

ВАРИАНТЫ АРТЕРИАЛЬНОГО КРУГА БОЛЬШОГО МОЗГА МУЖЧИН И ЖЕНЩИН В СВЯЗИ С МАССОЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА И ТИПОМ ТЕЛОСЛОЖЕНИЯ

Гладилин Ю.А.¹, Фомкина О.А.¹, Музурова Л.В.¹, Семина М.Н.², Малыхина Т.В.³,
Галактионова Н.А.¹, Коннова О.В.¹

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им В.И. Разумовского Минздрава России», Саратов, e-mail: oafomkina@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», медицинский институт, Пенза;

³ЧУОО ВО «Медицинский университет «Реавиз», Самара

С целью определения вариантов артериального круга (АК) большого мозга у мужчин и женщин с различной массой головного мозга и типом телосложения проведено исследование на 342 трупах мужчин и 163 трупах женщин зрелого возраста, погибших от причин, не связанных с заболеванием или травмой головного мозга. Средний возраст составил $44,6 \pm 3,4$ и $46 \pm 2,8$ года для мужчин и женщин соответственно. Тип телосложения определялся по методике В.Н. Шевкуненко (1935) как частное от деления яремно-лобкового расстояния (длины туловища) на длину тела, выраженное в процентах. По результатам данного исследования выделено 9 вариантов строения артериального круга: типичное (встречается чаще всего); варианты, при которых обе (или только правая или только левая) задняя соединительная артерии (ЗСА) заменяются сосудистыми сетями; варианты, при котором обе (или только правая или левая) задняя мозговая артерии (ЗМА) начинаются от внутренней сонной артерии (ВСА); варианты, при которых превалирует диаметр правой (или левой) прекоммуникационной части передней мозговой артерии (ПМА). Типичные и атипичные варианты АК встречаются у мужчин и женщин с разной частотой, не достигающей, однако, уровня статистической значимости ($p > 0,05$). Установлено преобладание (в пределах 98,1–196,1 г) величины массы головного мозга у мужчин при типичном варианте АК, а также в случаях, когда обе ЗСА замещены сосудистыми сетями, правая или обе ЗМА начинаются от ВСА ($p < 0,05$). Варианты строения АК чаще всего выявляются при брахиморфном типе телосложения.

Ключевые слова: артериальный круг большого мозга, передняя мозговая артерия, задняя мозговая артерия, задняя соединительная артерия, внутренняя сонная артерия, масса головного мозга, тип телосложения.

VARIANTS OF LARGE BRAIN ARTERIAL CIRCLE OF MEN AND WOMEN IN CONNECTION WITH BRAIN MASS AND BODY TYPE

Gladilin Yu.A.¹, Fomkina O.A.¹, Muzurova L.V.¹, Semina M.N.², Malykhina T.V.³,
Galaktionova N.A.¹, Konnova O.V.¹

¹Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, e-mail: oafomkina@mail.ru;

²Penza State University, Medical Institute, Penza;

³Medical University «Reaviz», Samara

In order to determine the variants of the arterial circle (AC) of the brain in men and women with different brain weights and body types, a study was conducted on 342 corpses of men and 163 mature women who died from causes not related to a disease or brain injury. The median age was $44,6 \pm 3,4$ and $46 \pm 2,8$ years for men and women, respectively. The body type was determined according to the method of V.N. Shevkunenko (1935), as a quotient of the division of the jugular-pubic distance (torso length) by body length, expressed in percent. According to the results of this study, 9 variants of the structure of the arterial circle were identified: typical (most common); variants in which both (or right or left only) Posterior communicating arteries (PCoA) are replaced by vasculature, variants in which both (or right or left only) posterior cerebral arteries (PCA) begin from the internal carotid artery (ICA); variants in which the diameter of the right (or left) precommunication part of the anterior cerebral artery (ACA) prevails. Typical and atypical variants of AC occur in men and women with different frequencies that do not reach, however, the level of statistical significance ($p > 0.05$). The predominance (in the range of 98.1-196.1 g) of the brain mass in men in a typical version of AK was established, as well as in cases when both PCoA are replaced by vascular networks, the right or both PCA begin from ICA ($p < 0.05$). Variants of the structure of AK are most often detected in brachymorphic body type.

Keywords: arterial circle of the brain, anterior cerebral artery, posterior cerebral artery, posterior communicating artery, internal carotid artery, brain mass, body type.

