларна Артерија. Radiopaedia ,22 Apr 2022

Figure 16. Fenestration of the basilar artery. fenestration .Radiopaedia. 22 Apr 2022



Слика 17: Базиларна артерија и нејзините гранки (адаптирано од Gray's Anatomy, Elsevier).

Figure 17: Basilar artery and its branches (adapted from Gray's Anatomy, Elsevier).

6.7. АНАТОМСКИ ВАРИЈАЦИИ НА КРУГОТ НА ВИЛИС

Целосно развиен Круг на Вилис се среќава кај помалку од половина од популацијата, што ја нагласува неговата висока анатомска варијабилност [129]. Најчестите варијации вклучуваат хипоплазија или аплазија на комуникациските артерии, асиметрија на предните и задните церебрални артерии и фенестрации на артериски сегменти. Особено значајна варијанта е феталниот тип на задната церебрална артерија (fetal PCA), при што PCA доминантно потекнува од внатрешната каротидна артерија. Овие варијации имаат значајно хемодинамичко влијание, бидејќи ја менуваат распределбата на протокот и ја намалуваат ефикасноста на колатералната компензација, што може да биде поврзано со зголемен ризик за исхемични настани и аневризматски промени [130].

6.8. Клиничко значење на Кругот на Вилис

Клиничкото значење на Кругот на Вилис произлегува од неговата способност за одржување на церебралната перфузија преку колатерална дистрибуција на крвниот проток. Кај анатомски комплетен круг се забележува поефикасна хемодинамска компензација при оклузивни васкуларни состојби [124]. Динамичката природа на протокот во рамките на Кругот на Вилис овозможува адаптација на церебралната циркулација кон локалните перфузиски потреби, што има заштитна улога во превенција на исхемични оштетувања [131,132]. Анатомските варијации се од особено значење во неврорадиологијата и неврохирургијата, бидејќи директно влијаат врз планирањето на ендоваскуларни и хируршки интервенции. Современите методи како CTA и MRA овозможуваат прецизна проценка на овие варијации и нивната клиничка релевантност [133,134]

6.9. АРТЕРИИ НА ЗАДНАТА ЦИРКУЛАЦИЈА НА МОЗОКОТ (CIRCULUS ARTERIOSUS POSTERIOR)

Задната церебрална циркулација претставува анатомски и функционално високо комплексен васкуларен систем кој обезбедува перфузија на средниот мозок (mesencephalon), понсот (pons), продолжениот мозок (medulla oblongata), малиот мозок (cerebellum), окципиталниот лобус и медијалните темпорални структури. Овој артериски систем има критична улога во одржување на виталните невролошки функции, вклучувајќи моторна координација, постурална стабилност, автономна регулација и визуелна обработка. Анатомски, задната циркулација е формирана од вертебралните артерии, базиларната артерија и нивните бројни гранки, меѓу кои најзначајни се задната инфериорна церебеларна артерија (PICA), предната инфериорна церебеларна артерија (AICA), супериорната церебеларна артерија (SCA), понтинските перфорирачки артерии и задните церебрални артерии (PCA). Вертебралните артерии се спојуваат на ниво на понтомедуларната јункција и ја формираат базиларната артерија, која терминално се дели на двете задни церебрални артерии. Во најголем процент од случаите (приближно 70%), задните церебрални артерии потекнуваат од базиларната артерија, додека во помал процент тие можат да произлезат од задната комуникациска артерија, што претставува значајна ембриолошка и клиничка варијација. Овој факт има директно влијание врз варијабилноста на колатералната циркулација во рамките на Willis-овиот круг. Задната циркулација е од посебно клиничко значење поради нејзината улога во васкуларизацијата на окципиталниот лобус, кој претставува центар за визуелна перцепција. Поради тоа, исхемичните нарушувања во овој систем често се манифестираат со визуелни дефицити, вртоглавица, атаксија, дизартрија и мозочно-стеблени синдроми. Околу 20–25% од сите церебрални инфаркти се локализирани во вертебробазиларниот систем. Функционалната интеграција помеѓу предната и задната циркулација се остварува преку Willis-овиот круг (circulus arteriosus cerebri Willisii), кој обезбедува колатерална перфузија при хемодинамски компромис или васкуларна оклузија. Од хемодинамски аспект, задната циркулација се карактеризира со релативно помал калибар на артериите, повисока анатомска варијабилност и значајно присуство на перфорирачки гранки кои директно го васкуларизираат мозочното

стебло. Овие карактеристики ја прават оваа циркулација особено чувствителна на хипоперфузија, емболиски настани и локални хемодинамски нарушувања. Современите дијагностички методи, вклучувајќи СТ-ангиографија (СТА), MR-ангиографија (MRA) и дигитална субтракциона ангиографија (DSA), овозможуваат детална визуелизација на анатомските варијации, патолошките промени и хемодинамските карактеристики на задната циркулација [112-116].

6.10. Однос на вертебробазиларниот систем со Кругот на Вилис (Circulus arteriosus cerebri)

Кругот на Вилис (circulus arteriosus cerebri Willisii) претставува клучен артериски анастомотски систем на базата на мозокот, кој воспоставува функционална врска помеѓу каротидната и вертебробазиларната циркулација. Во овој контекст, вертебробазиларниот систем ја формира задната компонента преку базиларната артерија и нејзините терминални гранки – задните церебрални артерии (PCA). Комуникацијата помеѓу двата циркулаторни системи се реализира преку задните комуникациски артерии, што овозможува колатерална хемодинамичка компензација при хемодинамски компромис или оклузивни васкуларни настани [117,118]. Ефикасноста на оваа компензација зависи од анатомската комплетност и калибарот на комуникациските артерии, како и од варијациите на вертебробазиларниот систем. Функционално, Кругот на Вилис претставува динамичен регулаторен механизам кој обезбедува одржување на церебралната перфузија преку редистрибуција на крвниот проток помеѓу предната и задната циркулација [119-126].

6.11. Функционално значење на Кругот на Вилис

Основната функција на Кругот на Вилис е обезбедување колатерална циркулација при стенози или оклузии на главните церебрални артерии. Овој механизам овозможува делумна или целосна хемодинамска компензација и редукција на исхемичното оштетување на мозочното ткиво. Ефективноста на колатералниот проток директно зависи од анатомската проодност на комуникациските артерии, особено задните комуникациски артерии, како и од

варијациите на базалните артериски стебла [127,128].Функционалната интеграција на системот има клучна улога во одржување на церебралната перфузија при акутни и хронични васкуларни нарушувања.

6.12. АНАТОМСКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ (ВБС)

Вертебробазиларниот систем (ВБС) претставува основна компонента на задната церебрална циркулација, одговорна за васкуларизација на мозочното стебло, малиот мозок, окципиталните лобуси и дел од таламусот. Тој се формира со спојување на двете вертебрални артерии во базиларна артерија и претставува високо варијабилен васкуларен систем.Анатомските варијации на ВБС се чести и опфаќаат значајна интериндивидуална морфолошка хетерогеност во однос на калибарот, текот и симетријата на артериските структури [136]. Овие варијации имаат суштинско клиничко значење, бидејќи директно влијаат врз церебралната перфузија и претставуваат потенцијален ризик за исхемични настани во задната циркулација.

6.13. Хемодинамичко и клиничко значење на варијациите

Васкуларните варијации во ВБС создаваат хемодинамички услови кои можат да доведат до турбулентен проток и зголемен сиден стрес, што претставува патофизиолошка основа за развој на аневризми, особено во зоните на бифуркација и асиметрија.Покрај тоа, во ВБС можат да се сретнат артериовенски малформации, дурални артериовенски фистули и ембриолошки перзистентни анастомози, кои иако се ретки, носат значителен ризик од хеморагични и исхемични компликации [137].

6.14. Ембриолошки и перзистентни артериски варијации

Перзистентните ембриолошки артерии се резултат на нецелосна регресија на каротидно-базиларните анастомози. Најзначајна варијанта е перзистентната тригеминална артерија, која воспоставува абнормална комуникација помеѓу внатрешната каротидна и базиларната артерија. Нејзиното присуство има значајна клиничка важност, особено при ендоваскуларни процедури, поради изменета хемодинамика и зголемен ризик од компликации. Дополнително, fetal-type posterior cerebral artery (PCA) претставува значајна варијанта која ја менува колатералната циркулација и има влијание врз третманот на аневризми [138,139].

6.15. Перфорантни артерии и исхемични ризици

Перфорантните артерии кои потекнуваат од базиларната и задните церебрални артерии се клучни за васкуларизација на мозочното стебло и длабоките церебрални структури. Нивната оклузија може да резултира со лакуарни инфаркти на ниво на таламус и мезенцефалон, вклучувајќи и синдром на артеријата на Перчерон, кој се карактеризира со билатерални таламични лезии и нарушување на свеста.

6.16. МОРФОЛОШКИ ВАРИЈАЦИИ НА ВБС

Анатомските варијации на вертебробазиларниот систем вклучуваат:

- варијации во калибар (хипоплазија, асиметрија)
- аплазија на вертебрална артерија
- дупликации и фенестрации на базиларната артерија
- абнормален тек и тортуозитет
- варијации во нивото на спојување на вертебралните артерии

Хипоплазијата на вертебралната артерија претставува една од најчестите варијации и е поврзана со намален проток и зголемен ризик за исхемичен мозочен удар. Фенестрациите и дупликациите претставуваат ембриолошки

варијанти кои создаваат локални хемодинамички нарушувања и се сметаат за потенцијални предиспонирачки фактори за развој на аневризми [140,141,142].

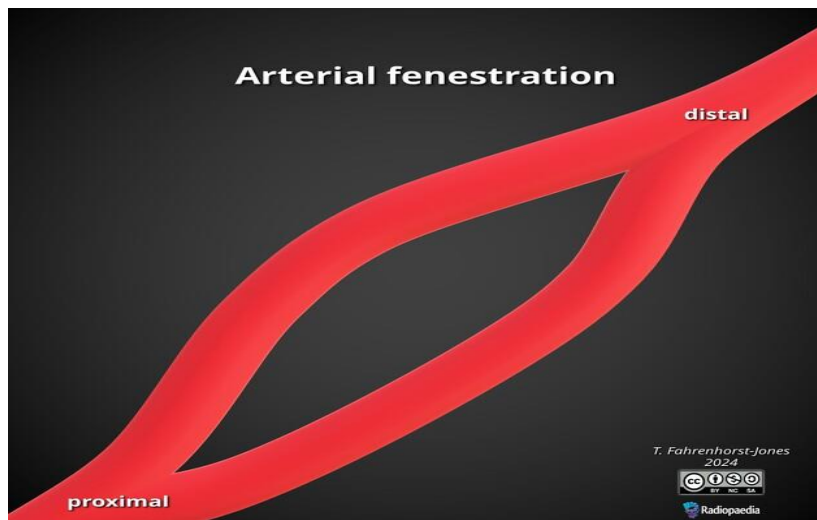
6.17. КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА ВАРИЈАЦИИТЕ НА ВБС

Клиничката важност на варијациите на вертебробазиларниот систем (ВБС) се огледа во нивното влијание врз неколку клучни патолошки состојби [143]:

- ризик за исхемичен мозочен удар
- транзиторни исхемични напади (TIA)
- хеморагични интракранијални настани
- тешкотии при ендоваскуларен третман
- зголемен ризик при хируршки интервенции во задната черепна јама

Анатомските варијации често можат да објаснат појава на невролошки симптоми и покрај отсуство на јасна оклузивна лезија, што ја нагласува нивната висока дијагностичка значајност. Вертебробазиларниот систем претставува комплексен и варијабилен артериски систем, чија анатомска варијабилност има директно клиничко значење. Разбирањето на овие варијации е клучно за правилна дијагноза, превенција на компликации и успешно планирање на невроваскуларни интервенции [144]. Клиничката презентација на пациентите со варијации на ВБС е разновидна. Најчести симптоми се: нарушување во рамнотежа, синкопа, нестабилност при одење, транзиторни визуелни нарушувања, диплопија, вртоглавица (вертиго) и друго. Овие симптоми се јавуваат како резултат на привремено намалување на хемодинамиката и перфузијата во мозокот. Анатомските варијации на ВБС особено значење имаат кај пациенти со кардиоваскуларни заболувања, хипертензија, дијабетес, дислипидемија, пушење, адипозитет и други кардиоваскуларни ризик, заради тоа што ја намалат. Кај овие пациенти анатомските варијации можат да ја намалат резервната хемодинамска способност. Познавањето на анатомските варијации на ВБС е од големо значење за дијагностички и тераписко менаџирање заради тоа што точната предоперативна идентификација на овие

варијациите го намалува ризикот од интраоперативни компликации, исхемично оштетување. Анатомските варијации на ВБС претставуваат важен аспект кој влијае врз церебралната хемодинамика, и ризикот од мозочен удар во задната циркулација..



Слика 18: Интракранијална артериска фенестрација.Травис Фаренхорст-Џонс. 20 март 2024 година

Figure 18: Intracranial arterial fenestration. Travis Fahrenhorst-Jones. 20 Mar 2024

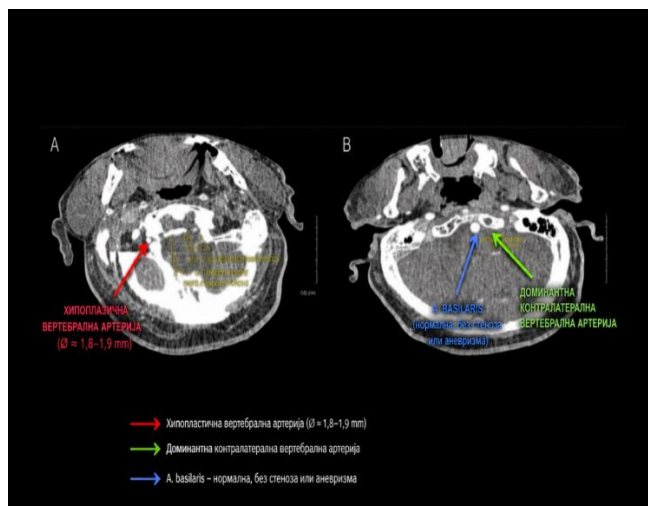
6.18. ХИПОПЛАЗИЈА НА ВЕРТЕБРАЛНА АРТЕРИЈА

Хипоплазијата на вертебралната артерија претставува релативно честа конгенитална варијација со преваленца од околу 10%. Хипоплазија е честа анатомска варијација, каде што едната вертебрална артерија е помала или недоволно развиена, може да доведе до зголемено оптоварување на другата вертебрална артерија, што потенцијално ќе резултира со исхемични настани, особено во услови кои ја зголемуваат побарувачката за снабдување со крв, како што се траума или операција. Најчесто е асимптоматска, но може да има значајна улога во нарушување на хемодинамиката на задната циркулација и да претставува предиспонирачки фактор за исхемични настани [145]. Редуцираниот калибар и асиметријата на вертебралните артерии доведуваат до нерамномерна распределба на протокот и зголемена зависност од контралатералната артерија и базиларниот систем. Клиничката значајност е поголема кај постари пациенти и кај лица со кардиоваскуларни ризик-фактори, при што диференцијацијата помеѓу конгенитална хипоплазија и стекната

стеноза останува дијагностички предизвик. Хипоплазијата често се среќава во асоцијација со ембриолошки варијации на вертебробазиларниот систем, што укажува на нарушувања во раниот васкуларен развој[146]. Фенестрацијата на базиларната артерија претставува конгенитална аномалија со сегментална поделба на луменот и преваленца до околу 5%, најчесто во проксималниот сегмент[147]. Оваа варијација се поврзува со турбулентен проток, зголемен сиден стрес и зголемен ризик за аневризми и тромбоемболиски настани. Дополнително, постојат варијации во потеклото на гранките на базиларната артерија, при што лабиринтната артерија најчесто потекнува од АICA, а во ретки случаи PICA може да има потекло од базиларната артерија. Од клинички аспект, хипоплазијата на вертебробазиларниот систем е значаен фактор во патогенезата на исхемични мозочни удари во задната циркулација, со зголемен ризик за церебеларни и понтински инфаркти, намалена колатерална компензација и поголема чувствителност на хипотензија [148]. Анатомските варијации на вертебро-базиларниот систем најчесто асоцираат со зголемен ризик од мозочен удар: варијациите во ВБС може да влијаат на протокот на крв во критичните области на мозокот, зголемувајќи го ризикот од исхемичен мозочен удар во задната циркулација. На пример, хипоплазија (неразвиеност) или стеноза (стеснување) на едната или двете вертебрални артерии може да го намалат протокот на крв, што го прави мозокот поподложен на исхемична повреда. Пациентите со вертебро-базиларна инсуфициенција може да имаат симптоми како вртоглавица, нерамнотежа и визуелни нарушувања, кои често се поврзани со намален проток на крв. Покрај хипоплазијај се евидентирани и други анатомски варијации како: двојна вертебрална артерија која иако е ретка варијанта во овие случаи лицето има две вертебрални артерии на едната страна. Ова може да биде компензаторен механизам, но може да предизвика компликации за време на процедурите или во случај на абнормални шеми на протокот на крв. Анатомските варијанти во вертебробазиларниот систем може да предиспонираат за формирање на аневризми. На пример, абнормална бифуркација или свиткување во базиларната артерија може да доведе до локализирана турбуленција на протокот на крв, што може да промовира формирање на аневризма, зголемувајќи го ризикот од руптура и хеморагичен мозочен удар. Хирурзите и интервентните радиолози мора да бидат свесни за вертебробазиларни

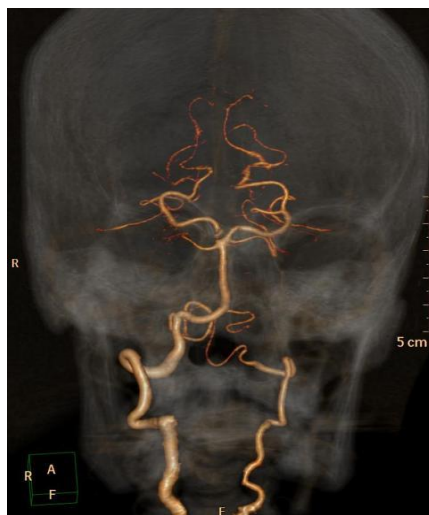
варијации кога вршат процедури како што се каротидна ендартеректомија, операции на 'рбетниот столб или операции на мозочното стебло. Варијациите може да го променат пристапот или хируршкото планирање, особено ако едната артерија е подоминантна од другата или ако има невообичаени артериски врски. Една од најтешките невролошки презентации, синдромот на вкочанетост, е резултат на тромбоза на проксималниот и средниот дел на БА, поштедувајќи го понтинскиот тегментум. Клиничките манифестации на синдромот на заклучување вклучуваат речиси целосна парализа на сите доброволни мускули, освен за трепкање и вертикални движења на очите, со зачувана свест и когнитивна функција. Алтернативно, дисталната БА емболија може да се манифестира со врвен базиларен синдром, што резултира со горното мозочно стебло и таламична исхемија. Карактеристиките на врвниот базиларен синдром вклучуваат окуломоторни и зеници, визуелни халуцинации и промени во свеста. Транзиторната парцијална исхемија на задната циркулација поради намален проток на крв на VB е позната како VB инсуфициенција и може да се класифицира како минлив исхемичен напад ако симптомите исчезнат во рок од 24 часа. Вертигото е често единствениот симптом на VB инсуфициенција, иако пациентите може да развијат и диплопија или да страдаат од напади на капки (ненадеен пад без губење на свеста). VB инсуфициенција најчесто се јавува како резултат на атеросклероза; фактори на ризик вклучуваат возраст, машки пол, хипертензија, хиперлипидемија и пушење. Симптомите на VA дисекции вклучуваат симптоми на VB инсуфициенција, досадна или мачна главоболка, дизартрија, дисфагија, атаксија, губење на видот и делумно Хорнеров синдром. Компликациите вклучуваат инфаркт на задната циркулација и субарахноидална хеморагија. Дијагностичката евалуација на VB системот може да се изврши преку неколку модалитети на сликање. Доплер ултрасонографијата беше иницијалната техника што се користеше за да се процени проодноста на екстракранијалните сегменти на БА, иако таа не е во можност да го визуелизира потеклото на БА кај некои пациенти. Во моментот, компјутеризирана томографија или магнетна резонанца ангиографија и дигитална субтракциона ангиографија (DSA) се дијагностички модалитети на избор во евалуацијата на вертебралните и базиларните артерии. Хемодинамските промени од васкуларните варијанти може да predisponираат за формирање на аневризма во VB системот. Други васкуларни аномалии вклучуваат артериовенски

малформации (AVM), дурални AV фистули (DAVF), а понекогаш и перзистентни примитивни каротидно-вертебробазиларни комуникации. Аневризмите и AVM иако се поретки во споредба со нивните супратенторијални колеги, ризикот од руптура, како и последователниот морбидитет и морталитет е значително висок. Иако микро-неврохирургијата останува златен стандард во нивното менаџирање, други модалитети како радиотерапија и ендоваскуларни модалитети исто така играат клучна улога во изборот и планирањето на правилен терапевтски алгоритам во многу од нив. Интраселарната примитивна перзистентна тригеминална артерија може ненамерно да се оштети за време на трансназална трансфеноидна ендоскопска или микроскопска операција на хипофизата, што доведува до невролошки дефицити кои придонесуваат за васкуларен компромис на териториите во дисталниот VB систем.[39.40]. Присуството на фетални задни комуникациски артерии игра значајна улога при управувањето со бифуркацијата на внатрешната каротидна артерија (ICA), задната комуникациска артерија и аневризмите на базиларниот врв Исто така, постои најголема потреба да се наведат и зачуваат перфораторите во случаи на ретки варијации во нивното потекло од PCA за да се спречи артеријата од инфаркт.



