

DOI: 10.34921/amj.2021.1.002

**Abdullayev R.Ya.<sup>1</sup>, Dudnik T.A.<sup>2</sup>, Tovajnyanskaya Ye.L.<sup>3</sup>,  
Kozarenko T.M.<sup>4</sup>, Vasko L.N.<sup>2</sup>, Markovskaya Ye.V.<sup>3</sup>, Jukova T.A.<sup>2</sup>**

## **BAŞ BEYNİNİN MAGİSTRAL ARTERİYALARININ DOPPLEROMETRİYASI**

<sup>1</sup>Xarkov Diplomdansonrakı Tibb Akademiyasının Ultrasəs müayinəsi kafedrası, Xarkov, Ukrayna; <sup>2</sup>Ukrayna Tibbi Stomatologiya Akademiyasının Cərrahiyyə və radiologiya kafedrası, Poltava, Ukrayna; <sup>3</sup>Xarkov Milli Tibb Universitetinin Nevrologiya kafedrası, Xarkov, Ukrayna; <sup>4</sup>P.L. Şupik adına Milli Diplomdansonrakı Tibb Akademiyasının Şüa müayinəsi kafedrası, Kiyev, Ukrayna

**Xülasə.** Məqalədə əsas beyin arteriyalarında hemodinamikanın öyrənilməsində dopplerometriya üsulunun tətbiqedilmə imkanını araşdırmaq məqsədilə aparılmış tədqiqat haqqında məlumat verilmişdir. Bu məqsədlə, Willis dairəsinin damarlarının Doppler ölçmələrinin nəticələri normal xolesterol səviyyəsi olan, 41-60 yaş arası 56 sağlam şəxsə tədqiq edilmişdir. Ultrasonoqrafiyada karotid arteriyalarda ateroskleroz əlamətləri aşkar edilməyib. Tədqiqat rəngli və spektral Doppler rejimində transtemporal girişdən tripleks rejimində aparılıb.

Rəngli Doppler rejimində orta, ön və arxa beyin arteriyaları (OBA, ÖBA, ABA) hamar konturlara malikdir. Onların diametri 3,9-6,1 (5,3±0,6) mm, 3,2-4,7 (3,8±0,4) mm və 2,7-4,1 (3,4±0,3) mm arasında dəyişmişdir. Dopplerometriyada OBA-nı 53 (94,6%) halda, ÖBA-nı – 51 (91,1%), ABA-nı – 52 (92,9%) halda görüntüləmək mümkün olmuşdur.

OBA-da maksimum sistolik qan axını sürəti 85-126 (107,2±6,3) sm/s, ÖBA-da 64-89 (72,6±5,3) sm/s, ABA-da müvafiq olaraq 59-86 (64,9±5,2) sm/s olmuşdur.

Qan axınının (Vvol) dəqiqəlik həcmi OBA-da 103,4±9,3 sm<sup>3</sup>/dəq, ÖBA-da – 36,5±7,8 sm<sup>3</sup>/dəq, ABA-da – 28,7±4,9 sm<sup>3</sup>/dəq səviyyəsində olduğu müşahidə edilib.

**Açar sözlər:** beyin magistrallı arteriyaları, Willis dairəsi, dopplerometriya

**Ключевые слова:** магистральные артерии мозга, Виллизиев круг, доплерометрия

**Key words:** major arteries of the brain, circle of Willis, dopplerometry

**Абдуллаев Р.Я.<sup>1</sup>, Дудник Т.А.<sup>2</sup>, Товажнянская Е.Л.<sup>3</sup>,  
Козаренко Т.М.<sup>4</sup>, Васько Л.Н.<sup>2</sup>, Марковская Е.В.<sup>3</sup>, Жукова Т.А.<sup>2</sup>**

## **ДОПЛЕРОМЕТРИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ АРТЕРИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА**