Форма АК наряду с морфометрическими параметрами составляющих его артерий и характером их ветвления в значительной мере влияет на активность подкорковых структур, функцию отдельных корковых полей и может являться анатомической предпосылкой к развитию нарушений мозгового кровообращения. Данный факт нашел подтверждение в работе Н.А. Трушель (2016). На основании изучения АК взрослых людей без цереброваскулярных нарушений (n=467) и прижизненного исследования 100 людей, имеющих данную патологию, ею установлено, что у последних аплазия обеих (или одной) задних соединительных артерий, задняя трифуркация ВСА, а также другие «неклассические» вариации артерий, составляющих АК, обнаруживаются на 8–21% чаще [1].

Наблюдающееся при некоторых вариантах АК неравномерное распределение тока крови может способствовать развитию аневризмы, разрыв которой способен привести к геморрагическому инсульту; значительное снижение (или прекращение) кровотока по той или иной артерии может закончиться ишемическим инсультом [2, 3, 4]. В связи с этим интерес к особенностям строения АК большого мозга не ослабевает, причем как среди практикующих врачей [5, 6], так и среди научных сотрудников (анатомов, специалистов в области биомеханики, нейрохирургов и т.п.) [7, 8].

В литературе описано достаточно много различных подходов к классификации АК и выделено значительное количество его вариантов. Так, Н.А. Трушель и соавт. на основании изучения КТ-сканов 42 женщин в возрастном диапазоне от 18 до 85 лет выделили три формы АК, основанные на соотношении его продольного и поперечного диаметров: продольно-овальная (встречается в 21,4% случаев), широко-овальная (отмечена в 50% случаев) и круглая (регистрируется у 28,6%) [9]. В своей работе Ф.Х. Низамов опирается на классификацию, подразумевающую три другие формы АК: основную (классическую) (69,7%); переходную (17,4%) и трифуркационную (12,9%) [10]. В.Н. Николенко и соавт. разработали современную многоуровневую классификацию АК, подразумевающую два типа (по признаку замкнутости), 2 подтипа (по признаку симметричности) и 11 вариантов изменчивости АК. Данная классификация учитывает особенности анатомии отдельных составляющих артерий АК и индивидуально-типологическую изменчивость самого круга в целом, без разграничения его на передние и задние отделы [11].

Группа ученых из Белоруссии на основании изучения 243 ангиограмм мужчин и женщин 18–72 лет с нарушениями мозгового кровообращения (n=123) и без них (n=120) [12] установили, что классический тип строения АК характерен для 32% здоровых людей и только для 2% людей, страдающих цереброваскулярной патологией. В остальных случаях (соответственно в 68% у здоровых и 98% не здоровых) встречаются различные варианты.

Описаны также варианты строения и их частота встречаемости для отдельных отделов АК. Так, Р.Н. Люнькова и В.В. Крылов на основании изучения 50 анатомических препаратов головного мозга описывают нормальный тип строения задних отделов АК в 48% всех наблюдений, а абнормальный (гипоплазированный и фетальный) – соответственно в 52% наблюдений. Типы строения задних отделов АК выделены авторами на основании соотношения диаметров прекоммуникантного сегмента ЗМА и задней соединительной артерии [5].

В научной литературе есть публикации, где АК рассмотрен в связи с формой черепа человека, с детализацией частоты вариантов АК при той или иной его форме [9, 13].

В большинстве источников данные по форме АК большого мозга даны обобщенно для мужчин и женщин. Работы, в которых бы были описаны варианты АК при разных типах телосложения, а также в связи с разной массой головного мозга, в доступной для исследования литературе нам не встретились.

Цель исследования: определить варианты АК большого мозга у мужчин и женщин с различной массой головного мозга и типом телосложения.

Материал и методы исследования. Исследование проведено на 342 трупах мужчин и 163 трупах женщин зрелого возраста (22–60 лет для мужчин и 21–55 лет для женщин), погибших от причин, не связанных с заболеванием или травмой головного мозга. Средний возраст составил $44,6 \pm 3,4$ и $46 \pm 2,8$ года для мужчин и женщин соответственно.