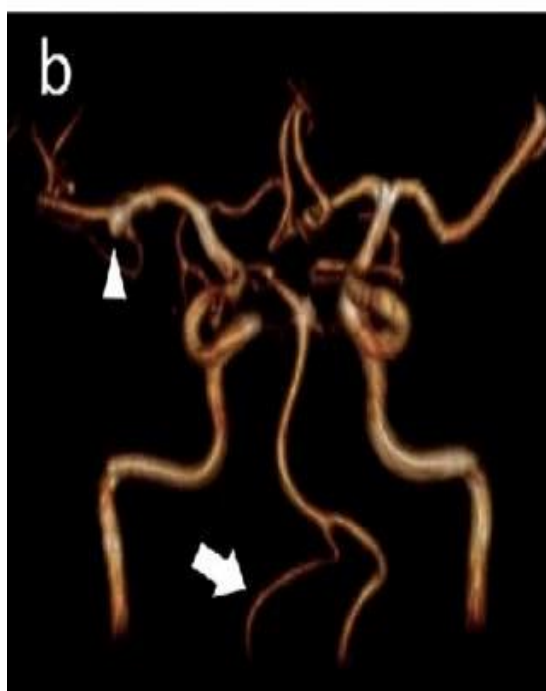
Слика 19: Хипоплазија на вертебрална артерија и доминација на контралатералната вертебрална артерија на СТА. Архива на Одделот за радиодијагностика, Клиничка болница – Тетово

Figure 19: Hypoplasia of the vertebral artery and dominance of the contralateral vertebral artery on CTA. Archive of the Department of Radiodiagnostics, Clinical Hospital – Tetovo.



Слика 20: Хипоплазија на вертебралната артерија на MRA (адаптирано од Radiopaedia, 2026).

Figure 20: Hypoplasia of the vertebral artery on MRA (adapted from Radiopaedia, 2026).



Слика 21: Хипоплазија на вертебрална артерија.Radiopaedia .12 Sep 2025.

Figure 21: Vertebral artery hypoplasia.Radiopaedia.12 Sep 2025.

6.19. ВЛИЈАНИЕ НА АНАТОМСКИТЕ ВАРИЈАЦИИ ВРЗ ЦЕРЕБРАЛНАТА ЦИРКУЛАЦИЈА

Вертебробазиларниот систем претставува клучен дел од церебралната циркулација кој обезбедува крвоснабдување на мозочното стебло, малиот мозок, таламусот и окципиталните региони. Поради неговата висока анатомска варијабилност и ограничена колатерална резерва, тој е особено подложен на хемодинамички и тромбоемболиски нарушувања. Анатомските варијации на церебралниот артериски систем претставуваат релативно честа појава со значајно влијание врз церебралната хемодинамика, регионалната перфузија и функционалниот интегритет на мозочното ткиво. Тие опфаќаат промени во дијаметарот, текот, симетријата и разгранувањето на артериите во каротидниот и вертебробазиларниот систем. Современите студии укажуваат дека и суптилни варијации можат да имаат клиничко значење, особено во присуство на васкуларни ризик-фактори или нарушена авторегулација. Хипоплазијата на вертебралната артерија и асиметријата на вертебробазиларниот систем се поврзуваат со локална хипоперфузија, зголемен wall shear stress и зголемен ризик за исхемични настани во задната циркулација [149]

6.20. Варијации во Вертебробазиларниот систем и хемодинамичко влијание

Најчести варијации во вертебробазиларниот систем вклучуваат:

- хипоплазија/аплазија на вертебрална артерија
- асиметрија на проток
- абнормален влез во foramen transversarium
- фенестрација на базиларна артерија
- долихоектазија
- варијации на бифуркација и терминални гранки.

Овие промени доведуваат до нарушена распределба на протокот и редуцирана перфузија на мозочното стебло, церебелумот и окципиталните региони[150,151].

6.21. КЛИНИЧКО ЗНАЧЕЊЕ НА ВАРИЈАЦИИТЕ НА ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРНИОТ СИСТЕМ (ВБС)

Анатомските варијации како хипоплазија, фенестрација и долихоектазија на базиларната артерија се поврзани со:

- нарушена церебрална перфузија;
 - зголемен ризик за исхемичен мозочен удар;
 - транзиторни невролошки симптоми;
 - зголемена склоност кон аневризми и васкуларни малформации
- Овие варијации се асоцирани со повисока инциденца на исхемични настани во задната циркулација.

Клиничкото значење на варијациите е особено изразено кај пациенти со:

- артериска хипертензија;
- дијабетес мелитус;
- дислипидемија;
- атеросклероза;

• Вертебробазиларна Инсуфициенција (ВБИ)

ВБИ претставува транзиторно хемодинамичко намалување на протокот во задната циркулација [160]. Најчести причини се атеросклеротски стенози, хипоплазија на вертебрални артерии, екстравазална компресија и долихоектазија на базиларната артерија. Клинички се манифестира со вртоглавица, атаксија, диплопија, дизартрија, дисфагија и визуелни нарушувања.

• Транзиторни исхемични напади (TIA)

TIA во задната циркулација се краткотрајни, реверзибилни епизоди на невролошка дисфункција и претставуваат важен предиктор за ран исхемичен мозочен удар. Најчесто се резултат на минлива хипоперфузија или микроемболиски настани.

• Ишемичен мозочен удар

Ишемичниот мозочен удар во задната циркулација настанува поради тромбоза, емболија или хемодинамичка инсуфициенција. Клиничката презентација е разновидна и често тешка поради комплексната анатомија на вертебробазиларниот систем. Клиничкото значење на вертебробазиларниот систем е од суштинска важност во неврологијата, поради неговата анатомска варијабилност и ограничена колатерална компензација, што го прави високо ризичен за исхемични цереброваскуларни настани [152,153]. Во овие состојби се зголемува ризикот за:

- транзиторни исхемични напади (TIA);
- исхемичен мозочен инфаркт;
- вертебробазиларна инсуфициенција;
- хронична хипоперфузија

6.22. Варијации во вертебробазиларниот систем и нивното хемодинамичко влијание

Во рамките на вертебробазиларниот систем најчесто се опишуваат следните анатомски варијации:

- хипоплазија или аплазија на вертебрална артерија;
- асиметрија на протокот помеѓу двете вертебрални артерии;
- абнормален влез во foramen transversarium;
- фенестрација на базиларната артерија;
- долихоектазија на базиларната артерија;
- варијации во бифуркацијата и терминалните гранки.

Овие анатомски варијации можат да доведат до нарушување на распределбата на крвниот проток, со редукција или нерамномерност на перфузијата во мозочното стебло, церебелумот и окципиталните региони. [154]. И покрај нивното присуство, голем дел од варијациите остануваат клинички асимптоматски поради колатерални механизми преку Кругот на Вилис, задните

комуникациски артерии и лептоменингеалната мрежа .Церебралната авторегулација може да одржи стабилна перфузија, но нејзиниот капацитет се намалува при хипотензија, стареење и атеросклероза.Анатомските варијации на церебралните артерии можат да доведат до асиметричен крвен проток, намалена резервна циркулација и зголемена подложност на задната церебрална циркулација кон исхемични настани .Промените во дијаметарот, должината и текот на артериите директно влијаат врз цереброваскуларниот отпор и регионалната перфузија, особено во вертебробазиларниот систем. Овие ефекти се најизразени во области со ограничена колатерална компензација како мозочното стебло, церебелумот и окципиталните лобуси .Хроничната редукција на проток може да биде клинички тивка поради церебралната авторегулација, но се декомпензира при хипотензија, кардијална инсуфициенција или зголемени метаболички потреби .Во такви состојби се развива хемодинамичка инсуфициенција со намалена перфузиска резерва и зголемена екстракција на кислород, што претставува висок ризик за идни исхемични настани .Церебралната авторегулација, базирана на миогени, метаболички и CO_2 -зависни механизми, овозможува одржување на стабилен проток, но има ограничен капацитет при тешка васкуларна болест.[155,156].

• Клиничка релевантност во услови на васкуларен ризик

Клиничкото значење станува поизразено при присуство на ризик-фактори како хипертензија, дијабетес, дислипидемија и атеросклероза.

Во вакви состојби може да дојде до: TIA, исхемичен инфаркт, вертебробазиларна инсуфициенција, хронична хипоперфузија [157].

• Хронична хипоперфузија и невролошки последици

Хроничната редукција на проток може да биде клинички тивка поради авторегулација, но со тек на време доведува до вестибуларни нарушувања, когнитивен пад, замор и транзиторни невролошки симптоми.Најчести манифестации се вртоглавица, замор, когнитивно забавување и транзиторни невролошки симптоми.Кај повозрасни пациенти, хроничната хипоперфузија се

поврзува со субкортикални когнитивни нарушувања и васкуларна деменција[158,159]. Кај повозрасни пациенти, хроничната хипоперфузија е поврзана со субкортикални когнитивни нарушувања и васкуларна деменција .

6.23. Дијагностичко значење на современите дијагностишки методи

Современата дијагностика вклучува Doppler ултрасонографија, СТА, КТМ, МРА и DSA како златен стандард за проценка на васкуларната морфологија .Овие методи овозможуваат прецизна детекција на варијации, проценка на хемодинамички ризик и планирање на интервенции .

• Дијагностичко значење

Евалуацијата на вертебробазиларните варијации се врши со:

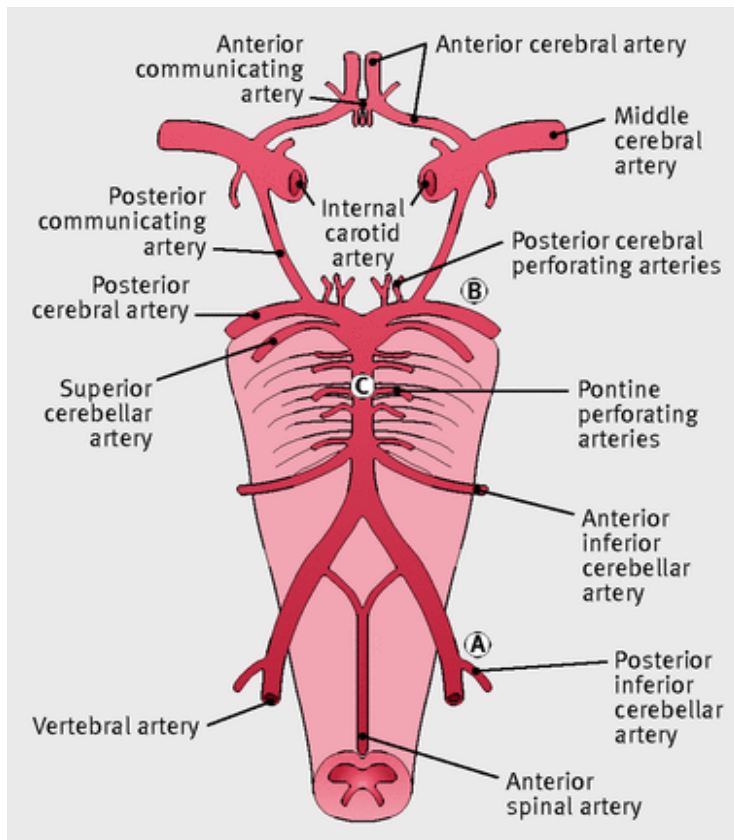
- Doppler ултрасонографија
- СТ-ангиографија (СТА)
- MR-ангиографија (МРА)
- Дигитална субтракциона ангиографија (DSA)

Овие методи овозможуваат прецизна морфолошка и хемодинамичка проценка, како и планирање на терапевтски интервенции [160].

6.24. РИЗИК ЗА ИСХЕМИЈА ВО ЗАДНАТА МОЗОЧНА ЦИРКУЛАЦИЈА

Исхемичниот мозочен удар во задната циркулација претставува хетероген клинички синдром кој настанува поради намалување или прекин на крвниот проток во вертебробазиларниот систем. Овој систем ги опфаќа вертебралните артерии, базиларната артерија, задните церебрални артерии и нивните гранки, кои ја обезбедуваат васкуларизацијата на мозочното стебло, малиот мозок, таламусот и окципиталните лобуси [161].Постериорната циркулација е од суштинско значење за витални функции како свест, дишење, рамнотежа и

координација, па затоа нејзината исхемија е поврзана со висок морбидитет и морталитет . Најчести механизми се атеротромбоза, кардиоемболизам, артериска дисекција, хемодинамска инсуфици-енција и тромбоза поврзана со васкуларни аномалии. Клиничката тежина зависи од локализацијата на оклузијата, при што базиларната оклузија може да предизвика нарушување на свеста, тетраплегија, locked-in синдром или смртен исход [162,163]. Емболизмот е најчеста етиологија, особено кај пациенти со атријална фибрилација, додека атеросклерозата претставува втора најчеста причина и води до прогресивно намалување на перфузијата и повторувачки исхемични настани. .Ризикот за рекурентен мозочен удар е особено висок кај пациенти со претходен TIA или симптоматска вертебробазиларна стеноза, најмногу во првите недели по иницијалниот настан .Дисекцијата на вертебралната артерија е значајна причина за мозочен удар кај помлади пациенти и се карактеризира со интимално оштетување и формирање интрамурален хематом со последична стеноза или оклузија [158,159]. Клинички се манифестира со вртоглавица, окципитална болка, атаксија, диплопија и фокални невролошки дефицити .Покрај тоа, поретки причини вклучуваат васкулити, тромбофилии и конгенитални васкуларни аномалии, вклучително и долихоектазија, која предизвикува турбулентен проток, тромбози и компресија на мозочното стебло .Транзиторните исхемични напади (TIA) во задната циркулација се краткотрајни епизоди на невролошка дисфункција без трајно оштетување и претставуваат важен предиктор за идни мозочни удари. Дијагностиката се базира на CTA, MRA, DSA и доплер ултрасонографија, кои овозможуваат проценка на васкуларната проодност, стенози, оклузии и колатерална циркулација [156,157]. Третманот вклучува антиагрегациска/антикоагулантна терапија, контрола на ризик-фактори и, во селектирани случаи, ендоваскуларни интервенции [160].



Слика 22: Анатомија на вертебралната и базилярната артериска циркулација и кругот на Вилис. (A) Место на оклузија на задната долна церебеларна артерија; (B) место на оклузија на задната церебрална артерија; (C) место на оклузија на перфорирачката артерија на понсот

Figure 22: Anatomy of the vertebral and basilar arterial circulation and circle of Willis. (A) Site of posterior inferior cerebellar artery occlusion; (B) site of posterior cerebral artery occlusion; (C) site of pontine perforating artery occlusion

6.25. СИМПТОМИ НА ВЕРТЕБРОБАЗИЛАРНИТЕ ВАРИЈАЦИИ, ДИЈАГНОЗА И ЛЕКУВАЊЕ

Вертебробазилярните варијации претставуваат значаен анатомски и хемодинамички фактор кој може да влијае врз церебралната перфузија и да предизвика транзиторни или перзистентни невролошки симптоми. Иако често се асимптоматски, одредени варијации како хипоплазија на вертебрална артерија, долихоектазија на базилярна артерија и асиметрија на проток можат да доведат

до хемодинамски нарушувања и зголемен ризик за исхемија во задната циркулација [166,167]

• Фактори на ризик

Ризик-факторите се слични на атеросклеротската болест и вклучуваат артериска хипертензија, дијабетес, дислипидемија, пушење, дебелина и кардиоваскуларни заболувања. Комбинацијата на овие фактори со анатомски варијации дополнително ја влошува церебралната хемодинамика и го зголемува ризикот за TIA и мозочен удар [168].

• Клиничка слика

Клиничките манифестации се варијабилни и вклучуваат вртоглавица, атаксија, нестабилност, диплопија, дизартрија, дисфагија и визуелни нарушувања. Кај дел од пациентите се јавуваат „drop attacks“, како последица на транзиторна исхемија на мозочното стебло. Потешките форми опфаќаат нарушување на свеста и мозочно-стеблени синдроми со исхемичен мозочен удар [169,170].

6.26. ДИЈАГНОСТИЧКО И ТЕРАПЕВТСКО ЗНАЧЕЊЕ НА ВБС

Современата дијагностика на вертебробазиларниот систем (ВБС) се базира на мултимодален пристап кој комбинира ултразвучни, томографски и инвазивни ангио-графски методи со цел прецизна визуелизација на анатомските варијации и проценка на хемодинамиката . Раната детекција на овие варијации е од суштинско значење за превенција на цереброваскуларни настани и за оптимално планирање на интервенционални процедури [170].

• Дијагностички методи

- Дијагностичката евалуација најчесто вклучува:
- Доплер ултрасонографија – иницијален скрининг за проток во вертебралните артерии
- СТА (компјутерска томографска ангиографија) – детална анатомска проценка

- MRA (магнетно-резонантна ангиографија) – неинвазивна евалуација на интракранијалната циркулација

- DSA (дигитална субтракциона ангиографија) – златен стандард за васкуларна анализа [171].

• Терапевтски пристап

Третманот е индивидуализиран и зависи од клиничката симптоматологија и хемодинамичкото значење на варијацијата .

• Конзервативен третман :

- контрола на кардиоваскуларни ризик-фактори

- антиагрегациска терапија

- антикоагулантна терапија кај селектирани пациенти [172,173].

- **Ендоваскуларен третман:** ангиопластика ,стентирање, емболизација на васкуларни лезии

- **Хируршки третман:** ретко индициран, применлив кај комплексни или резистентни лезии

Ендоваскуларниот пристап претставува современа и клучна терапевтска стратегија кај хемодинамички значајни лезии. [174].