<sup>1</sup>Кафедра ультразвуковой диагностики Харьковской медицинской академии последипломного образования, Харьков, Украина; <sup>2</sup>Кафедра хирургии и радиологии Украинской медицинской стоматологической академии, Полтава, Украина; <sup>3</sup>Кафедра неврологии Харьковского национального медицинского университета, Харьков, Украина; <sup>4</sup>Кафедра лучевой диагностики Национальной медицинской академии последипломного образования им. П.Л. Шупика, Киев, Украина

В статье представлены сведения об исследовании, проведенного с целью изучения возможности изучения гемодинамики магистральных мозговых артерий методом доплерометрии. Были проанализированы результаты доплерометрии сосудов Виллизиева круга у 56 здоровых лиц в возрасте 41-60 лет с нормальным уровнем холестерина. По данным ультразвукографии признаков атеросклероза каротидных артерий у них не было выявлено. Исследование проведено в триплексном режиме из транстемпорального доступа в режиме цветного и спектрального Допплера.

*В режиме цветного Допплера средняя, передняя и задняя мозговые артерии (СМА, ПМА, ЗМА) имели ровные контуры. Их диаметр варьировал в пределах 3,9-6,1 (5,3±0,6) мм, 3,2-4,7(3,8±0,4) мм и 2,7-4,1 (3,4±0,3) мм, соответственно. СМА визуализировалась в 53 (94,6%) случаев, ПМА – в 51 (91,1%), ЗМА – в 52 (92,9%) случаев.*

*Максимальная систолическая скорость кровотока в СМА составляла 85-126 (107,2±6,3) см/с, в ПМА – 64-89 (72,6±5,3) см/с, в ЗМА – 59-86 (64,8±5,2) см/с, соответственно.*

*Минутный объем кровотока (Vvol) в СМА составлял 103,4±9,3 см<sup>3</sup>/мин, в ПМА – 36,5±7,8 см<sup>3</sup>/мин, в ЗМА – 28,7±4,9 см<sup>3</sup>/мин, соответственно.*

---

Головной мозг получает около 20% сердечного выброса, что обеспечивает его стабильную перфузию необходимой для поддержания нормальной функции этого очень важного органа. Артериальное анастомотическое кольцо, которое соединяет левую и правую внутреннюю сонную артерию и вертебробазилярное кровообращение посредством сообщающихся артерий, называется Виллизиевым кругом [1]. Крупные ветви внутренней сонной артерии – средняя и передняя мозговые артерии кровоснабжают лобную, височную и теменную области мозга, а задние мозговые артерии являющиеся ветвями базилярной артерии (формирующаяся при соединении позвоночных артерий), перфузируют задние отделы головного мозга (затылочная доля, мозжечок и ствол мозга). Виллизиевый круг завершается сообщением передних и задних мозговых артерий через одноименных соединительных артерий [2-5]. Исследования показывают, что наличие врожденной гипоплазии одной из соединительных артерий, при диаметре 0,5-1,0 мм, может быть причиной развития классической мигрени с аурой [6].

Отток венозной крови из сосудистых сплетений и глубоких слоев мозга происходит через большой мозговой вены, впадающей в прямой синус. Поверхностные вены, собирающие кровь из коры головного мозга впадают в верхний сагиттальный синус, кавернозный, верхний каменистый синусы. Через пазухи твердой мозговой оболочки кровь поступает во внутренние яремные вены [7].

Эластичность стенок и нормальный диаметр сосудов Виллизиева круга обеспечивают нормальную перфузию головного мозга в различных положениях тела, в период и после физической нагрузки благодаря их ауторегуляции [8, 9]. Цере-

бральная ангиография считается основным методом диагностики цереброваскулярной патологии. Долгое время радиоконтрастная ангиография сохраняла статус «золотого стандарта» в изучении сосудов головного мозга. Однако инвазивность рентгеноконтрастной ангиографии, риск опасных осложнений при его внедрении и разработка новых неинвазивных методов диагностики привели к тому, что этот метод сейчас используется значительно реже [10]. В наши дни магнитно-резонансная ангиография стала наиболее часто используемым методом, благодаря безопасности при достаточной информативности [11].