Тип телосложения определяли по индексу относительной длины туловища, представляющему собой частное от деления яремно-лобкового расстояния (длина туловища) на длину тела, выраженное в процентах. Длину тела и яремно-лобковое расстояние измеряли с точностью до 1,0 см. Индекс относительной длины туловища меньше 28,5 соответствует долихоморфному типу телосложения, 28,5–31,5 – мезоморфному и больше 31,5 – брахиморфному.

Головной мозг взвешивали на аналитических весах с точностью до 1,0 г.

Визуально определяли вариант строения АК большого мозга. Для этого фиксировали наличие всех артерий, составляющих АК, наличие сосудистой сети на месте ЗСА, место начала ЗМА и различие в диаметре прекоммуникационной части правой и левой ПМА. Фиксировали вариант замыкания переднего полукольца АК с помощью передней соединительной артерии (ПСА).

Полученный цифровой материал заносили в электронные таблицы Excel и в последующем обрабатывали в программе «Statistica v.10». Статистическая обработка данных предполагала расчет относительных показателей (частоту встречаемости, %) и применение метода вариационной статистики. Исходя из того что распределение было близко к

нормальному (проверку на нормальность распределения производили по критерию Колмогорова–Смирнова), мы выбрали параметрические методы статистической обработки. В рамках данной работы рассчитаны: среднее арифметическое (M) и его ошибка (m), стандартное отклонение (σ) и коэффициент вариации (Cv). Значимость различий оценивали по критерию Стьюдента для относительных величин и несвязанных выборок. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Нами выделены и описаны 9 вариантов строения АК большого мозга:

1-й вариант – типичное «классическое» строение;

2-й вариант – обе ЗСА заменяются сосудистыми сетями;

3-й вариант – только правая ЗСА заменяется сосудистой сетью;

4-й вариант – только левая ЗСА заменяется сосудистой сетью;

5-й вариант – обе ЗМА начинаются от ВСА;

6-й вариант – только правая ЗМА начинается от ВСА;

7-й вариант – только левая ЗМА начинается от ВСА;

8-й вариант характеризуется преобладанием диаметра правой прекоммуникационной части ПМА;

9-й вариант характеризуется преобладанием диаметра левой прекоммуникационной части ПМА.

Классическая конструкция АК большого мозга (типичное строение; 1-й вариант) на материале нашей выборки без учета пола встретилась у 359 человек (73,1% случаев). Это наиболее часто встречающийся вариант строения АК большого мозга. У мужчин и женщин этот вариант фиксируется примерно с одинаковой частотой, соответственно у 254 (74,3%) и 105 (70,5%) человек; различия составляют 3,8% и не достигают уровня статистической значимости ($p > 0,05$). Частота атипичных вариантов АК характеризуется половым диморфизмом, т.е. такие варианты встречаются у мужчин и женщин с различной частотой (табл. 1). Однако эти различия, колеблющиеся от 0,5 до 6,1%, ни для одного из выделенных вариантов также не достигают уровня статистической значимости ($p > 0,05$).

Таблица 1

Частота встречаемости вариантов АК у мужчин (n=342) и женщин (n=149), %

Вариант АК	Мужчины		Женщины		Разница, %	p
	Абс.	%	Абс.	%		
1-й вариант	254	74,3	105	70,5	3,8	>0,05
2-й вариант	2	0,6	10	6,7	6,1	>0,05

3-й вариант	13	3,8	10	6,7	2,9	>0,05
4-й вариант	22	6,4	6	4,1	2,3	>0,05
5-й вариант	6	1,8	4	2,7	0,9	>0,05
6-й вариант	13	3,8	7	4,7	0,9	>0,05
7-й вариант	22	6,4	2	1,3	5,1	>0,05
8-й вариант	4	1,2	3	2,0	0,8	>0,05
9-й вариант	6	1,8	2	1,3	0,5	>0,05
Всего	342	100	149	100	–	–

При разных описанных выше конструкциях АК зафиксировано 3 типа замыкания его переднего полукольца с помощью ПСА:

1-й тип – одним стволом ПСА;

2-й тип – сращением правой и левой ПМА (ПСА отсутствует);

3-й тип – сосудистая сеть на месте ПСА.

При типичном строении АК большого мозга ПСА в виде одного ствола встречается чаще других типов замыкания его переднего полукольца и имеется у 53,3% мужчин и 47,6% женщин. У мужчин сращение правой и левой ПМА встречается несколько реже (21,3%), чем их соединение сосудистой сетью (25,2%). У женщин, напротив, сосудистая сеть вместо ПСА фиксируется в 24,8%, а отсутствие ПСА – в 27,6% случаев.