◆ Клиничко значење и прогноза

Раната идентификација на хемодинамички значајните варијации е од клучно значење за превенција на исхемичен мозочен удар во задната циркулација и подобрување на клиничкиот исход. Вертебробазиларниот систем претставува еден од најкомплексните и најзначајни сегменти на церебралната циркулација, чија анатомска и хемодинамичка варијабилност има директно влијание врз перфузијата на задната мозочна циркулација и невролошкиот исход кај пациентите. Поради честите ембриолошки перзистенции, како и стекнатите морфолошки промени, овој систем се карактеризира со висока чувствителност

на хемодинамички нарушувања.Анатомските варијации, вклучувајќи хипоплазија, асиметрија, фенестрации, долихоектазија и абнормални бифуркации, претставуваат значаен фактор во нарушувањето на физиолошката циркулација. Овие промени можат да доведат до зголемен васкуларен отпор, турбулентен проток и редукција на колатералната компензација, со што се зголемува ризикот за исхемични цереброваскуларни настани.Клиничкото значење на овие варијации е особено изразено во задната циркулација, каде и минимални анатомски отстапувања можат да предизвикаат вертебробазиларна инсуфициенција, транзиторни исхемични напади или исхемичен мозочен удар. Дополнително, тие се поврзуваат и со зголемен ризик за развој на аневризми и други васкуларни малформации . Современите дијагностички методи (Doppler ултрасонографија, CTA, MRA и DSA) овозможуваат прецизна анатомска и функционална проценка на вертебробазиларниот систем. Раната детекција на варијациите е клучна за соодветна стратификација на ризик, планирање на интервенции и превенција на компликации.Мултидисциплинарниот пристап, кој ги вклучува неврологијата, радиологијата и неврохирургијата, е неопходен за оптимално управување со овие пациенти. Навремената дијагноза и контрола на васкуларните ризик-фактори значајно го намалуваат морбидитетот и морталитетот поврзан со задната церебрална циркулација.Како заклучок, вертебробазиларните варијации претставуваат важен клиничко-анатомски ентитет кој бара прецизна дијагностика и внимателен терапевтски пристап, со цел подобрување на прогнозата и намалување на ризикот од сериозни цереброваскуларни настани.Симптомите како вртоглавица, атаксија, главоболка, нестабилност и визуелни нарушувања претставуваат чести клинички манифестации на нарушена перфузија во задната церебрална циркулација. Овие состојби најчесто се поврзани со анатомски и морфолошки варијации на вертебробазиларниот систем, кои можат значајно да ја нарушат церебралната хемодинамика и да го зголемат ризикот за исхемични настани. Најчестите варијации вклучуваат хипоплазија на вертебрална или базиларна артерија,асиметрија на артерискиот проток, фенестрации, долихоектазија, абнормални бифуркации и аневризматски промени. Дополнително, дисекциски и трауматски лезии можат дополнително да ја компромитираат постериорната циркулација. Клиничката евалуација бара систематски невролошки пристап со идентификација на карактеристични синдроми на мозочното стебло и

церебелумот, како и внимателна проценка на вртоглавица, атаксија, диплопија и нарушувања на постуралната стабилност.Дијагнозата се базира на современи имиџинг методи, вклучувајќи Doppler, CTA, MRA и DSA, при што дигиталната субтракциона ангиографија останува златен стандард за детална васкуларна анализа.Терапијата е индивидуализирана и може да вклучува конзервативен третман (антиагрегенси, контрола на ризик-фактори), ендоваскуларни процедури (ангиопластика, стентирање, емболизација) и ретко хируршки интервенции кај комплексни лезии.Оваа работа ја истакнува значајната улога на анатомските варијации на вертебробазиларниот систем во патогенезата на задната циркулација и потребата од мултимодален и мултидисциплинарен пристап за нивна навремена дијагноза и соодветен третман.

7. ЦЕЛИ НА ТРУДОТ

• Општа цел

Основна цел на ова истражување е да се анализираат анатомските варијации на вертебробазиларниот систем кај популацијата од Полошкиот регион, нивните морфометриски карактеристики, хемодинамско и клиничко значење, како и нивната улога во настанувањето на цереброваскуларни нарушувања, со примена на современи радиолошки методи.

• Специфични цели

1. Да се идентификуваат и класифицираат анатомските варијации на вертебробазиларниот систем со примена на современи радиолошки методи (CTA, MRA и MRI).
2. Да се утврди фреквенцијата и дистрибуцијата на анатомските варијации на вертебробазиларниот систем, вклучувајќи хипоплазија, асиметрија, долхоектазија и други морфолошки варијанти.
3. Да се одредат морфометриските карактеристики на десната и левата вертебрална артерија и базиларната артерија, со посебен осврт на нивниот внатрешен дијаметар.
4. Да се анализира влијанието на полот и возраста врз морфометриските параметри на вертебралните и базиларната артерија преку компаративна статистичка анализа.
5. Да се процени влијанието на анатомските варијации врз хемодинамиката и крвоснабдувањето на задната мозочна циркулација.
6. Да се испита поврзаноста помеѓу анатомските варијации на вертебробазиларниот систем и клиничките симптоми како вртоглавица, нестабилност, главоболка и вертебробазиларна инсуфициенција.
7. Да се анализира поврзаноста помеѓу кардиоваскуларните ризик-фактори (артериска хипертензија, дијабетес мелитус, хиперлипидемија и пушење) и појавата на анатомски варијации на вертебробазиларниот систем.
8. Да се утврди дали одредени анатомски варијации претставуваат предиспонирачки фактор за појава на цереброваскуларни заболувања, исхемични настани и интракранијални аневризми.

9. Да се анализира клиничкото и дијагностичкото значење на анатомските варијации при интерпретација на радиолошките наоди и при планирање на терапевтски и хируршки процедури.
10. Да се споредат добиените резултати со податоците од релевантната меѓународна литература и да се утврдат евентуални популациски специфичности кај населението од Полошкиот регион.
11. Да се придонесе кон подобро разбирање на анатомијата и клиничката важност на вертебробазиларниот систем во областа на анатомијата, неврологијата, неврорадио-логијата и васкуларната хирургија.
12. Врз основа на добиените резултати да се предложат препораки за рано препознавање на ризичните анатомски варијации и нивно вклучување во современите дијагностички и терапевтски алгоритми.
13. Нашите резултати од димензиите на десната вертебрална артерија, левата вертебрална артерија и базиларната артерија бае споредени со резултатите од други автори.

Самата студија ќе биде спроведена во согласност со Хелсиншката декларација и ќе биде одобрена од Етичкиот комитет при Медицински факултет во Штип и од етичката комисија во Клинички Болница во Тетово.

Студијата ќе се спроведува во согласност со принципите на Хелсиншката декларација и ќе биде одобрена од Етичкиот комитет при Медицинскиот факултет во Штип и од Етичката комисија на Клиничката болница во Тетово.

Досега во Република Северна Македонија не е направена поопсежна студија за варијациите на вертебро-базиларниот ситеме и нивната клиничка улога што е и основна цел на предложената дисертација.

8.МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДИ

8.1. Дизајн на студија

Според дизајнот, студијата беше ретроспективно- опсервациона студија

8.2. Критериуми за вклучување во истражувањето

- Испитаници на возраст од ,45 и >45 години;
- Испитаници од двата пола;
- Извршено радиолошко испитување на вертебробазиларниот систем со MRI, MRA или СТА;
- Потпишана информирана согласност за учество во студијата.

За потребите на статистичката анализа, испитаниците беа распределени во групи според полот и возраста, со цел да се утврдат евентуални разлики во морфометриските параметри и зачестеноста на анатомските варијации на вертебробазиларниот систем.

Добиените резултати беа споредени со податоците објавени во релевантната меѓународна литература, со цел да се проценат евентуалните специфичности на испитуваната популација.

8.3. Критериуми за исклучување

- Пациенти со феромагнетни клипси поставени поради интракранијални аневризми;
- Пациенти со пејсмејкери или други импланти кои претставуваат контраиндикација за MRI испитување;
- Пациенти со метални импланти во пределот на главата и вратот кои можат да предизвикаат артефакти и да ја намалат дијагностичката вредност на снимките;

- Пациенти со познати заболувања на централниот нервен систем кои значително ја менуваат нормалната анатомија на церебралната васкулатура;
- Пациенти со дијагностицирани артериски аневризми;
- Пациенти со артериовенски малформации;
- Пациенти со субарахноидална хеморагија;
- Пациенти со интрацеребрална хеморагија.

Сите добиени податоци беа обработени со соодветни статистички методи, а резултатите ќе бидат прикажани табеларно и графички и споредени со резултатите од претходно објавени студии.

• Испитаници и методологија

Во оваа проспективна опсервациона студија беа вклучени 60 испитаници (100%), од кои 25 (41,67%) беа жени и 35 (58,33%) мажи, од Полошкиот регион, на возраст од < 45 и > 45 години, независно од полот. Испитаниците беа пациенти со различна клиничка симптоматологија, вклучувајќи вртоглавица, главоболка, цервикални тегоби, повреди на главата и вратот, како и други невролошки и трауматолошки состојби. Тие беа прегледани во амбулантите и одделенијата за неврохирургија и трауматологија при Клиничката болница - Тетово во период од една година (од 01-11-2024 до 01-11-2025 година). Кај сите испитаници беше извршена радиолошка евалуација на вертебробазиларниот систем со примена на магнетнорезонантна ангиографија (MRA), магнетна резонанца (MRI) и компјутеризирана томографска ангиографија (CTA), во зависност од индикацијата и достапноста на методата. Предмет на анализата беа морфометриските карактеристики на десната вертебрална артерија (Arteria vertebralis dextra – AVD), левата вертебрална артерија (Arteria vertebralis sinistra – AVS) и базиларната артерија (Arteria basilaris – AB). Кај секој испитаник беа извршени мерења на внатрешниот дијаметар на наведените артерии, како и проценка на присуството на анатомски варијации на вертебробазиларниот систем. Испитаниците беа анализирани според полот, возраста и присуството на анатомски варијации на вертебробазиларниот систем. За потребите на статистичката анализа, тие беа поделени во соодветни возрасни и полови

групи.Добиените резултати беа статистички обработени и споредени со резултатите од релевантни меѓународни студии, со цел да се процени зачестеноста на анатомските варијации, нивното клиничко значење и евентуалните популациски специфичности кај населението од Полошкиот регион.

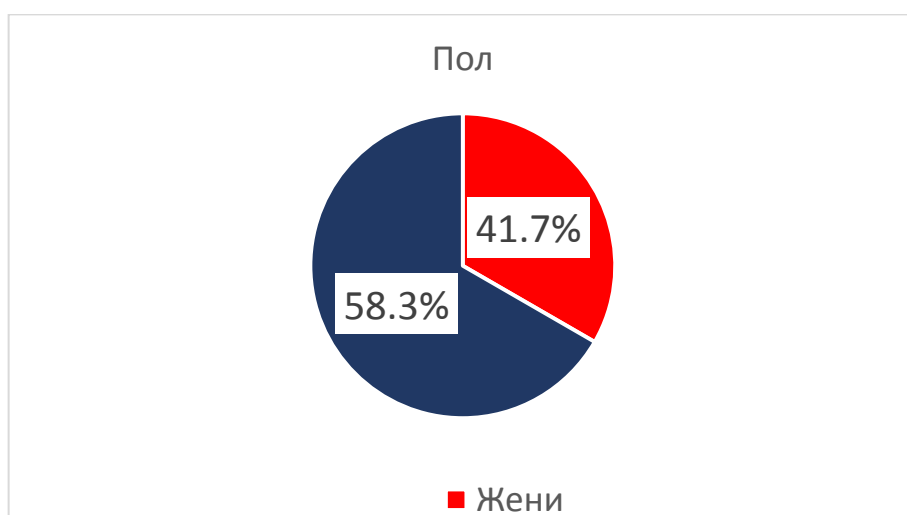
.Во однос на клиничката дијагноза, артериска хипертензија (ХТА) беше регистрирана кај 12 (20,0%) испитаници, вертебробазиларна исхемија кај 10 (16,7%), вертигинозен синдром со цервикална спондилоза кај 30 (50,0%), а транзиторна исхемична атака (ТИА) кај 8 (13,3%) испитаници.

Табела 2: Дистрибуција н пациентите според пол

Table 2: Distribution of patients by gender

Пол(gender)	Број- (%)
ЖЕНИ(Female)	25 (41.67 %)
МАЖИ(Male)	35 (58.33 %)

Од вкупната бројка на пациентите($n=60$),25(41.67 %) беа жени додека 35 (58.33 %) беа мажи



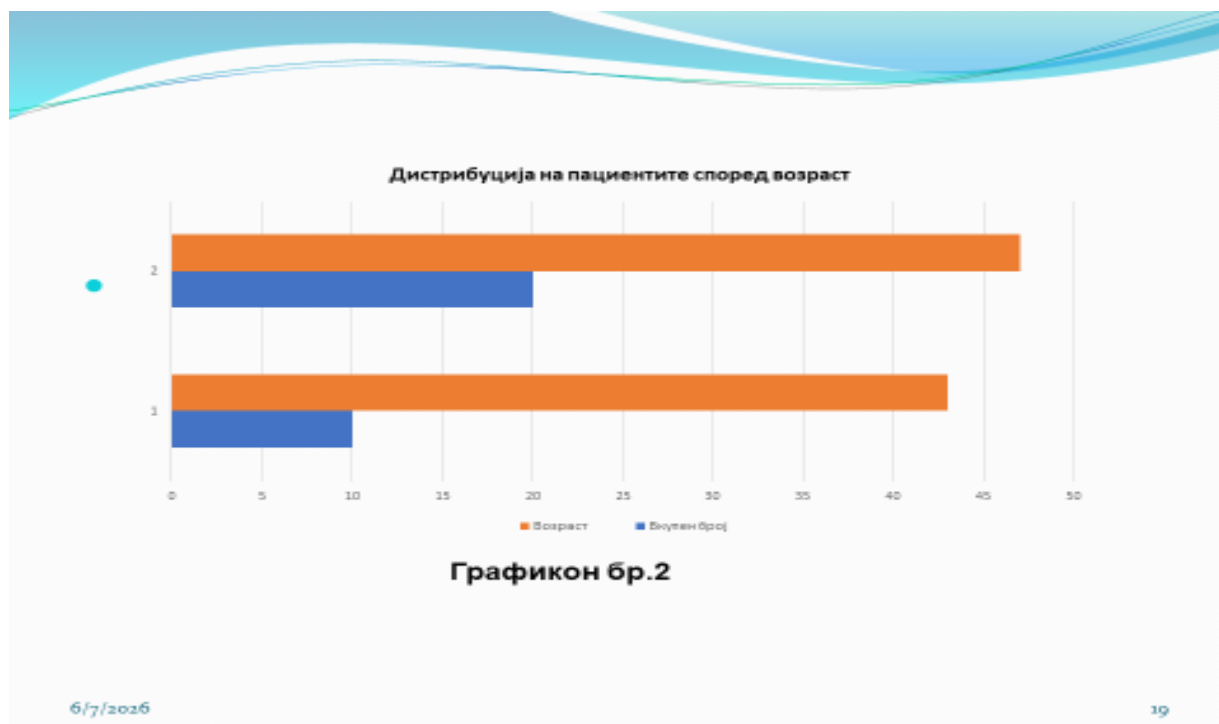
Графикон 1: Дистрибуција н пациентите според пол
Graph1: Distribution of patients by gender

Табела 3: Дситрибуција на пациентите според возраст

Table 3: Distribution of patients by age

Возраст	Вкупен број (n)-60 (100 %)
< 45 години	24 (40.0 %)
> 45 години	36 (60%)

Од вкупната бројка на пациентите(n=60),ипсод 45 години бе 40.0 % додека над 40 години беа 60.0 %.



Графикон 2. Распределба на пациенти по возраст

Graph. 2 . Distribution of patients by age

Табела 4: Дистрибуција на пациентите според симптомите

Table 4: Distribution of patients according to symptoms

Симптоми	Број на пациенти-60 (100 %)
Вертигинозен синдром со цервикална спондилоза	30 (50 %)
Есенцијална хипертензија	12 (20 %)
Вертебробазиларна исхемија	10 (16.67 %)
Транзиторна исхемична атака	8 (12,33 %)



Графикон 3: Дистрибуција на пациентите според симптомите

Graph. 3: Distribution of patients according to symptoms

СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА

Статистичката обработка на податоците беше извршена со статистичкиот програмски пакет SPSS for Windows, верзија 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

Резултатите беа прикажани табеларно и графички. Континуираните варијабли беа опишани со дескриптивна статистика преку средна вредност (Mean), стандардна девијација (SD), медијана, интерквартилен распон (IQR), минимална и максимална вредност. Категориските варијабли беа претставени со апсолутни (n) и релативни (%) фреквенции.

Нормалноста на распределбата на континуираните варијабли беше проверена со Shapiro–Wilk тестот. Бидејќи распределбата на дијаметрите на arteria basilaris, arteria vertebralis sinistra и arteria vertebralis dextra статистички значајно отстапуваше од нормалната распределба ($p < 0,05$), за понатамошната анализа претежно беа користени непараметарски статистички методи.

За споредба на две независни групи беше применет Mann–Whitney U тестот, додека за споредба на повеќе од две независни групи беше користен Kruskal–Wallis тестот. За споредба на две зависни групи беше користен Wilcoxon signed-rank тестот.

Поврзаноста помеѓу категоријалните варијабли, односно морфолошките варијанти на arteria basilaris, arteria vertebralis sinistra и arteria vertebralis dextra во однос на полот, возрастната група и дијагнозата, беше анализирана со помош на табели на контингенција. Статистичката значајност на разликите беше проценета со Pearson-овиот χ^2 (Chi-square) тест, а во случаи кога беа присутни мали очекувани фреквенции беше применет Fisher-овиот егзактен тест. Корелацијата помеѓу возраста и морфометриските параметри на вертебралните артерии и arteria basilaris беше анализирана со Spearman-ов корелациски тест. Статистичката значајност беше прифатена при ниво на значајност од $p < 0,05$, со интервал на доверба од 95%.

9. РЕЗУЛТАТИ

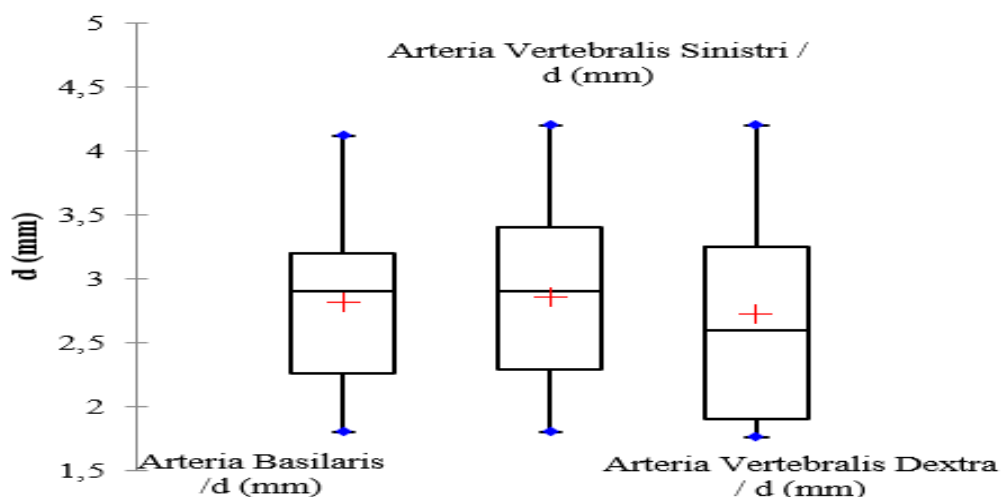
Дијаметрите на испитуваните артерии беа анализирани со дескриптивна статистика и тестови за нормалност.

Табела 5: Дескриптивна статистика и тестирање на нормалноста на дијаметрите на arteria basilaris, arteria vertebralis sinistra и arteria vertebralis dextra

Table 5: Descriptive statistics and normality testing of the diameters of the basilar artery, left vertebral artery and right vertebral artery

Варијабла	N	Min	Max	Q1	Median	Q3	Mean	SD	SW p
Arteria Basilaris /d (mm)	60	2.10	4.50	2.85	3.20	3.60	3.22	0,58	0,0017
Arteria Vertebralis Sinistri / d (mm)	60	1,80	4,20	2,40	3,00	3,45	2,95	0,67	0,0025
Arteria Vertebralis Dextra / d (mm)	60	1,76	4,00	2.10	2,70	3,20	2,68	0,77	0,0004

Од самата табела се забележва доминација на дијаметарот на A. basilaris=3,22 mm, потоа доминација на A. vertebralis sinistra=2,95 mm и на A. vertebralis dextra=2,68 mm



Графикон 4: Средни вредности на дијаметрите на arteria basilaris, arteria vertebralis sinistra и arteria vertebralis dextra

Graph 4: Mean values of the diameters of the basilar artery, left vertebral artery and right vertebral artery

Споредбата на дијаметрите на испитуваните артерии според полот беше извршена со Mann–Whitney U тест.

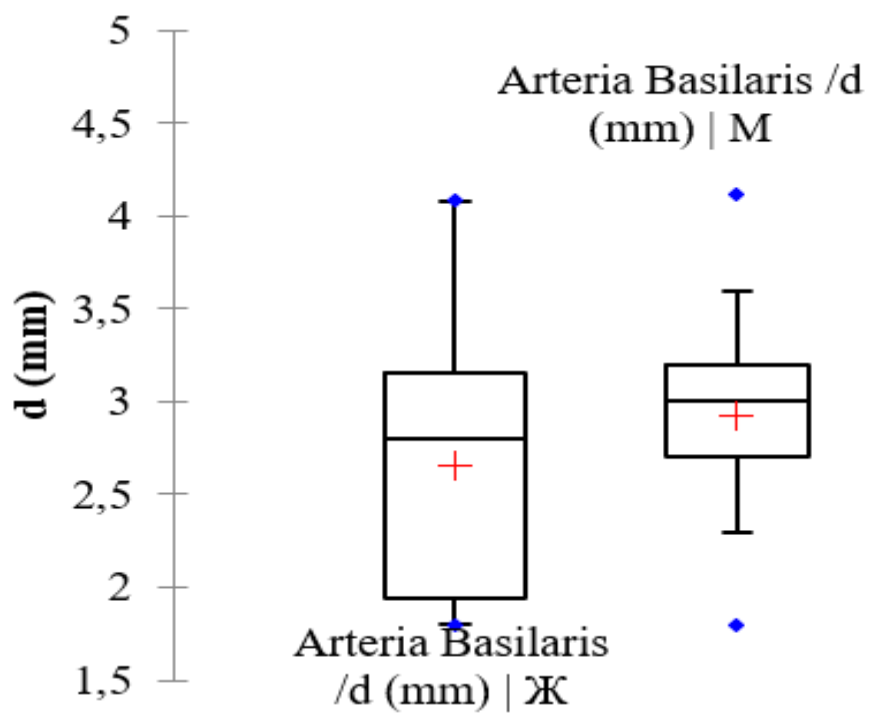
Табела 2 ги прикажува дескриптивните статистички параметри за дијаметрите на *arteria basilaris*, *arteria vertebralis sinistra* и *arteria vertebralis dextra* кај 60 испитаници, како и резултатите од тестирањето на нормалноста на распределбата со Shapiro–Wilk тестот. Најголем просечен дијаметар е забележан кај *arteria basilaris* (Mean = 3,22 ± 0,58 mm; Med = 3,20 mm), што е очекувано со оглед на тоа дека оваа артерија се формира со спојување на двете вертебрални артерии и претставува главен крвен сад на вертебробазиларниот систем. Во однос на вертебралните артерии, *arteria vertebralis sinistra* покажува поголем просечен дијаметар (Mean = 2,95 ± 0,67 mm; Med = 3,00 mm) во споредба со *arteria vertebralis dextra* (Mean = 2,68 ± 0,77 mm; Med = 2,70 mm). Овој наод укажува на доминација на левата вертебрална артерија, што е во согласност со литературните податоци според кои левата вертебрална артерија најчесто е поширока и хемодинамски подоминантна од десната. Варијабилноста на дијаметрите е нешто поголема кај *arteria vertebralis dextra* (SD = 0,77 mm) во однос на *arteria vertebralis sinistra* (SD = 0,67 mm), што укажува на поголема индивидуална варијабилност на десната вертебрална артерија во испитуваната популација.

Резултатите од **Shapiro–Wilk тестот** покажуваат статистички значајни *p*-вредности за сите три артерии (*p* < 0,05), што укажува дека распределбата на дијаметрите значајно отстапува од нормална распределба. Поради тоа, за прикажување на централната тенденција и дисперзијата се оправдани медијаната и интерквartilниот распон, а при понатамошните анализи е препорачлива примена на непараметриски статистички тестови. Генерално, добиените резултати ја потврдуваат анатомската карактеристика на **левострана доминација на *arteria vertebralis***, при што ***arteria basilaris*** има најголем дијаметар, следена од ***arteria vertebralis sinistra***, а потоа од ***arteria vertebralis dextra***. Овој распоред е во согласност со познатите анатомски и хемодинамски особености на вертебробазиларниот систем.

Табела 5: Споредба на дијаметарот на arteria basilaris според полот (Mann–Whitney U тест)

Table 5: Comparison of basilar artery diameter by gender (Mann–Whitney U test)

Варијабла	n	Min	Max	Q 1	Med	Q 3	Mean	S D	MW /p
Arteria Basilaris /d (mm) Жени	25	2.10	4.00	2.80	2.95	2.75	3.10	0.50	0,137 0
Arteria Basilaris /d (mm) Мажи	35	2.46	4,50	2,96	3.20	2.96	3.38	0.62	



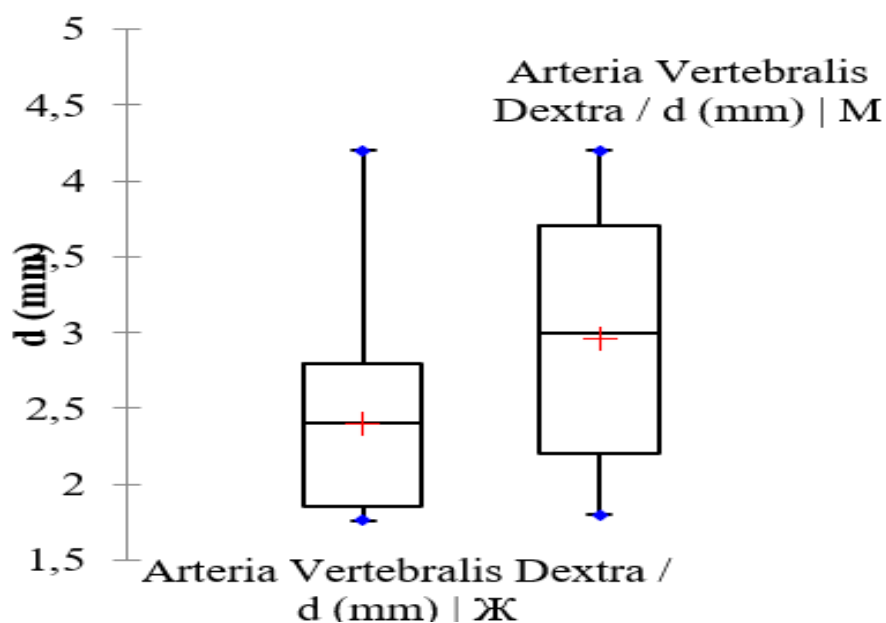
Графикон 7 :Споредба на дијаметарот на arteria basilaris според полот (Mann–Whitney U тест)

Graph 7: Comparison of basilar artery diameter by gender (Mann–Whitney U test)

Табела 6. Споредба на дијаметарот на arteria vertebralis dekstra според полот (Mann–Whitney U тест)

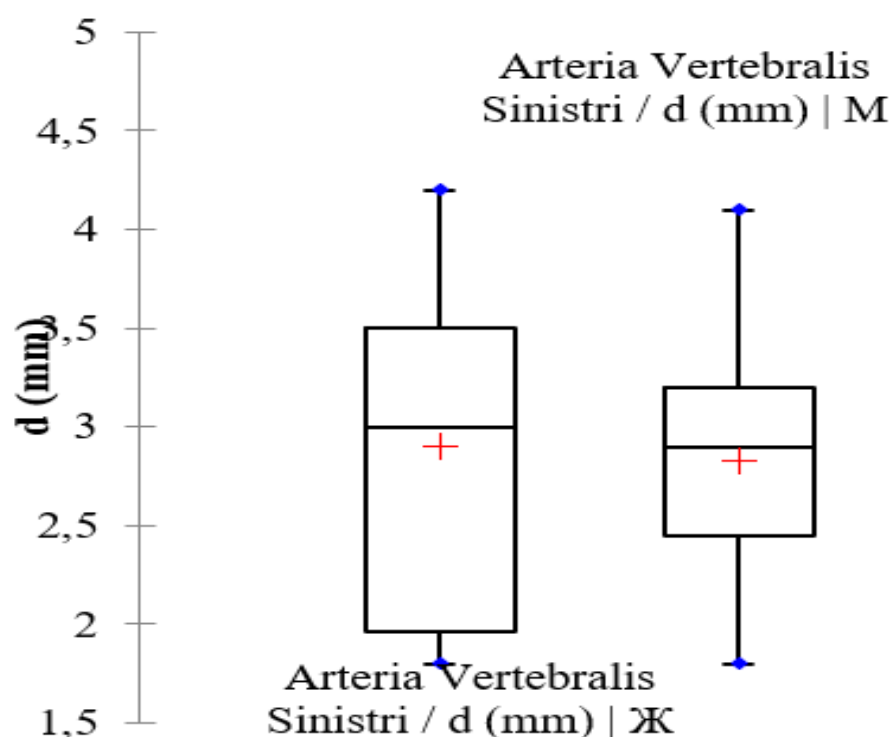
Table 6. Comparison of the diameter of the right vertebral artery by gender (Mann–Whitney U test)

Варијабла	n	Min	Max	Q1	Med	Q3	Mean	SD	MW/p
Arteria Vertebralis Sinistri / d (mm) Жени	25	2,95	3.60	1,96	3,00	3,50	2,90	0,74	0,5231
Arteria Vertebralis Dextra / d (mm) Мажи	35	2,30	2.40	2,45	2,90	3,20	2,83	0,66	



Графикон 7. Средни вредности на дијаметрите на arteria vertebralis dekstra според полот

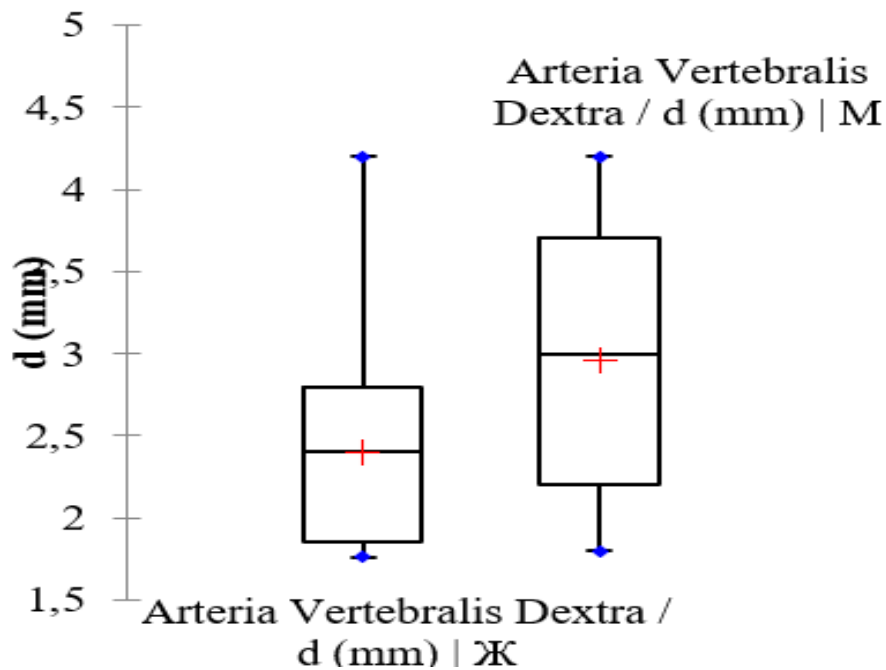
Chart 7. Mean values of the diameters of the right vertebral artery by gender



Графикон 8. Средни вредности на дијаметрите на arteria vertebralis sinistri според полот

Graph .8. Mean values of the diameters of the left vertebral artery by gender

Кај **arteria basilaris** беше утврдена статистички значајна разлика во дијаметарот помеѓу испитаниците од машки и женски пол (Mann–Whitney U тест, $p = 0,137$). Медијаната на дијаметарот кај жените изнесуваше **3,10 mm** (IQR: 2,80–3,50 mm), додека кај мажите изнесуваше **3,25 mm** (IQR: 2,90–3,65 mm). Овие резултати укажуваат дека полот нема значајно влијание врз дијаметарот на arteria basilaris во испитуваната популација. Овие резултати покажуваат дека кај arteria vertebralis dextra постои статистички значајна разлика во дијаметарот според полот, при што машките испитаници имаат поголеми вредности на дијаметарот во споредба со женските испитаници.



Графикон 9: Димензии на Вертебрална артерија кај жени

Graph. 9: Dimensions of the Vertebral Artery in Women

Споредбата на дијаметрите на испитуваните артерии според возрасните групи беше извршена со Mann–Whitney U тест. Кај arteria basilaris не беше утврдена статистички значајна разлика помеѓу испитаниците помлади од 45 години и оние на возраст од 45 години и повеќе ($p=0,815$). Медијаната на дијаметарот изнесуваше 3,00 mm (IQR: 2,26–3,21 mm) кај помладите и 2,90 mm (IQR: 2,21–3,20 mm) кај повозрасните испитаници.

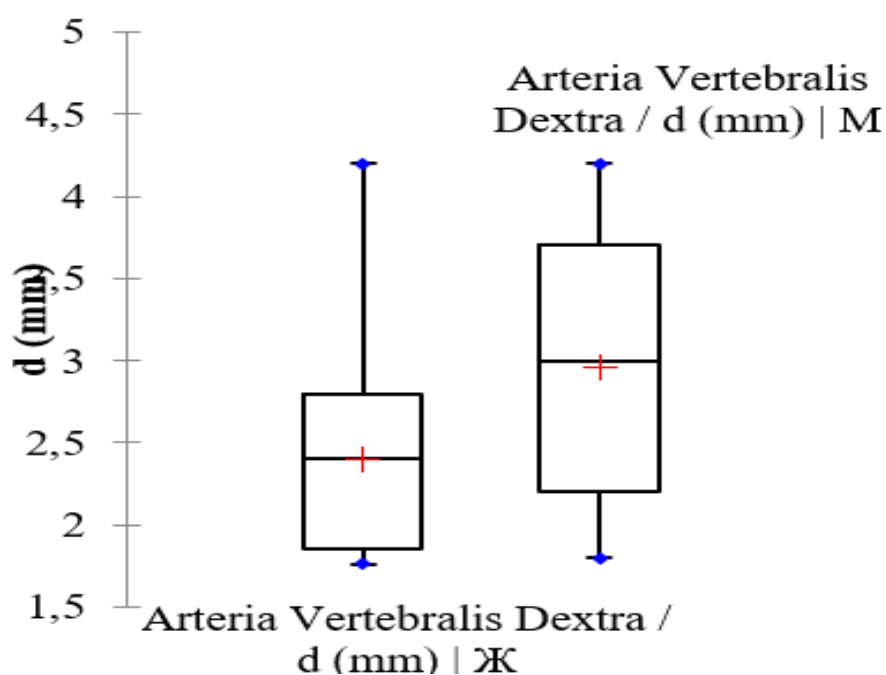
За arteria vertebralis dextra беше утврдена статистички значајна разлика во дијаметарот помеѓу половите ($p=0,007$). Медијаната на дијаметарот кај машките испитаници изнесуваше 3,00 mm (IQR: 2,20–3,70 mm), додека кај женските испитаници изнесуваше 2,40 mm (IQR: 1,85–2,80 mm).

Овие резултати покажуваат дека единствено кај arteria vertebralis dextra постои статистички значајна разлика во дијаметарот според полот, при што машките испитаници имаат поголеми вредности на дијаметарот во споредба со женските испитаници.

Табела 7. Споредба на дијаметарот на arteria vertebralis dextra според полот (Mann–Whitney U тест)

Table 7. Comparison of the diameter of the right vertebral artery by gender (Mann–Whitney U test)

Варијабла	n	Min	Max	Q1	Med	Q3	Mean	SD	MW/p
Arteria Vertebralis Dextra / d (mm) Жени	25	25	1.76	4.20	1.85	2.40	2,80	2,40	0,007
Arteria Vertebralis Dextra / d (mm) Мажи	35	35	1.80	4.20	2.20	3.00	3,70	2,96	



Графикон 10. Средни вредности на дијаметрите на arteria vertebralis dextra според полот(ж-М)

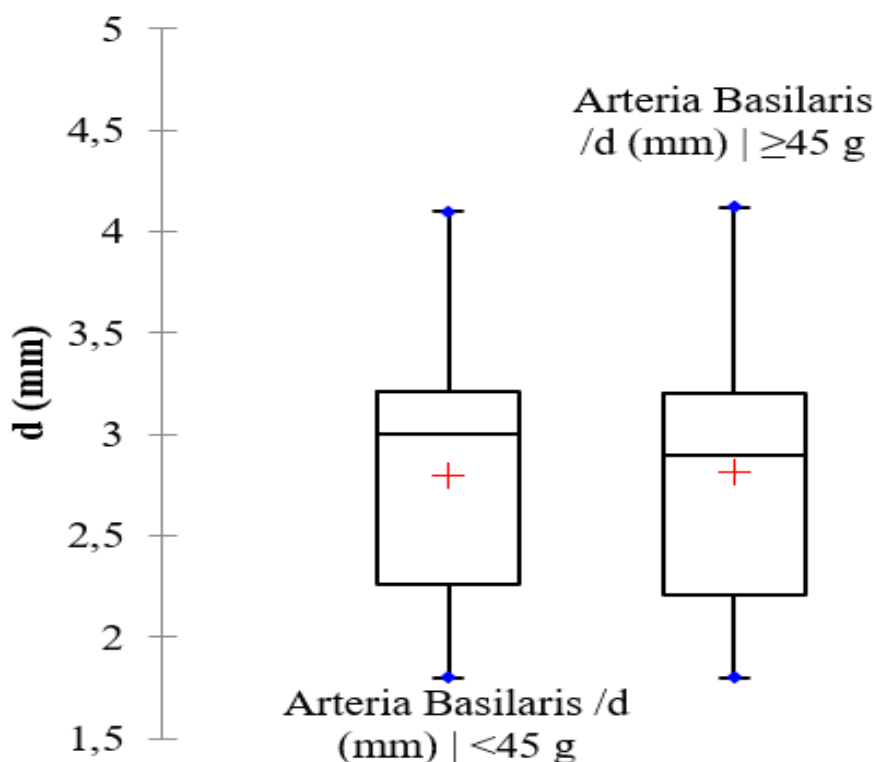
Graph. 10. Mean values of the diameters of the arteria vertebralis dextra according to gender (W-M)

Споредбата на дијаметрите на испитуваните артерии според возрастните групи беше извршена со Mann–Whitney U тест. Кај arteria basilaris не беше утврдена статистички значајна разлика помеѓу испитаниците помлади од 45 години и оние на возраст од 45 години и повеќе ($p=0,815$). Медијаната на дијаметарот изнесуваше 3,00 mm (IQR: 2,26–3,21 mm) кај помладите и 2,90 mm (IQR: 2,21–3,20 mm) кај повозрасните испитаници.