Средняя величина массы головного мозга различается при разных формах АК большого мозга. Наиболее выраженные (статистически значимые) половые различия массы мозга наблюдаются при типичном варианте АК (вариант 1; различие составляет 118,0 г (9,4%)), а также в случаях, когда обе ЗСА замещены сосудистыми сетями (вариант 2; различие составляет 196,1 г (15,7%)), правая или ЗМА начинаются от ВСА (варианты 6; различие составляет 98,1 г (7,7%), и вариант 5; различие составляет 193,7 г (15,9%)). Во всех описанных случаях мозг мужчин был тяжелее, чем мозг женщин. При других выделенных вариантах различия в величине массы головного мозга мужчин и женщин колеблются от 20,4 до 117,0 г (1,6–9,5%) и не достигают уровня статистической значимости ($p > 0,05$) (табл. 2).

Таблица 2

Средняя масса головного мозга при типичном строении артериального круга большого мозга и его вариантах у взрослых мужчин ($n=334$) и женщин ($n=163$)

Вариант АК	Пол	n	Вариационно-статистические показатели				Разница, г	p
			M	σ	m	Cv		
1-й вариант	Муж.	248	1381,1	120,5	7,7	8,7	118,0	<0,01

	Жен.	114	1262,3	154,5	14,5	12,3		
2-й вариант	Муж.	4	1442,5	86,2	43,1	5,9	196,1	<0,05
	Жен.	7	1246,4	69,7	26,3	5,6		
3-й вариант	Муж.	13	1378,5	174,7	48,4	12,7	104,0	>0,05
	Жен.	11	1273,6	163,7	49,3	12,9		
4-й вариант	Муж.	19	1353,7	147,3	33,8	10,9	117,0	>0,05
	Жен.	5	1236,0	145,3	64,9	11,8		
5-й вариант	Муж.	6	1412,5	111,7	49,6	7,9	193,7	<0,05
	Жен.	4	1218,8	80,7	40,3	6,6		
6-й вариант	Муж.	11	1372,7	124,3	34,5	9,1	98,1	<0,05
	Жен.	11	1274,6	80,7	24,3	6,3		
7-й вариант	Муж.	23	1409,4	123,7	25,8	8,8	72,7	>0,05
	Жен.	3	1336,7	98,7	57,0	7,8		
8-й вариант	Муж.	4	1295,0	139,9	69,9	10,8	20,4	>0,05
	Жен.	4	1274,6	119,7	59,8	9,4		
9-й вариант	Муж.	6	1310,0	61,6	25,2	4,7	26,7	>0,05
	Жен.	4	1336,7	119,7	59,8	8,9		

Различным типам телосложения человека присуща определенная частота встречаемости вариантов АК. Так, при долихоморфном типе телосложения доля атипичных вариантов составляет только 4,6% наблюдений, при мезоморфном – 38,5%, а при брахиморфном – 56,9%.

При мезоморфном типе телосложения чаще других встречаются варианты АК большого мозга, при котором левая ЗСА замещена сосудистой сетью (вариант 4), левая ЗМА берет начало от ВСА (вариант 7), или превалирует диаметр прекоммуникационной части правой ПМА (вариант 8).

При брахиморфном типе телосложения из всех вариантов АК чаще всего встречаются следующие три: сосудистые сети располагаются на месте правой ЗСА (вариант 3), обе ЗМА или только правая ЗМА начинаются от ВСА (варианты 5 и 6).

Долихоморфный тип телосложения встретился в нашей выборке реже всего, и количество атипичных вариантов при этом минимальное – 4,6%. В связи с этим мы посчитали некорректным выделять и анализировать наиболее часто встречающиеся варианты АК на такой небольшой выборке.