Табела 8. Споредба на дијаметарот на arteria basilaris според возрасна група (Mann–Whitney U тест)

Table 8. Comparison of basilar artery diameter by age group (Mann–Whitney U test)

Варијабл а	n	Min	Max	Q1	Med	Q3	Mean	SD	MW /p
Arteria Basilaris /d (mm) <45 г	24	1,80	4,10	2,26	3,00	3,21	2,80	0,63	0,8148
Arteria Basilaris /d (mm) ≥45 г	36	1,80	4,12	2,21	2,90	3,20	2,82	0,68	



Графикон 11. Средни вредности на дијаметарот на arteria basilaris според возрасна група (< 45 години и ≥ 45 години)

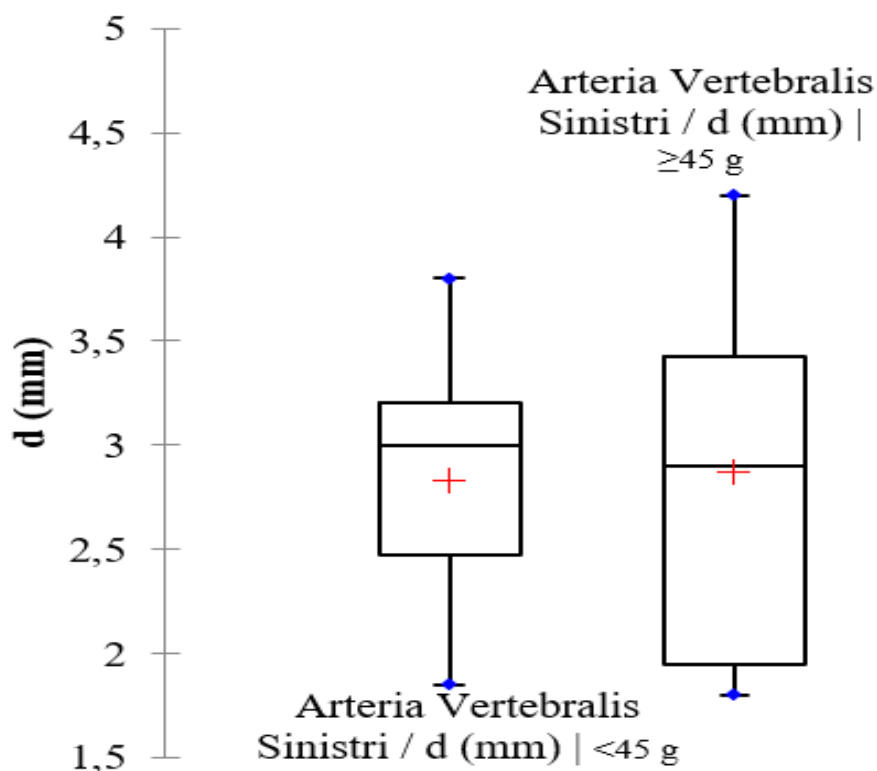
Graph. 11. Mean values of the diameter of the basilar artery by age group(< 45 years and ≥ 45 years)

Kaj arteria vertebralis sinistra беше утврдена статистички значајна разлика помеѓу возрасните групи ($p=1,000$). Медијаната на дијаметарот изнесуваше 3,00 mm (IQR: 2,48–3,20 mm) кај испитаниците помлади од 45 години и 2,90 mm (IQR: 1,95–3,43 mm) кај испитаниците на возраст од 45 години и повеќе.

Табела 9: Споредба на дијаметарот на arteria vertebralis sinistri според возрасна група (Mann–Whitney U тест)

Table 9: Comparison of the diameter of the left vertebral artery by age group (Mann–Whitney U test)

Варијабла	<i>n</i>	Min	Max	Q1	Med	Q3	Mean	SD	MW/p
Arteria Vertebralis Sinistri / d (mm) <45 г	24	1,85	3,80	2,48	3,00	3,20	2,83	0,60	1,000
Arteria Vertebralis Sinistri / d (mm) ≥45 г	36	1,80	4,20	1,95	2,90	3,43	2,87	0,76	



Графикон 12: Средни вредности на дијаметарот на arteria vertebralis sinistri според возрасна група

Графх. 12: Mean values of the diameter of the left vertebral artery by age group

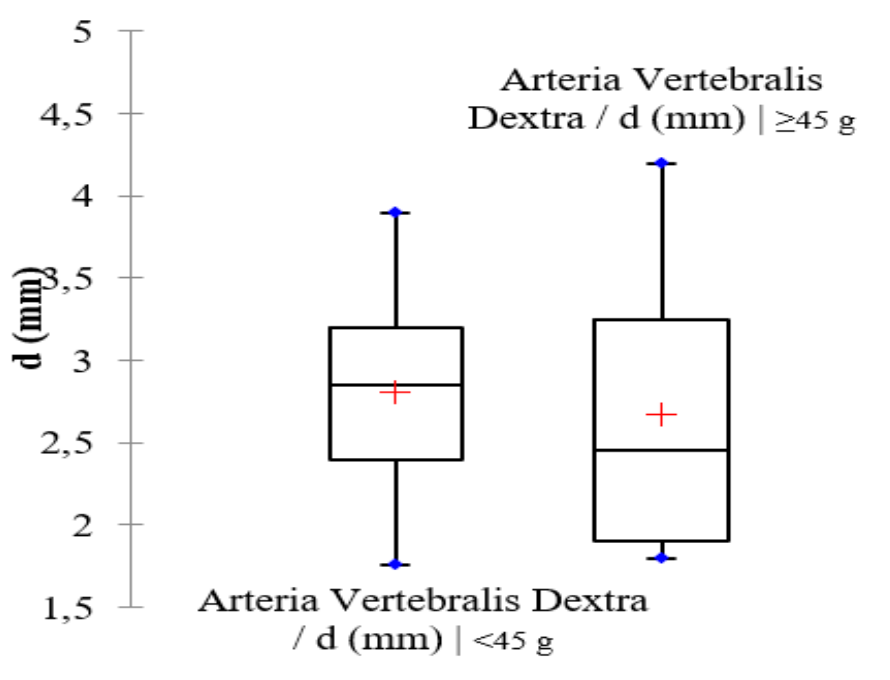
Кај arteria vertebralis dextra не беше утврдена статистички значајна разлика во дијаметарот помеѓу двете возрасни групи ($p=0,397$). Медијаната на дијаметарот изнесуваше 2,85 mm (IQR: 2,40–3,20 mm) кај испитаниците помлади од 45 години и 2,45 mm (IQR: 1,90–3,25 mm) кај испитаниците на возраст од 45 години и повеќе.

Овие резултати укажуваат дека возраста не влијае статистички значајно врз дијаметарот на arteria basilaris, arteria vertebralis sinistra и arteria vertebralis dextra во испитуваната група.

**Табела 10: Споредба на дијаметарот на arteria vertebralis dextra според
возрасна група (Mann–Whitney U тест)**

Table 10: Comparison of the diameter of the right vertebral artery by age group
(Mann–Whitney U test)

Варијабла	n	Min	Max	Q1	Med	Q 3	Mean	SD	MW/P
Arteria Vertebralis Dextra / d (mm) <45 г	24	1.76	3,90	2.40	2,85	3.20	2,81	0.66	0,3974
Arteria Vertebralis Dextra / d (mm) ≥45 г	36	1.80	4,20	1.90	2,45	3.25	2,67	0.84	



Графикон 13: Средни вредности на дијаметарот на arteria vertebralis dextra
според возрасна група

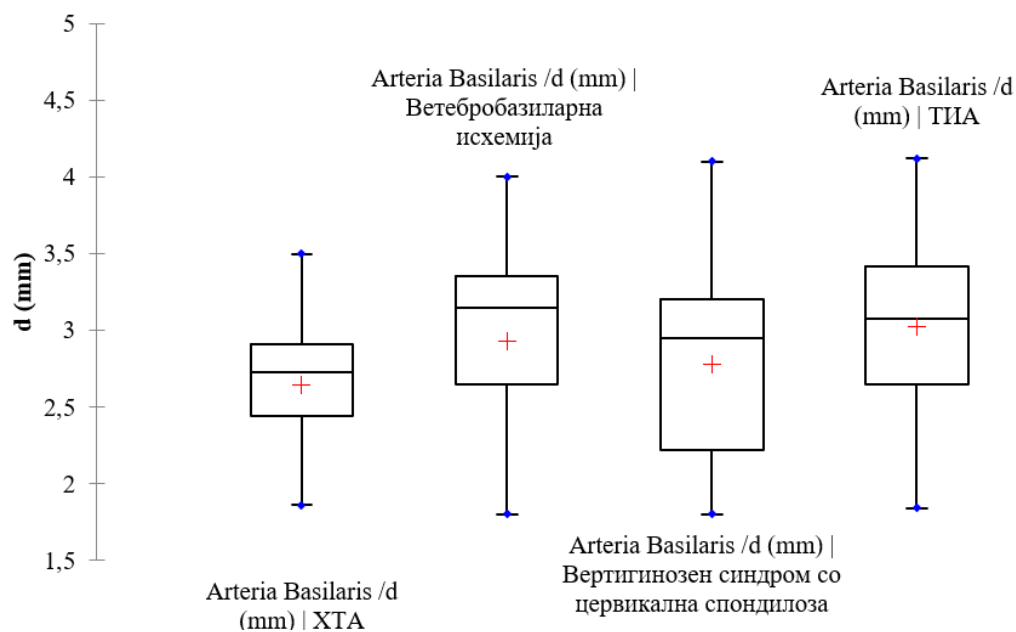
Graph.13: Mean values of the diameter of the right vertebral artery by age group

Споредбата на дијаметрите на испитуваните артерии според дијагностичката група беше извршена со Kruskal–Wallis тест. Кај аартеријат базиларис не беше утврдена статистички значајна разлика во дијаметарот помеѓу пациентите со артериска хипертензија (ХТА), вертебробазиларна исхемија, вертигинозен синдром со цервикална спондилоза и транзиторна исхемична атака (ТИА) ($p=0,454$). Медијаната на дијаметарот изнесуваше 2,73 mm (IQR: 2,44–2,91 mm) кај пациентите со ХТА, 3,15 mm (IQR: 2,65–3,35 mm) кај пациентите со вертебробазиларна исхемија, 2,95 mm (IQR: 2,22–3,20 mm) кај пациентите со вертигинозен синдром со цервикална спондилоза и 3,08 mm (IQR: 2,65–3,42 mm) кај пациентите со ТИА.

Табела11: Споредба на дијаметарот на arteria basilaris според дијагноза (Kruskal–Wallis U тест)

Table 11: Comparison of basilar artery diameter by diagnosis (Kruskal–Wallis U test)

Варијабла	n	Min	Max	Q1	Med	Q3	Mean	SD	KW/p
Arteria Basilaris/d (mm) ХТА	12	1,86	3,50	2,44	2,73	2,91	2,65	0,50	0,4538
Arteria Basilaris /d (mm) Вертебробазиларна исхемија	10	1,80	4,00	2,65	3,15	3,35	2,93	0,70	
Arteria Basilaris /d (mm) Вертигинозен синдром со цервикална спондилоза	30	1,80	4,10	2,22	2,95	3,20	2,78	0,65	
Arteria Basilaris /d (mm) ТИА	8	1,84	4,12	2,65	3,08	3,42	3,02	0,85	



Графикон 14: Средни вредности на дијаметарот на arteria basilaris според дијагноза

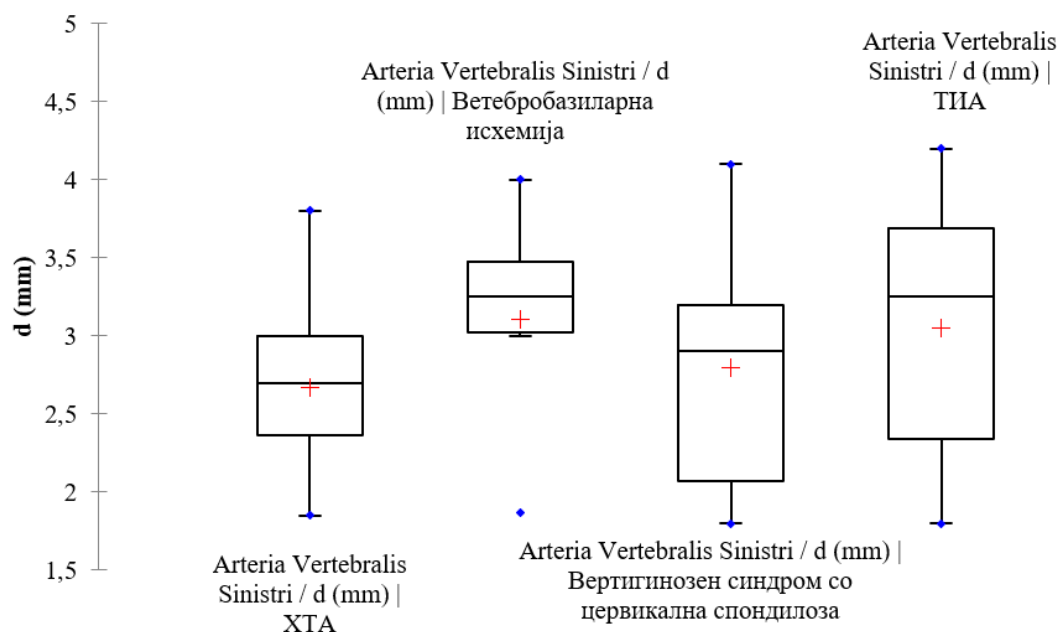
Graph. 14: Mean values of basilar artery diameter by diagnosis

Kaj arteria vertebralis sinistra, исто така, не беше утврдена статистички значајна разлика помеѓу дијагностичките групи ($p=0,907$). Медијаната на дијаметарот изнесуваше 2,70 mm (IQR: 2,37–3,00 mm) кај пациентите со ХТА, 3,25 mm (IQR: 3,03–3,48 mm) кај пациентите со вертебробазиларна исхемија, 2,90 mm (IQR: 2,07–3,20 mm) кај пациентите со вертигинозен синдром со цервикална спондилоза и 3,25 mm (IQR: 2,34–3,69 mm) кај пациентите со ТИА.

Табела 12: Споредба на дијаметарот на arteria vertebralis sinistri според дијагноза (Kruskal–Wallis U тест)

Table 12: Comparison of the diameter of the left vertebral artery by diagnosis (Kruskal–Wallis U test)

Варијабла	n	Min i	Max	Q1	Med	Q3	Mean	SD	KW/p
Arteria Vertebralis Sinistri / d (mm) ХТА	12	1,85	3,80	2,37	2,70	3,00	2,67	0,56	0,9071
Arteria Vertebralis Sinistri / d (mm) Ветебробазиларна исхемија	10	1,87	4,00	3,03	3,25	3,48	3,11	0,72	
Arteria Vertebralis Sinistri / d (mm) Вертигинозен синдром со цервикална спондилоза	30	1,80	4,10	2,07	2,90	3,20	2,80	0,66	
Arteria Vertebralis Sinistri / d (mm) ТИА	8	1,80	4,20	2,34	3,25	3,69	3,05	0,93	



Графиком 15: Средни вредности на дијаметарот на arteria vertebralis sinistri според дијагноза

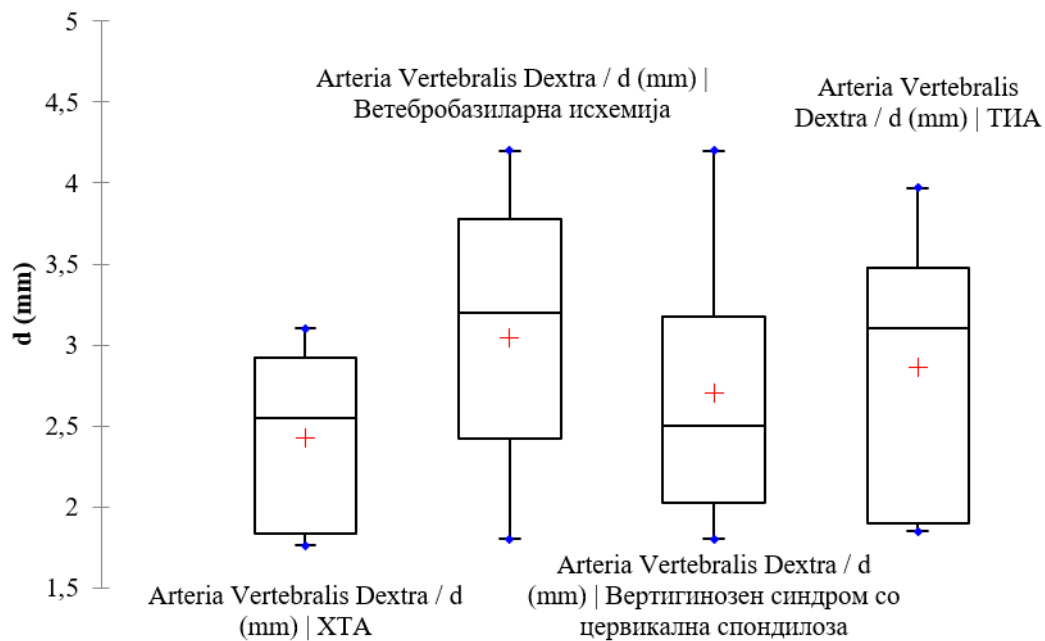
Graph 15: Mean values of the diameter of the left vertebral artery by diagnosis

Kaj arteria vertebralis dextra не беше утврдена статистички значајна разлика во дијаметарот помеѓу испитуваните дијагностички групи ($p=0,985$). Медијаната на дијаметарот изнесуваше 2,55 mm (IQR: 1,84–2,93 mm) кај пациентите со XTA, 3,20 mm (IQR: 2,43–3,78 mm) кај пациентите со вертебробазиларна исхемија, 2,50 mm (IQR: 2,03–3,18 mm) кај пациентите со вертигинозен синдром со цервикална спондилоза и 3,10 mm (IQR: 1,90–3,48 mm) кај пациентите со ТИА.

Табела 13: Споредба на дијаметарот на arteria vertebralis dextra според дијагноза (Kruskal–Wallis U тест)

Table 13: Comparison of the diameter of the right vertebral artery by diagnosis (Kruskal–Wallis U test)

Варијабла	n	Min	Max	Q1	Med	Q3	Mean	SD	KW/p
Arteria Vertebralis Dextra / d (mm) ХТА	12	1,76	3,10	1,84	2,55	2,93	2,43	0,56	0,9846
Arteria Vertebralis Dextra / d (mm) Ветербробазиларна исхемија	10	1,80	4,20	2,43	3,20	3,78	3,05	0,88	
Arteria Vertebralis Dextra / d (mm) Вертигинозен синдром со цервикална спондилоза	30	1,80	4,20	2,03	2,50	3,18	2,70	0,77	
Arteria Vertebralis Dextra / d (mm) ТИА	8	1,85	3,97	1,90	3,10	3,48	2,87	0,86	



Графикон 16: Средни вредности на дијаметарот на arteria vertebralis dextra според дијагноза

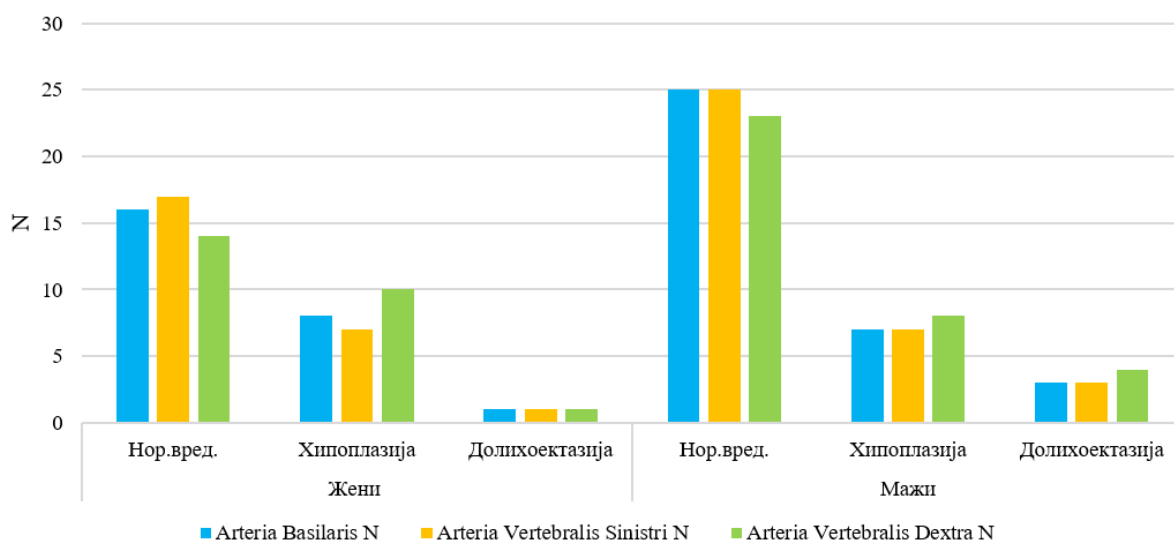
Graph 16: Mean values of the diameter of the right vertebral artery by diagnosis

Овие резултати покажуваат дека не постои статистички значајна разлика во дијаметрите на arteria basilaris, arteria vertebralis sinistra и arteria vertebralis dextra помеѓу испитуваните дијагностички групи. (табела 9, 10 и 11) Во анализата на морфолошките карактеристики на Arteria basilaris и Arteriaae vertebrales според полот, нормалниот наод беше најчесто застапен кај двата пола.