В связи с наличием разных подходов к классификации форм АК не всегда представляется возможным сравнить данные, полученные в ходе разных исследований. Полученные нами данные о частоте встречаемости типичного строения АК ближе всего к

данным Ф.Х. Низамова (2016) [10], который описывает классический АК, встречающийся в 69,7% случаев. Систематический обзор J.D. Jones и соавт. (2021), основанный на анализе 33 статей, выбранных в результате трехэтапного отбора из 764 источников, показал, что типичное строение АК встречается в $68,2\pm 14,3\%$ случаев, односторонняя гипоплазия (или аплазия) ЗСА – в $19,5\pm 8,6\%$ случаев, и двусторонняя гипоплазия (или аплазия) ЗСА – в $22,8\pm 14,6\%$ случаев [14]. В.Н. Николенко и соавт. (2018) обнаружили типичный вариант строения только у 11 из 116 человек, что составляет 9,5% [11]. А.В. Салмина и соавт. (2021) описывают такой тип строения АК в 32% случаев, при этом варианты АК распределились со следующей частотой: в 23% случаев отмечена гипоплазия ПСА, в 21% случаев – аплазия или гипоплазия одной из ЗСА, в 17% случаев – сочетание аплазии передней соединительной и аплазии одной из ЗСА, в 4% случаев – аплазия передней и обеих ЗСА, в 3% случаев – пристеночное соприкосновение обеих ПМА [12].

Несмотря на огромное количество работ, посвященных АК большого мозга, сведения о частоте встречаемости его вариантов отдельно у мужчин и у женщин единичные или получены на небольшой выборке [11, 15]. В данной работе мы попытались дополнить эту информацию на основании изучения 342 мужчин и 163 женщин. L.V. Hindenes et al. (2020) на основании анализа данных магнитно-резонансной ангиографии головного мозга 874 мужчин и 990 женщин (средний возраст 65,4 года), так же как и мы, описывают отсутствие статистически значимых половых различий в частоте встречаемости того или иного варианта АК ($p=0,053$) [15]. Теми же авторами замечена тенденция к большему количеству отсутствующих сегментов АК с увеличением возраста ($p=0,015$), что интерпретируется как снижение адаптационных возможностей головного мозга с возрастом. В.Н. Николенко и соавт. (2018) обнаружили типичный вариант строения у 12,5% мужчин и 5,8% женщин [11], что соответственно в 6 и 12 раз меньше, чем по нашим данным. По наблюдениям авторов, наиболее частым был замкнутый несимметричный АК, сочетающий в себе гипоплазию и гиперплазию одноименных или разноименных артерий. Такой АК встретился у 31,3 мужчин и 40,4% женщин. По нашим данным, за исключением типичной формы, у мужчин чаще всего (6,4%) встретились 2 варианта: вариант, при которой только левая ЗСА заменяется сосудистой сетью, и вариант, когда левая ЗСА берет свое начало от ВСА. У женщин по сравнению с другими нетипичными вариантами встречаются варианты, при которых обе или только правая ЗСА заменяются сосудистой сетью (6,7% случаев).

Сведения о связи АК с массой головного мозга и типом телосложения нами приводятся впервые, сравнить полученные с данными других исследований не представляется возможным. В нашей выборке было мало лиц долихоморфного типа

телосложения. В перспективе было бы интересно получить данные о распределении вариантов АК у людей с таким типом телосложения.

Выводы

1. По результатам данного исследования выделено 9 вариантов строения артериального круга большого мозга: типичное (встречается чаще всего); варианты, при которых обе (или только правая или только левая) ЗСА заменяются сосудистыми сетями; варианты, при котором обе (или только правая или левая) ЗМА берут начало от ВСА; варианты, при которых превалирует диаметр правой (или левой) прекоммуникационной части ПМА. Также выделено 3 типа замыкания переднего полукольца АК с помощью ПСА: одним стволом ПСА (встречается чаще всего при типичном строении АК), сращением правой и левой ПМА, сосудистая сеть на месте ПСА.

2. Типичные и атипичные варианты АК встречаются у мужчин и женщин с разной частотой, не достигающей, однако, уровня статистической значимости ($p > 0,05$).

3. Установлено преобладание (в пределах 98,1–196,1 г) величины массы головного мозга у мужчин при типичном варианте АК, а также в случаях, когда обе задние соединительные артерии замещены сосудистыми сетями, правая или обе задние мозговые артерии начинаются от внутренних сонных ($p < 0,05$).

4. Варианты строения АК чаще всего выявляются при брахиморфном типе телосложения.

Список литературы

1. Трушель Н.А. Морфологические предпосылки развития нарушений мозгового кровообращения // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2016. Т. 15, № 2. С. 44-51.
2. Беленькая Р.М. Варианты и аномалии артерий основания мозга и их значение в клинике нарушений мозгового кровообращения // Вопросы психиатрии и невропатологии. Л. 1966. № 12. С. 306-317.
3. Смирнова А.В., Грудина Е.С. Вариантная анатомия артериального круга большого мозга и ее связь с цереброваскулярными заболеваниями // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. 2019. Т. 42, № 1. С. 49-51.
4. Трушель Н.А., Пасюк А.А., Дорохович Г.П., Конопелько Г.Е., Шестакович Е.Н. Взаимосвязь между вариантом соединения сосудов артериального круга большого мозга (виллизиева круга) и местом образования аневризмы // Морфология. 2019. Т. 155, № 2. С. 283.

5. Люнькова Р.Н., Крылов В.В. Варианты анатомического строения задних отделов артериального круга большого мозга и задней мозговой артерии // *Нейрохирургия*. 2014. № 1. С. 47-70.
6. Низамов Ф.Х. Артериальный круг большого мозга белой крысы и человека: сходства и различия // *Медицинская наука и образование Урала*. 2021. Т. 22, № 4 (108). С. 63-66. DOI: 10.36361/1814-8999-2021-22-4-63-66.
7. Фомкина О.А., Николенко В.Н. Индивидуальная изменчивость морфологических и биомеханических характеристик задней мозговой артерии взрослых людей // *Курский научно-практический вестник. Человек и его здоровье*. 2012. № 2. С. 21-26.
8. Фомкина О.А., Иванов Д.В., Кириллова И.В., Николенко В.Н. Биомеханическое моделирование артерий головного мозга при разных вариантах конструкции внутричерепных артерий вертебробазилярной системы // *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2016. Т. 12, № 2. С. 118-127.
9. Трушель Н.А. Грынцевич Р.Г. Особенности морфометрических показателей артериального круга большого мозга у женщин с разной формой черепа // *Фундаментальная наука в современной медицине 2020: материалы сателлитной научно-практической конференции студентов и молодых ученых (г. Минск, 14 апреля 2020 г.)*. Минск: издательство Белорусского государственного медицинского университета, 2020. С. 364-366.
10. Низамов Ф.Х. Функциональные возможности ветвей мозговых артерий в зависимости от типов их ветвления // *Медицинская наука и образование Урала*. 2016. Т. 17, № 1(85). С. 50-53.
11. Николенко В.Н., Павлов А.В., Тимофеев В.Е., Жеребятъева С.Р., Тимофеева С.М. Варианты конструкции артериального круга большого мозга человека и интегральная классификация индивидуально-типологической изменчивости // *Сеченовский вестник*. 2018. № 4 (34). С. 41-49. DOI: 10.26442/22187332.2018.4.41-49.
12. Салмина А.В., Леванцевич В.В., Борис Д.В., Семак Т.В. Сравнительная анатомия строения Виллизиева круга у лиц с расстройствами мозгового кровообращения и без признаков патологии // *Евразийский союз ученых*. 2021. № 2-2 (83). С. 23-25.
13. Шнякин П.Г., Самотесов П.А., Дралюк М.Г. Евсеев А.В., Ермакова И.Е. Варианты строения артериального и венозных кругов основания головного мозга у лиц с разной формой черепа // *Современные принципы комплексного лечения, реанимации и реабилитации больных с заболеваниями и травмами нервной системы: сборник научных трудов, посвященных 90-летию со дня рождения основателя нейрохирургической службы Красноярского края, доктора медицинских наук, почетного профессора КрасГМУ Дралюк Нины Семеновны (Красноярск, 14–16 октября 2015 г.)*. Красноярск: Б.и., 2015. С. 20-21.

14. Jones J.D., Castanho P., Bazira P., Sanders K. Anatomical variations of the circle of Willis and their prevalence, with a focus on the posterior communicating artery: A literature review and meta-analysis // *Clin Anat.* 2021. Vol. 34, no. 7. P. 978-990. DOI: 10.1002/ca.23662.
15. Hindenes L.B., Håberg A.K., Johnsen L.H., Mathiesen E.B., Robben D., Vangberg T.R. Variations in the Circle of Willis in a large population sample using 3D TOF angiography: The Tromsø Study // *PLoS One.* 2020. Vol. 15, no. 11.15 (11). P. e0241373.