Табела 14: Дистрибуција на морфолошките варијанти на Arteria basilaris и Arteriae vertebrales според полот и резултати од Fisher-овиот егзактен тест

Table 14: Distribution of morphological variants of Arteria basilaris and Arteriae vertebrales by gender and results of Fisher's exact test

Пол	Артерија со:	n Arteria Basilaris	n Arteria Vertebralis Sinistri	n Arteria Vertebralis Dextra
Жени	Нор.вред.	16	17	14
	Хипоплазија	8	7	10
	Долихоектазија	1	1	1
Мажи	Нор.вред.	25	25	23
	Хипоплазија	7	7	8
	Долихоектазија	3	3	4
p (Fisher's exact test):		0,52	0,63	0,30



Графикон 17; Дистрибуција на морфолошките варијанти на Arteria basilaris и Arteriae vertebrales според полот

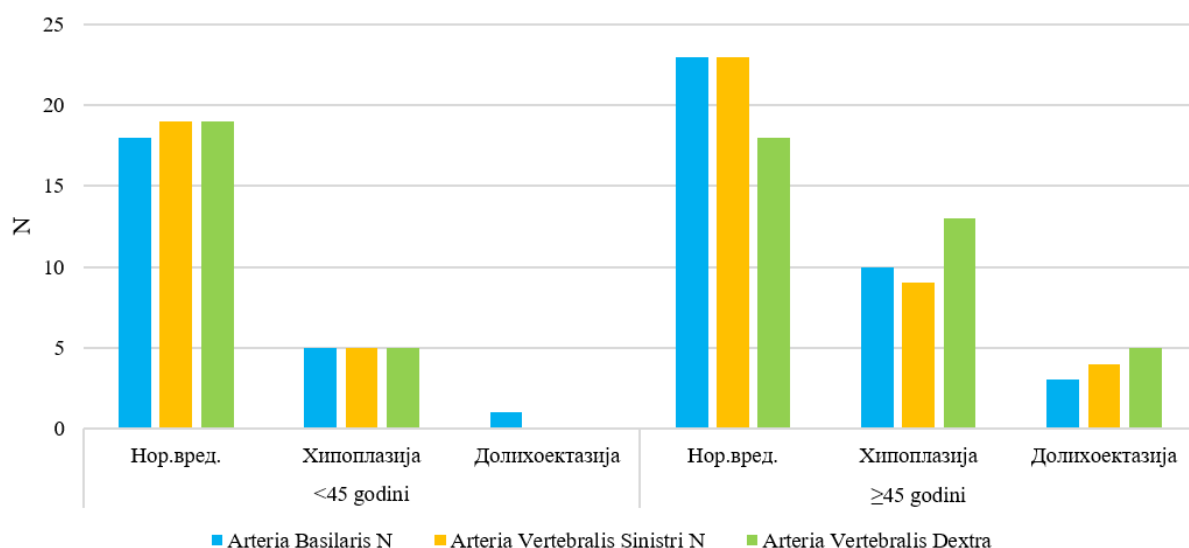
Graph 17; Distribution of morphological variants of Arteria basilaris and Arteriae vertebrales by gender

Kaj Arteria basilaris нормален наод беше регистриран кај 16 жени и 25 мажи, хипоплазија кај 8 жени и 7 мажи, а долихоектазија кај 1 жена и 3 мажи. Kaj Arteria vertebralis sinistra нормален наод беше присутен кај 17 жени и 25 мажи, хипоплазија кај по 7 испитаници од двата пола, а долихоектазија кај 1 жена и 3 мажи. Kaj Arteria vertebralis dextra нормален наод беше евидентиран кај 14 жени и 23 мажи, хипоплазија кај 10 жени и 8 мажи, а долихоектазија кај 1 жена и 4 мажи. Fisher-овиот егзактен тест не покажа статистички значајна поврзаност помеѓу полот и морфолошките карактеристики на Arteria basilaris ($p=0,52$), Arteria vertebralis sinistra ($p=0,63$) и Arteria vertebralis dextra ($p=0,30$), што укажува на слична распределба на испитуваните варијанти кај мажите и жените. (Табела 12 и Графикон 11)

Табела 15: Дистрибуција на морфолошките варијанти на Arteria basilaris и Arteriaae vertebrales според возрастните групи и резултати од Fisher-овиот егзактен тест

Table 15: Distribution of morphological variants of Arteria basilaris and Arteriaae vertebrales according to age groups and results of Fisher's exact test

Возрасна група	Артерија со:	n Arteria Basilaris	n Arteria Vertebralis Sinistri	n Arteria Vertebralis Dextra
<45 godini	Нор.вред.	18	19	19
	Хипоплазија	5	5	5
	Долихоектазија	1	0	0
≥45 godini	Нор.вред.	23	23	18
	Хипоплазија	10	9	13
	Долихоектазија	3	4	5
p (Fisher's exact test):		0,63	0,22	0,04



Графикон 18: Дистрибуција на морфолошките варијанти на Arteria basilaris и Arteriae vertebrales според возрастните групи

Graph.18: Distribution of morphological variants of Arteria basilaris and Arteriae vertebrales according to age groups

Во анализата на морфолошките карактеристики на Arteria basilaris и Arteriae vertebrales според возраста, нормалниот наод беше најчесто застапен во двете возрастни групи. Кај испитаниците помлади од 45 години, нормален наод на Arteria basilaris беше регистриран кај 18 испитаници, хипоплазија кај 5, а долхоектазија кај 1 испитаник. Кај испитаниците на возраст од 45 години и повеќе, нормален наод беше присутен кај 23 испитаници, хипоплазија кај 10, а долхоектазија кај 3 испитаници. (Табела 13 и Графикон 12). Кај Arteria vertebralis sinistra, во групата под 45 години нормален наод беше евидентиран кај 19 испитаници, хипоплазија кај 5, без случаи на долхоектазија, додека во групата ≥45 години нормален наод беше присутен кај 23 испитаници, хипоплазија кај 9 и долхоектазија кај 4 испитаници. Кај Arteria vertebralis dextra, во помладата возрастна група нормален наод беше забележан кај 19 испитаници, хипоплазија кај 5, без случаи на долхоектазија, додека кај постарата возрастна група нормален наод беше регистриран кај 18 испитаници, хипоплазија кај 13 и долхоектазија кај 5 испитаници. (Табела 13 и Графикон 12)

Fisher-овиот егзактен тест ` покажа статистички значајна поврзаност помеѓу возраста и морфолошките карактеристики на Arteria basilaris ($p=0,68$) и Arteria

vertebralis sinistra ($p=0,22$). Сепак, беше утврдена статистички значајна поврзаност помеѓу возраста и морфолошките карактеристики на Arteria vertebralis dextra ($p=0,04$), при што хипоплазијата и долихоектазијата беа почесто застапени кај испитаниците на возраст од 45 години и повеќе. (Табела 13 и Графикон 12)

Во анализата на морфолошките карактеристики на Arteria basilaris и Arteriae vertebrales според дијагнозата (Табела 14 и Графикон 13), нормалниот наод беше најчесто застапен во сите дијагностички групи. Кај пациентите со ХТА, нормален наод на Arteria basilaris беше регистриран кај 9 пациенти, хипоплазија кај 3, без случаи на долихоектазија. Кај пациентите со вертебробазиларна исхемија, нормален наод беше присутен кај 7 пациенти, хипоплазија кај 2 и долихоектазија кај 1 пациент. Кај пациентите со вертигинозен синдром со цервикална спондилоза, нормален наод беше најчест (21 пациент), додека хипоплазија и долихоектазија беа регистрирани кај 8, односно 1 пациент. Кај пациентите со ТИА, нормален наод беше евидентиран кај 4 пациенти, хипоплазија кај 2 и долихоектазија кај 2 пациенти. (Табела 14 и Графикон 13)

Слична распределба беше забележана и кај Arteria vertebralis sinistra и Arteria vertebralis dextra, при што нормалниот наод доминираше во сите дијагностички категории, а хипоплазијата и долихоектазијата беа поретко застапени.

Fisher-овиот егзактен тест не покажа статистички значајна поврзаност помеѓу дијагнозата и морфолошките карактеристики на Arteria basilaris ($p=0,60$), Arteria vertebralis sinistra ($p=0,59$) и Arteria vertebralis dextra ($p=0,83$). Овие резултати укажуваат дека распределбата на нормалниот наод, хипоплазијата и долихоектазијата не се разликува значајно помеѓу различните дијагностички групи.

Табела 16: Дистрибуција на морфолошките варијанти на Arteria basilaris и Arteriae vertebrales според дијагнозата и резултати од Fisher-овиот егзактен тест

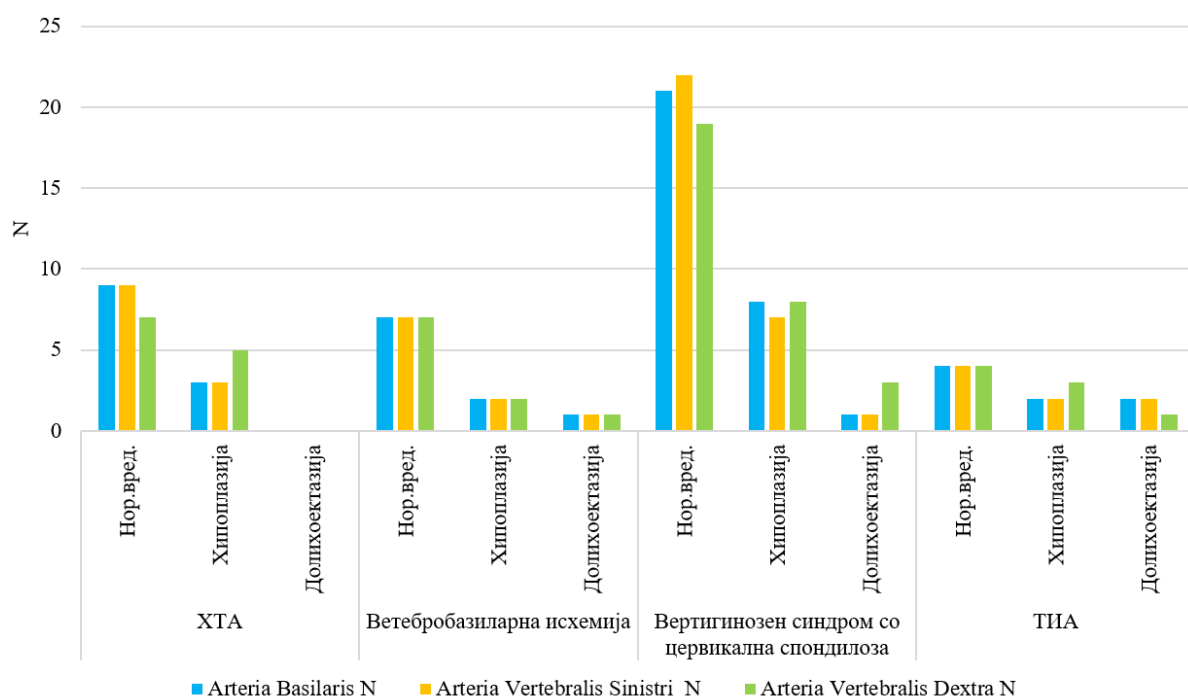
Table 16: Distribution of morphological variants of Arteria basilaris and Arteriae vertebrales according to diagnosis and results of Fisher's exact test

Дијагноза	Артерија со:	n Arteria Basilaris	n Arteria Vertebralis Sinistri	n Arteria Vertebralis Dextra
ХТА	Нор.вред.	9	9	7
	Хипоплазија	3	3	5
	Долихоектазија	0	0	0
Ветebroба зиларна исхемија	Нор.вред.	7	7	7
	Хипоплазија	2	2	2
	Долихоектазија	1	1	1
Вертигиноз ен синдром со цервикална спондилоза	Нор.вред.	21	22	19
	Хипоплазија	8	7	8
	Долихоектазија	1	1	3
ТИА	Нор.вред.	4	4	4
	Хипоплазија	2	2	3
	Долихоектазија	2	2	1
p (Fisher's exact test):		0,60	0,59	0,83

Табела 14 ја прикажува распределбата на морфолошките варијанти на **arteria basilaris**, **arteria vertebralis sinistra** и **arteria vertebralis dextra** во однос на клиничката дијагноза. Кај сите анализирани дијагностички групи најзастапена е **нормалната морфологија**, додека хипоплазијата се јавува со умерена

застапеност, а долхоектазијата е релативно ретка варијанта. Најголем број случаи со нормални морфолошки карактеристики се забележуваат кај пациентите со **вертигинозен синдром и цервикална спондилоза**, што кореспондира со нивната најголема застапеност во испитуваната група. Хипоплазијата е присутна во сите дијагностички категории, додека долхоектазијата почесто се среќава кај пациентите со **транзиторна исхемична атака (ТИА)** и кај оние со **вертебробазиларна исхемија**.

Резултатите од **Fisher-овиот егзактен тест** не покажаа статистички значајна поврзаност помеѓу морфолошките варијанти на **arteria basilaris** ($p = 0,60$), **arteria vertebralis sinistra** ($p = 0,59$) и **arteria vertebralis dextra** ($p = 0,83$) и поставената клиничка дијагноза ($p < 0,05$). Овие наоди укажуваат дека во испитуваната група е докажана значајна асоцијација помеѓу типот на морфолошка варијација и конкретната клиничка манифестација, иако одредени варијанти се почести кај пациентите со исхемични цереброваскуларни состојби.



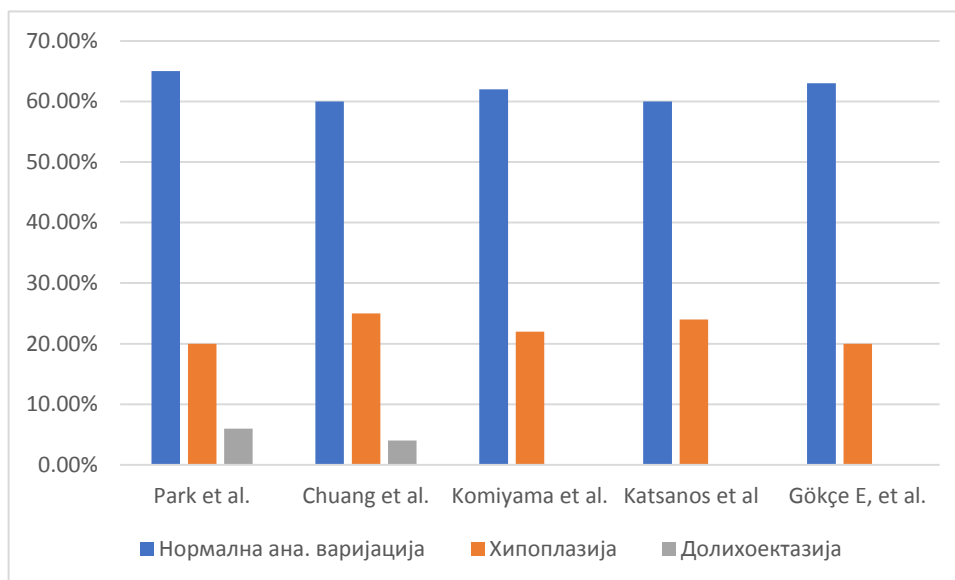
Графикон 19: Дистрибуција на морфолошките варијанти на Arteria basilaris и Arteriae vertebrales според дијагноза

Chart 19: Distribution of morphological variants of Arteria basilaris and Arteriae vertebrales according to diagnosis

Табела 17. Споредба на морфолошки анатомски варијации ВБС (наша студија vs литература)

Table 17. Comparison of morphological anatomical variations of VBS (our study vs literature)

Студија	Нормална ана. варијација	Хипоплазија	Долихоектазија
Наша студија	58,3 %	24.6 %	5-7 %
Park et al.[31]	65.0 %	20.0 %	6 %
Chuang et al.[73]	60.0 %	25.0 %	4 %
Komiyama et al.[67]	62 %	22.0 %	2-6 %
Katsanos et al [54]	60.0 %	24.0 %	3-6 %
Gökçe E, et al.[175].	63.0 %	20.0 %	2-5 %



Графикон 20: Споредба на морфолошки анатомски варијации ВБС (наша студија vs литература)

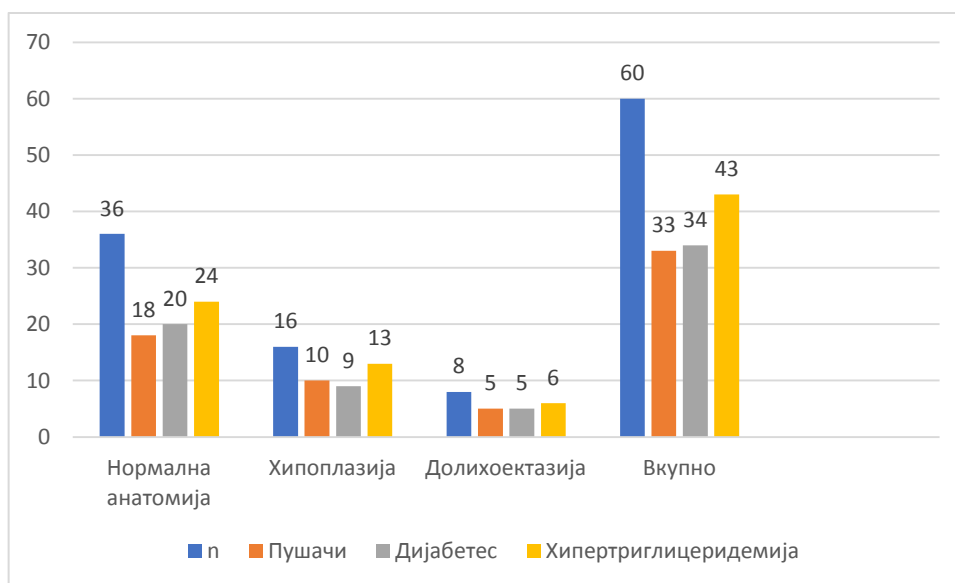
Graph. 20: Comparison of morphological anatomical variations of VBS (our study vs literature)

Табела 15 и Графикон 18 ја прикажуваат споредбата на резултатите од нашата студија со податоците објавени во меѓународната литература. Анализата покажува висока усогласеност на добиените наоди со резултатите на Park et al., Chuang et al., Komiyama et al., Katsanos et al. и Gökçe et al., што ја потврдува валидноста и репрезентативноста на испитуваната популација. Нормалната анатомија на вертебробазиларниот систем беше утврдена кај 58,3% од испитаниците, што е споредливо со вредностите пријавени во литературата (60–65%). Хипоплазијата беше регистрирана кај 24,6% од испитаниците, што практично кореспондира со резултатите на Chuang et al. (25,0%), Katsanos et al. (24,0%), Komiyama et al. (22,0%), Park et al. (20,0%) и Gökçe et al. (20,0%). Овие наоди потврдуваат дека хипоплазијата претставува една од најчестите анатомски варијации на вертебробазиларниот систем. Долихоектазијата на arteria basilaris беше присутна кај 5–7% од испитаниците, што е во рамките на опсегот пријавен во претходните студии (2–6%). Ваквата зачестеност потврдува дека долихоектазијата е релативно ретка, но клинички значајна морфолошка варијација на задната церебрална циркулација. Малите разлики помеѓу нашите резултати и оние од другите автори најверојатно се должат на разликите во големината на примерокот, етничките и демографските карактеристики на испитуваните популации, како и на различните дијагностички критериуми и радиолошки методи користени во поединечните истражувања. Дополнително, резултатите од нашата студија укажуваат на доминација на левата вертебрална артерија во однос на десната, наод кој е во согласност со повеќето современи анатомски и радиолошки истражувања. Оваа појава се објаснува со ембриолошкиот развој, анатомските особености и хемодинамските карактеристики на вертебробазиларниот систем. Ваквите анатомски варијации имаат важно клиничко значење, бидејќи можат да влијаат врз хемодинамиката на задната церебрална циркулација и да придонесат кон појава на вертебробазиларна инсуфициенција, транзиторни исхемични атаки и други цереброваскуларни нарушувања.

Табела 18: Распределба на морфолошки варијации според ризик фактори

Table 18: Distribution of morphological variations according to risk factors

Ризик фактори	n	Пушачи	Дијабетес	Хипертриглицеридемија
Нормална анатомија	36	18	20	24
Хипоплазија	16	10	9	13
Долихоектазија	8	5	5	6
Вкупно	60	33	34	43



Графикон 21: Распределба на морфолошки варијации според ризик фактори

Graph. 21: Distribution of morphological variations according to risk factors

Во анализираната популација, највисока застапеност на дијабетес и хипертриглицеридемија е забележана кај пациентите со нормална анатомија, додека кај пушењето, хипоплазијата и долихоектазијата се забележува релативно рамномерна распределба на ризик факторите. Пушењето е слично распределено меѓу сите морфолошки групи. Кардиоваскуларните ризик

фактори, како што се дијабетес мелитус, хипертриглицеридемија и пушење, немаат директна причинска улога во настанокот на морфолошките варијации на ВБС, но имаат значајно влијание врз хемодинамиката и клиничката манифестација на истите. Овие фактори преку ендотелна дисфункција, атеросклеротски промени и нарушена васкуларна реактивност можат да ја намалат перфузијата во задната циркулација, со што се зголемува ризикот за појава на симптоми како: вртоглавица, транзиторни исхемични атаки и други манифестации на вертебробазиларна инсуфициенција. Особено кај пациенти со хипоплазија на вертебралните артерии, присуството на дополнителни ризик фактори може да доведе до функционална декомпензација на веќе редуциран проток, додека кај долихоектазијата турбулентниот проток дополнително го зголемува ризикот од хемодинамска нестабилност. Литературните податоци покажуваат конзистентна асоцијација помеѓу класичните кардиоваскуларни ризик фактори, како што се дијабетес мелитус, пушење и хипертриглицеридемија, и заболувањата на вертебробазиларниот систем. Дијабетес мелитус е поврзан со зголемен ризик за развој на вертебрална артериска болест преку механизми на микроангиопатија и забрзана атеросклероза, додека пушењето делува преку ендотелна дисфункција и вазоконстрикција. Хипертриглицеридемијата, како дел од дислипидемичниот синдром, придонесува за формирање на атеросклеротски плаки и нарушена васкуларна функција. Современите студии укажуваат дека овие фактори имаат особено изразено влијание во задната циркулација, вклучувајќи го вертебробазиларниот систем, каде што анатомските варијации дополнително ја намалуваат хемодинамската резерва и ја зголемуваат чувствителноста на исхемични промени [176,177,178].

10.ДИСКУСИЈА

Вертебробазиларниот систем претставува клучна компонента на задната церебрална циркулација и е одговорен за крвоснабдување на мозочното стебло, малиот мозок, таламусот, окципиталните лобуси и горните сегменти на цервикалниот рбетен мозок. Поради неговата витална улога во одржувањето на невролошките функции, анатомските варијации на вертебралните и базиларната артерија претставуваат предмет на бројни клинички, радиолошки и анатомски истражувања. Во нашата студија беа анализирани 60 пациенти од Полошкиот регион, од кои 25 (41,67%) беа жени и 35 (58,33%) мажи, со средна возраст од $45,00 \pm 12,00$ години. Анализата беше насочена кон морфометриските карактеристики на десната вертебрална артерија (AVD), левата вертебрална артерија (AVS) и базиларната артерија (AB), како и кон идентификација на најчестите анатомски варијации на вертебробазиларниот систем. Резултатите покажаа дека нормалната анатомска конфигурација на вертебробазиларниот систем е присутна кај 58,3% од испитаниците. Овој наод е во согласност со резултатите на Park et al. (65%), Chuang et al. (60%), Komiyama et al. (62%), Katsanos et al. (60%) и Gökçe et al. (63%). Иако постојат мали варијации помеѓу студиите, сите автори потврдуваат дека нормалната анатомска конфигурација претставува најчест морфолошки облик на вертебробазиларниот систем. Во нашата студија хипоплазија на вертебрална артерија беше регистрирана кај 24,6% од испитаниците. Овој резултат практично се совпаѓа со резултатите на Chuang et al. (25%), Katsanos et al. (24%), Komiyama et al. (22%), Park et al. (20%) и Gökçe et al. (20%). Според повеќето автори, хипоплазијата на вертебралната артерија претставува најчеста анатомска варијација на задната церебрална циркулација и може да има значајни хемодинамски последици. Хипопластичната вертебрална артерија обично покажува намален дијаметар и намален волуменски проток на крв. Како резултат на тоа, контралатералната артерија често станува доминантна и обезбедува компензација на крвоснабдувањето. Во нашата студија беше забележана почеста доминација на левата вертебрална артерија, што е во согласност со бројни анатомски и ангиографски студии. Оваа појава најчесто се објаснува со ембриолошките карактеристики на развојот на аортниот лак и со директното потекло на левата субклавијална артерија од аортата, што

овозможува поголем дијаметар и поголем проток во левата вертебрална артерија. Посебно значење има фактот што хипоплазијата на вертебралната артерија е поврзана со вертебробазиларна инсуфициенција, транзиторни исхемични атаки и исхемични инфаркти во задната циркулација. Во нашата група пациенти беа присутни симптоми како вертигинозен синдром, вртоглавица, цервикални тегоби, вертебробазиларна исхемија и транзиторни исхемични атаки. Најзастапен беше вертигинозниот синдром со цервикална спондилоза (50%), по што следуваа есенцијална хипертензија (20%), вертебробазиларна исхемија (16,67%) и транзиторна исхемична атака (13,33%). Овие резултати укажуваат на можна клиничка поврзаност помеѓу анатомските варијации и симптомите кои се јавуваат како резултат на нарушена хемодинамика во задната мозочна циркулација. Долихоектазијата на базиларната артерија беше регистрирана кај приближно 5–7% од испитаниците. Овој резултат е во согласност со литературата, каде што зачестеноста се движи од 2% до 6%. Park et al. пријавуваат застапеност од 6%, Chuang et al. 4%, Komiyama et al. 2–6%, Katsanos et al. 3–6%, а Gökçe et al. 2–5%. Ваквата усогласеност потврдува дека долихоектазијата претставува релативно ретка, но клинички значајна васкуларна варијација. Долихоектазијата на базиларната артерија може да предизвика компресија на соседните неврални структури, нарушувања во ликворната циркулација, исхемични мозочни настани и формирање на тромботични промени. Иако нејзината застапеност е релативно ниска, нејзиното препознавање има големо клиничко значење поради потенцијалните невролошки компликации. Во однос на полот и возраста, нашите резултати покажаа постоење на разлики во морфометриските параметри на вертебралните артерии и базиларната артерија. Поголемите вредности на дијаметрите кај машките испитаници можат да се објаснат со поголемите телесни димензии, поголемата васкуларна површина и повисоките хемодинамски потреби. Слични наоди се опишани и во повеќе меѓународни студии, каде полот претставува значаен фактор што влијае врз големината на крвните садови. Возраста исто така има значајно влијание врз морфологијата на вертебробазиларниот систем. Со стареењето доаѓа до постепени дегенеративни промени на артерискиот ѕид, намалување на еластичноста и појава на атеросклеротични промени. Овие процеси можат да придонесат за појава на асиметрија, тортуозитет и долихоектазија, како и за намалување на

церебралната перфузија кај повозрасните пациенти. Резултатите од нашата студија ја потврдуваат важноста на радиолошките методи во проценката на вертебробазиларниот систем. Магнетнорезонантната ангиографија, компјутеризираната томографска ангиографија и колор-доплер ултрасонографијата овозможуваат сигурна идентификација на анатомските варијации и нивна прецизна морфометриска анализа. Овие методи имаат особено значење во планирањето на ендоваскуларни процедури, микроваскуларни реконструкции и хируршки интервенции во пределот на задната черепна јама. Генерално, резултатите од ова истражување покажуваат висока усогласеност со податоците од светската литература. Зачестеноста на нормалната анатомија, хипоплазијата и долихоектазијата се наоѓа во границите пријавени од претходните автори. Дополнително, потврдена е почестата доминација на левата вертебрална артерија и влијанието на полот и возраста врз морфометриските карактеристики на вертебробазиларниот систем. Овие наоди имаат значајна клиничка вредност бидејќи овозможуваат подобро разбирање на анатомската варијабилност на задната церебрална циркулација, поефикасна интерпретација на радиолошките наоди и попрецизно планирање на дијагностичките, терапевтските и хируршките процедури кај пациентите со вертебробазиларни заболувања.

11.ЗАКЛУЧОК

- Во оваа студија беа анализирани морфометриските карактеристики и анатомските варијации на arteria vertebralis dextra (AVD), arteria vertebralis sinistra (AVS) и arteria basilaris (AB) кај 60 испитаници од Полошкиот регион со различна клиничка симптоматологија и вертебробазиларни нарушувања.
- Анализата покажа дека нормалната анатомска конфигурација на вертебробазиларниот систем беше најчесто застапена и беше утврдена кај 58,3% од испитаниците, што е во согласност со податоците од релевантната меѓународна литература.
- Хипоплазијата на вертебралните артерии беше регистрирана кај 24,6% од испитаниците и претставуваше најчеста анатомска варијација на вертебробазиларниот систем. Нејзината зачестеност се наоѓа во рамките на вредностите пријавени во претходни анатомски и радиолошки студии.
- Долихоектазијата на arteria basilaris беше утврдена кај приближно 5–7% од испитаниците, што е споредливо со резултатите објавени во светската литература и потврдува дека оваа варијација претставува релативно ретка морфолошка промена на вертебробазиларниот систем.
- Морфометриската анализа покажа постоење на разлики во дијаметрите на испитуваните артерии во однос на полот, при што машките испитаници генерално имаа поголеми вредности во споредба со женските, особено кај arteria vertebralis dextra.

- Анализата потврди дека левата вертебрална артерија почесто е доминантна во однос на десната, што е во согласност со наодите на бројни анатомски, ангиографски и клинички студии.

- Анализата на дијаметрите на артериите од вертебробазиларниот систем покажа дека **arteria basilaris** има најголем просечен дијаметар ($3,22 \pm 0,58 \text{ mm}$), што е во согласност со нејзината улога како главен артериски сад на задната церебрална циркулација.

- Кај вертебралните артерии е утврдена **доминација на левата vertebralis** ($2,95 \pm 0,67 \text{ mm}$) во однос на десната ($2,68 \pm 0,77 \text{ mm}$), што кореспондира со податоците од литературата.

- Возраста покажа влијание врз појавата на одредени морфолошки промени, при што хипоплазијата и долихоектазијата беа почесто застапени кај повозрасните испитаници, што укажува на можната улога на старосните и дегенеративните васкуларни промени во нивната појава.

- Кај испитаниците со вертигинозен синдром, вертебробазиларна исхемија и транзиторни исхемични атаки беше забележана поголема застапеност на анатомски варијации на вертебробазиларниот систем, што укажува на нивното потенцијално клиничко значење во развојот на нарушувања на задната церебрална циркулација.

- Добиените резултати ја потврдуваат важноста на магнетнорезонантната ангиографија, компјутеризираната томографија и колор-доплер ултрасонографијата како сигурни и неинвазивни методи за детекција и проценка на анатомските варијации на вертебробазиларниот систем.

- Споредбата на резултатите со податоците од меѓународната литература покажа висока усогласеност во однос на зачестеноста на нормалната анатомија, хипоплазијата и долихоектазијата, што укажува дека испитуваната популација од Полошкиот регион не отстапува значително од другите анализирани популации.

- Познавањето на анатомските варијации на вертебробазиларниот систем има значајна клиничка важност при дијагностицирање на цереброваскуларните заболувања, интерпретација на радиолошките наоди и планирање на неврохируршки и ендоваскуларни процедури.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Standing S. Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice. 42nd ed. Elsevier; 2020.
- [2]. Hall JE. Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology. 14th ed. Elsevier; 2020.
- [3]. Tsantili AR, Karampelias V, et al. Anatomical variations of human vertebral and basilar arteries: A current review of the literature. *Morphologie*. 2023;107(357):169–175.
- [4]. Bogousslavsky J, Caplan LR. Stroke Syndromes. 2nd ed. Cambridge University Press; 2001.
- [5]. Ropper AH, Samuels MA, Klein JP. Adams and Victor's Principles of Neurology. 12th ed. McGraw-Hill; 2022.
- [6]. Daroff RB, Jankovic J, Mazziotta JC, Pomeroy SL. Bradley's Neurology in Clinical Practice. 8th ed. Elsevier; 2022.
- [7]. Caplan LR. Posterior Circulation Disease. 2nd ed. Cambridge University Press; 2015.
- [8]. Osborn AG. Diagnostic Cerebral Angiography. 2nd ed. Lippincott Williams & Wilkins; 1999.
- [9]. Finger S. Origins of Neuroscience. Oxford University Press; 1994.
- [10]. Bergman RA, Afifi AK, Miyauchi R. Illustrated Encyclopedia of Human Anatomic Variation. University of Washington; 2011.
- [11]. Uston C. The Circle of Willis: historical review. *J Hist Neurosci*. 2005;14(1):16–21.
- [12]. Purves D, Augustine GJ, et al. Neuroscience. 4th ed. Sinauer Associates; 2008.

- [13]. Muoio V, Persson PB, et al. Neurovascular unit review. *Acta Physiol.* 2014;210(4):790–798.
- [14]. Newell DW, Rhoton AL Jr. Cerebral Circulation and Stroke. Blackwell; 2001.
- [15]. Moore KL, Dalley AF. Clinically Oriented Anatomy. 8th ed. Wolters Kluwer; 2018.
- [16]. Oumer M, et al. Circle of Willis and ischemic stroke: meta-analysis. *BMC Neurosci.* 2021;22:23.
- [17]. Liebeskind DS. Collateral circulation. *Stroke.* 2007;38(2):670–677.
- [18]. Caplan LR. Hemodynamics and cerebral ischemia. *J Neuroimaging.* 2009;19(1):1–7.
- [19]. van der Worp HB, van Gijn J. Acute ischemic stroke. *N Engl J Med.* 2007;357:572–579.
- [20]. Schmahmann JD, et al. Vascular territories of the brain. *NeuroImage.* 2016;124:123–140.
- [21]. Zhang R, et al. Cerebral blood flow aging. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2002;22:1191–1200.
- [22]. Nedergaard M, Goldman SA. Glymphatic system. *Science.* 2020;370:50–56.
- [23]. Kipnis J. Meningeal lymphatics. *Nature.* 2018;560:185–191.
- [24]. Bruno RM, et al. Cerebral autoregulation review. *Lancet Neurol.* 2022;21:684–698.
- [25]. Ota T. Cerebral venous anatomy. *Stroke Vasc Interv Neurol.* 2023;4:e001050.
- [26]. Saposnik G, et al. Cerebral venous thrombosis. *Stroke.* 2011;42:1158–1192.
- [27]. Rothwell PM. Stroke risk factors. *Lancet.* 2016;388:105–118.

- [28]. Hong JM, Chung CS, Bang OY, et al. Vertebral artery dominance contributes to basilar artery curvature and peri-vertebrobasilar junction infarcts. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2009;80(10):1087–1092.
- [29]. Tzeng YC, Ainslie PN. Blood pressure regulation and cerebral blood flow control. *Physiol Rev*. 2023;103(1):1–45.
- [30]. Willie CK, et al. Cerebral blood flow regulation. *J Physiol*. 2014;592:841–859.
- [31]. Park JH, Roh JK. Vertebral artery hypoplasia: frequency and associations with ischemic stroke territory. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2007;78(9):954–958.
- [32]. Winn HR. Youmans Neurological Surgery. 8th ed. Elsevier; 2023.
- [33]. Jeng JS, Yip PK. Evaluation of vertebral artery hypoplasia and asymmetry by duplex ultrasonography. *Ultrasound Med Biol*. 2004;30(5):605–609.
- [34]. Giannopoulos S, Markoula S, et al. Vertebral artery hypoplasia and posterior circulation ischemia. *Neurol Res*. 2007;29(6):595–600. Huang Y, et al. Cervical artery dissection. *Neurology*. 2013;80:1800–1807.
- [35]. Delcker A, Diener HC. Vertebral artery hypoplasia and brainstem infarction. *Stroke*. 1990;21(9):1310–1313.
- [36]. Huang Y, et al. Cervical artery dissection. *Neurology*. 2013;80:1800–1807.
- [37]. Willie CK, et al. Brain blood flow integration. *J Physiol*. 2014;592:841–859.
- [38]. Edvinsson L, Krause DN. Cerebral Blood Flow. 2020.
- [39]. Zarrinkoob L, Ambarki K, et al. Blood flow distribution in cerebral arteries. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2015;35(4):648–654.
- [40]. Willis T. Cerebri Anatome. 1664.
- [41]. Dolui S, Wang Z, Wang DJJ, et al. Comparison of non-invasive MRI measurements of cerebral blood flow in a large multisite cohort. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2016;36(7):1244–1256

- [42]. Kim YB, et al. Vertebral artery variations. *Surg Radiol Anat.* 2022;44:1035–1044.
- [43]. Steiner LA, Andrews PJ. ICP and CBF monitoring. *Br J Anaesth.* 2006;97:26–38.
- [44]. Nouh A, et al. Posterior circulation stroke. *Front Neurol.* 2021;12:682934.
- [44]. Nouh A, Remke J, Ruland S. Ischemic posterior circulation stroke: a review of anatomy, clinical presentations, diagnosis, and current management. *Front Neurol.* 2014;5:30.
- [45]. Padget DH. Cranial arteries development. *Contrib Embryol.* 1948;32:205–261.
- [46]. Lasjaunias P, et al. Neuroangiography. Springer; 2001.
- [47]. Raybaud C. Cerebral vascular embryology. *Neurosurg Clin N Am.* 2010;21:399–426.
- [48]. Uchino A, et al. MRA variations. *Neuroradiology.* 2012;54:1009–1014.
- [49]. Markus HS. Cerebral perfusion and stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2022.
- [50]. Maguida G, Shuaib A. Collateral circulation review. *J Stroke.* 2023;25:179–198.
- [51]. Mangiardi M, et al. Stroke collateral circulation. *Diagnostics.* 2023;13:2425.
- [52]. Fukuda KA, Liebeskind DS. Collateral imaging. *Radiol Clin N Am.* 2023;61:435–443.
- [53]. Nash PS, et al. Hypertension and small vessel disease. *Br J Hosp Med.* 2023;84:1–11.
- [54]. Katsanos AH, Kosmidou M, Kyritsis AP, Giannopoulos S. Vertebral artery hypoplasia in posterior circulation cerebral ischemia: a systematic review and meta-analysis. *J Neurol Sci.* 2013;336(1-2):1–5.

- [55]. Yamamoto Y, Ohara T, Hamanaka M, Hosomi A, Tamura A, Akiguchi I. Characteristics of intracranial vertebral artery hypoplasia and its relationship to posterior circulation ischemia. *Neurology*. 2012;79(9):868–873.
- [56]. Nedelmann M, Kaps M, Mueller-Forell W. Vertebral artery hypoplasia and posterior circulation stroke: frequency and clinical relevance. *Cerebrovasc Dis*. 2009;28(6):625–630.
- [57]. Kobayashi H, Morishita K, Hida K, et al. Clinical significance of vertebral artery asymmetry and vertebrobasilar circulation patterns. *Neurosurgery*. 2014;75(3):310–317.
- [58]. Song SY, Kim YB, Lee JW, et al. Hemodynamic influence of vertebral artery dominance on basilar artery morphology and posterior circulation blood flow. *Neuroradiology*. 2015;57(7):689–696.
- [59]. Wilson C, et al. Small-vessel disease in the brain. *Stroke Vasc Neurol*. 2023;8(2):e002301.
- [60]. Menshawi K, Mohr JP, Gutierrez J. A functional perspective on the cerebral blood supply. *J Stroke*. 2015;17(2):144–158.
- [61]. Krings T, Geibprasert S. Cerebral venous and arterial anatomy related to neurovascular disease. *Clin Neuroradiol*. 2011;21(2):83–92.
- [62]. van Raamt AF, Mali WP, van Laar PJ, van der Graaf Y. Fetal variant of circle of Willis. *Cerebrovasc Dis*. 2006;22(4):217–224.
- [63]. Kapoor K, Singh B, Dewan LI. Variations of the circle of Willis. *Anat Sci Int*. 2008;83(2):96–106.
- [64]. Loukas M, Tubbs RS, et al. Clinical anatomy of the vertebral artery. *Clin Anat*. 2021;34(7):1037–1051.
- [65]. Zhu G, Li M, et al. Vertebrobasilar system variations. *Front Neurol*. 2023;14:1187421.

- [66]. Stefani MA, Schneider FL, et al. Vertebral artery variations review. *Morphologie*. 2023;107(357):169–175.
- [67]. Komiyama M, Morikawa T, et al. Intracranial vertebral artery anatomy. *Sci Rep*. 2021;11:12138.
- [68]. Tubbs RS, Shoja MM, Loukas M. Bergman's Encyclopedia of Human Variation. Wiley-Blackwell; 2022.
- [69]. Omotoso BR, Lazarus L, Satyapal KS. Vertebral artery embryology review. *Surg Radiol Anat*. 2023;45:421–432.
- [70]. Dinç Y, Özpar R, et al. Vertebral artery hypoplasia and stroke risk. *Medicine (Baltimore)*. 2021;100:e27280.
- [71]. Choi JW, Kim JK, Choi BS, et al. Anatomical variations of the vertebral artery on CT angiography and their clinical implications. *Spine J*. 2020;20(9):1458–1465.
- [73]. Chuang YM, et al. Vertebral artery hypoplasia and stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2018;27:3450–3456.
- [74]. Park JH, Kim JM, Roh JK. Clinical significance of vertebral artery hypoplasia. *Cerebrovasc Dis*. 2016;42:239–246.
- [75]. De Monye C, et al. Vertebral artery hypoplasia prevalence. *Eur J Radiol*. 2012;81:1746–1750.
- [76]. Malamateniou C, Adamsbaum C, et al. MRI brain development. *Eur J Radiol*. 2012;81:e720.
- [77]. Otu E, Şen S, et al. Vertebral dominance and basilar curvature. *Surg Radiol Anat*. 2024;46:314–322.
- [78]. Satti SR, Cerniglia CA, Koenigsberg RA. Vertebral artery variations. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2022;43:734–741.
- [79]. Gutierrez J, Sacco RL, Wright CB. Vertebrobasilar dolichoectasia. *Stroke*. 2021;52:e650–e658.

- [80]. Salerno A, Strambo D, Nannoni S, et al. Posterior circulation stroke patterns. *Int J Stroke*. 2022;17:714–722.
- [81]. Schomer DF, Marks MP. Basilar artery anatomy. *Neurosurg Focus*. 2021;50:E1–E9.
- [82]. Amin-Hanjani S, Du X, Zhao M, et al. Hemodynamics of vertebrobasilar circulation. *Stroke*. 2021;52:2678–2686.
- [83]. Kulyk C, Rodriguez-Porcel F, et al. Morphological characteristics of the vertebrobasilar circulation. *Interv Neuroradiol*. 2018;24(6):636–644.
- [84]. Uddin MA, Haq TU, Rafique MZ. Cerebral venous system anatomy. *J Pak Med Assoc*. 2006;56:516–519.
- [85]. Osborn AG. Osborn's Brain Imaging, Pathology and Anatomy. Elsevier; 2023.
- [86]. Choi JW, Kim JK, et al. Anatomical variations of vertebral artery assessed with CTA. *Spine J*. 2020;20(9):1458–1465.
- [87]. Katsanos AH, et al. Posterior circulation stroke concepts. *Neurol Res*. 2024;46:85–96.
- [88]. Gutierrez J, Sacco RL, Wright CB. Vertebrobasilar dolichoectasia clinical correlations. *Stroke*. 2011;42:2746–2751.
- [89]. Del Brutto VJ, Mera RM, et al. Basilar artery dolichoectasia imaging. *J Neuroimaging*. 2017;27:365–371.
- [90]. Ubogu EE, Zaidat OO. Vertebrobasilar dolichoectasia. *Neurology*. 2004;62:895–900.
- [91]. Smoker WRK, Price MJ, et al. Vertebrobasilar dolichoectasia imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1986;7:23–30.
- [92]. Lindgren AE, et al. Posterior circulation ischemia and dolichoectasia. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2016;25:2487–2493.

- [93]. Feldmann E, et al. Brainstem compression syndromes. *Neurology*. 1990;40:1201–1204.
- [94]. Passero S, Filosomi G. Vertebrobasilar dolichoectasia review. *Neurol Sci*. 2013;34:1285–1291.
- [95]. Satti SR, et al. Basilar artery fenestration. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2010;31:976–980.
- [96]. Chen CJ, et al. Basilar artery anomalies. *Neuroradiology*. 2012;54:603–610.
- [97]. Gailloud P, Gregg L, et al. Arterial fenestration embryology. *J Neurosurg*. 2000;93:406–426.
- [98]. Amin-Hanjani S, et al. Hemodynamics vertebrobasilar system. *Stroke*. 2021;52:2678–2686.
- [100]. Krishnamurthy S, et al. Basilar artery clinical implications. *J NeuroInterv Surg*. 2022;14:1083–1090.
- [101]. Uddin MA, et al. Venous anatomy. *J Pak Med Assoc*. 2006;56:516–519.
- [102]. Osborn AG. Brain imaging anatomy. Elsevier; 2023.
- [103]. Loukas M, Tubbs RS. Bergman's Anatomy Variations. Wiley; 2022.
- [104]. Padget DH. Cranial artery development. *Contrib Embryol*. 1948;32:205–261.
- [105]. Hoksbergen AWJ, et al. Circle of Willis flow. *Front Neurol*. 2023;14:1187345.
- [106]. Katsanos AH, et al. Posterior circulation stroke. *Neurol Res*. 2024;46:85–96.
- [107]. Passero S, Filosomi G. Posterior circulation infarcts in patients with vertebrobasilar dolichoectasia. *Stroke*. 1998;29(3):653–659.
- [108]. Omotoso BR, Lazarus L, Satyapal KS. Embryology and anatomical variations of the vertebral artery. *Surg Radiol Anat*. 2023;45(4):421–432.

- [109]. Del Brutto VJ, Mera RM, et al. Basilar artery dolichoectasia: prevalence and association with cardiovascular risk factors in community-dwelling older adults. *J Neuroimaging*. 2017;27(4):365–371.
- [110]. Smoker WRK, Corbett JJ, Gentry LR, Keyes WD, Price MJ, McKusker S. High-resolution computed tomography of the basilar artery: normal size and position. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1986;7(1):55–60.
- [112]. Brohi AH, et al. Circle of Willis significance. *JBUMDC*. 2018;8:270–273.
- [113]. Passero S, Filosomi G. Vertebrobasilar review. *Neurol Sci*. 2013;34:1285–1291.
- [114]. Satti SR, et al. Basilar fenestration. *AJNR*. 2010;31:976–980.
- [115]. Chen CJ, et al. Basilar anomalies. *Neuroradiology*. 2012;54:603–610.
- [116]. Gailloud P, et al. Embryologic arterial variants. *J Neurosurg*. 2000;93:406–426.
- [117]. Gailloud P, et al. Intracranial arterial fenestration. *J Neurosurg*. 2000;93:406–426.
- [117]. Park JH, Kim JM, Roh JK. Clinical significance of basilar artery variations and vertebrobasilar geometry in posterior circulation stroke. *Cerebrovasc Dis*. 2016;42(3-4):239–246.
- [118]. Tudose RC, et al. Vertebral artery variations meta-analysis. *Diagnostics*. 2023;13:2036.
- [119]. Kern R, et al. Posterior circulation stroke. *Lancet Neurol*. 2022;21:e58–e70.
- [120]. Amin-Hanjani S, et al. Vertebrobasilar hemodynamics. *Stroke*. 2021;52:2678–2686.
- [121]. Hoksbergen AWJ, et al. Circle of Willis collateral circulation. *Front Neurol*. 2023;14:1187345.
- [122]. Schomer DF, Marks MP. Basilar artery anatomy. *Neurosurg Focus*. 2021;50:E1–E9.

[123]. Moore KL, Dalley AF, Agur AMR. Clinically Oriented Anatomy. Wolters Kluwer; 2021.

[124]. Mortazavi MM, et al. Circle of Willis variants. *Neurosurg Rev*. 2022.

[125]. Širvinskas A, et al. Circle of Willis stroke outcomes. *Medicina*. 2023;59:2115.

[126]. Hartkamp NS, Petersen ET, et al. Relationship between haemodynamic impairment and collateral blood flow in carotid artery disease. *Stroke*. 2017;48(10):2764–2771.

[127]. Song X, Liang J, Tian C. Hemodynamic alterations and their clinical implications in the vertebrobasilar system among patients with isolated posterior circulation ischemic vertigo. *Front Neurol*. 2024;15:1463042.

[128]. Klimek-Piotrowska W, et al. Configurations of the circle of Willis: a computed tomography angiography based study on a Polish population. *Folia Morphol (Warsz)*. 2013 Nov;72(4):293-9. doi: 10.5603/fm.2013.0049. PMID: 24402749.

[129]. Li Q, Li J, Lv F, et al. A multidetector CT angiography study of variations in the circle

of Willis in a Chinese population. *J Clin Neurosci*. 2011;18(3):379-383.doi:10.1016/j.jocn.2010.07.128.

[131]. Liebeskind DS, et al. Collateral circulation stroke outcomes. *Ishemic Stroke*. Journal Neurointreventional .Volumen 7 ,Issue 8 , Jummy 2024.

[132]. Fisicaro F, Lanza G, et al. Cerebral hemodynamic changes to transcranial Doppler sonography in celiac disease: A pilot study. *Front Hum Neurosci*. 2022;16:931727.

[133]. Jabre R, et al. Neuroanatomy of the vertebrobasilar perforators: implications for aneurysm treatment. *J NeuroInterv Surg*. 2025;17(8):848–857.

[134]. Niu J, Ran Y, Chen R, et al. Use of PETRA-MRA to assess intracranial arterial stenosis: Comparison with TOF-MRA, CTA, and DSA. *Front Neurol*. 2023;13:1068132.

- [135]. Brinjikji W, Chung B, Ding YH, et al. Hemodynamic characteristics of stable and unstable vertebrobasilar dolichoectatic and fusiform aneurysms. *J Neurointerv Surg*. 2018;10(11):1102-1107.
- [136]. Tsantili AR, Karampelias V, et al. Anatomical variations of human vertebral and basilar arteries: A current review of the literature. *Morphologie*. 2023;107(357):169-175.
- [137]. Ahmed RA, Dmytriw AA, et al. Posterior circulation cerebral infarction: A review of clinical, imaging features, management, and outcomes. *Egypt J Radiol Nucl Med*. 2023;11:100523.
- [138]. Barker AR, Brier MR, et al. Unraveling diurnal and technical variability in cerebral hemodynamics from neurovascular 4D-Flow MRI. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2024;44(9):1644–1658
- [139]. Feng L, Mao HJ, Zhang DD, et al. Anatomical variations in the Circle of Willis and the formation and rupture of intracranial aneurysms: A systematic review and meta-analysis. *Front Neurol*. 2023;13:1098950.
- [140]. Meila D, Tysiac M, et al. Persistent primitive trigeminal artery: anatomy, variants and associated vascular lesions. *Neuroradiology*. 2012;54(1):5-14.
- [141]. Klimek-Piotrowska W, Rybicka M, et al. Anatomical variations of the posterior cerebral artery with embryological and clinical correlations. *Neuroradiology*. 2022;64(6):1231–1242. doi:10.1007/s00234-022-02977-8.
- [142]. Ciacciarelli A, Francalanza I, et al. Prevalence, clinical features, and radiological pattern of artery of Percheron infarction: a challenging diagnosis. *Neurol Sci*. 2023;44(7):2413–2419.
- [143]. alerno A, Sacco S, et al. Posterior circulation stroke: clinical characteristics, diagnosis, and management. *Int J Stroke*. 2022;17(6):635–646.
- [144]. Ramsis BR, Forshing L. Vertebrobasilar insufficiency. *StatPearls*. 1December - 2025.

- [145]. Lee H, Cho YD, et al. Vertebral artery hypoplasia as a risk factor for posterior circulation stroke. *Stroke*. 2024;55(2):412–420. doi:10.1161/STROKEAHA.123.045678.
- [146]. Chen L, Huang Y, Wang Y, et al. Hemodynamic impact of vertebral artery dominance and asymmetry. *Neuroradiology*. 2022;64(9):1789–1798.
- [147]. Park SH, Jung SC, Kim MS, et al. Developmental variants of the vertebrobasilar system: CTA/MRA analysis. *J Neuroimaging*. 2023;33(4):567–575. doi:10.1111/jon.13002.
- [148]. Liang F, Zhang Y, Wang Q, et al. Anatomical variations of basilar artery perforating branches and clinical implications. *Front Neurol*. 2024;15:1289045. doi:10.3389/fneur.2024.1289045.
- [149]. Inoa V, et al. Posterior circulation stroke prognosis. *Cerebrovasc Dis*. 2014;37:251–255.
- [150]. Samuels OB, et al. Intracranial stenosis measurement. *AJNR*. 2000;21:643–646.
- [151]. Sawant S, Rizvi S. Posterior circulation variants. *Anat Physiol*. 2017;7:2161-0940.1000264.
- [152]. Merwick Á, Werring D. Posterior circulation transient ischaemic attack and stroke. *Br Med J*. 2014;348:g3175. doi:10.1136/bmj.g3175.
- [153]. Jansen IGH, van der Worp HB, et al. Cerebral hemodynamics in posterior circulation stroke: role of collateral flow and vascular anatomy. *J NeuroInterv Surg*. 2023;15(9):911–919. doi:10.1136/neurintsurg-2022-019567.
- [154]. Del Brutto OH, Mera RM, et al. Cerebral hypoperfusion and cognitive impairment: A systematic review. *Front Neurol*. 2024;15:1291188. doi:10.3389/fneur.2024.1291188.
- [155]. Gupta A, et al. Cerebrovascular reserve. *AJNR*. 2022;43:1608–1616.

- [156]. Derdeyn CP, et al. Cerebral autoregulation mechanisms. *Stroke*. 2023;54:1185–1194.
- [157]. Kernan WN, et al. Stroke prevention guidelines. *Stroke*. 2022;53:e250–e318.
- [158]. Wolters FJ, et al. Cerebral perfusion dementia risk. *Neurology*. 2022;98:e1908–e1918.
- [159]. Iadecola C, et al. Vascular cognitive impairment. *Nat Rev Neurol*. 2023;19:534–550.
- [160]. Saba L, et al. CTA/MRA vascular imaging. *Eur Radiol*. 2022;32:7604–7618.
- [161]. Sun Z, Jiang D, Liu P, et al. Age-related tortuosity of carotid and vertebral arteries: Quantitative evaluation with MR angiography. *Front Neurol*. 2022;13:858805. doi:10.3389/fneur.2022.858805.
- [162]. Griffiths PD, et al. Imaging of cerebral collateral circulation: clinical implications in ischemic stroke. *J Neuroimaging*. 2023;33(2):245–256. doi:10.1111/jon.13045.
- [163]. Cheryl Bushnell, Walter N Kernan, et al. 2024 Guideline for the Primary Prevention of Stroke: A Guideline From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2024 Dec;55(12):e344-e424.
- [164]. Compter A, et al. Vertebrobasilar stenosis recurrence risk. *Stroke*. 2020;51:1120–1127.
- [165]. Ballout AA, et al. Vertebrobasilar stroke flow MRI. *J Am Heart Assoc*. 2022;11:e023991.
- [166]. Moors C, Stapleton C. Vertebrobasilar insufficiency review. *J Osteopath Med*. 2025;125:519–532.
- [167]. Song X, et al. Hemodynamic alterations vertigo. *Front Neurol*. 2024;15:1463042.
- [168]. Powers WJ, et al. Acute ischemic stroke guidelines. *Stroke*. 2023;54:e1–e85.

- [169]. Markus HS, Michel P. Posterior circulation stroke treatment. *Int J Stroke*. 2022;17:723–732.
- [170]. Salerno A, et al. Posterior circulation stroke review. *Int J Stroke*. 2022;17:714–722.
- [171]. Malm J, et al. 4D flow MRI posterior circulation. *Front Neurosci*. 2021;15:656769.
- [172]. Kleindorfer DO, et al. Stroke prevention guideline. *Stroke*. 2021;52:e364–e467.
- [173]. Frosolini A, et al. Vertebrobasilar dolichoectasia clinical cases. *Diagnostics*. 2023;13:1750.
- [174]. Mokin M, et al. Endovascular treatment outcomes. *J NeuroInterv Surg*. 2024;16:321–330.
- [175]. Gökçe E, Beyhan M, et al. Evaluation of ischemic lesions after carotid artery stenting with diffusion-weighted imaging. *World J Clin Cases*. 2020;8(10):1859–1870.
- [176]. Yang H, Liu B, Yin Q, et al. Comparison of symptomatic vertebrobasilar plaques between patients with and without diabetes mellitus using computed tomographic angiography and vessel wall magnetic resonance imaging. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2022;31(1):106233.
- [177]. Wen J, Li S, Wang Y, et al. Association between hypertriglyceridemia and lacunar infarction in type 2 diabetes mellitus. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2015;24(8):1873–1878.
- [178]. Nilsson PM, Cederholm J, et al. Smoking as an independent risk factor for myocardial infarction or stroke in type 2 diabetes: a report from the Swedish National Diabetes Register. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2009;16(4):506–512.