В последние годы транскраниальный «слепой» доплер стал неотъемлемой частью мониторинга церебральной гемодинамики при выполнении различных хирургических вмешательств [12]. Однако метод не позволяет непосредственно визуализировать сосуды и точно определить место регистрации параметров кровотока в Виллизиевом круге. Ультрасонография в цветном режиме дает возможность непосредственно увидеть ход сосудов, определить их диаметр, регистрировать количественные параметры кровотока в нужном участке [13]. Роль доплерографии в исследовании основных церебральных сосудов показана в ранее опубликованных работах [14].

Целью исследования явилась оценка состояния гемодинамики в магистральных артериях Виллизиева круга у здоровых лиц среднего возраста с помощью доплерографии.

**Материал и методы исследования.** Ультразвуковое исследование проведено в триплексном режиме из транстемпорального доступа у 56 здоровых лиц в возрасте 41-60 лет, у которых не выявлено каких-либо проявлений сердечно-сосудистых заболеваний. Среди обследуемых было 31 мужчин, 25 женщин аналогичного возраста. У них артериальное давление и уровень холестерина было в пределах нормы. По данным ультрасонографии

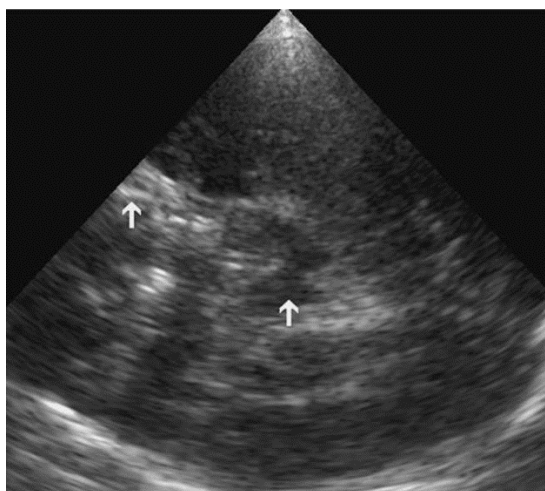
стенки сонных артерий были ровными без локальных утолщений и атеросклеротических бляшек.

Ультрасонография проводилась с помощью секторного датчика в частотном диапазоне 2-4 МГц на сканере Philips HD-11.

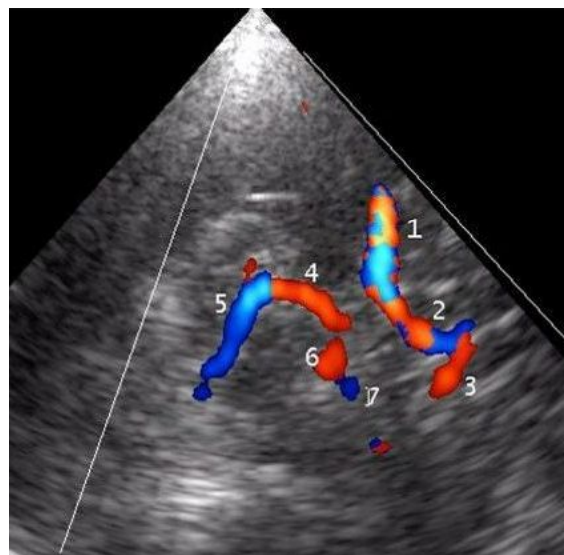
Достоверность отличий средних показателей оценивали по методу углового преобразования Фишера и по t критерию Стьюдента.

**Результаты исследования.** Без предварительной подготовки в серошкальном режиме в положении пациента лежа на спине на уровне ножек мозга выявляли пульсацию средней мозговой артерии. Пирамида височной кости служила основным ориентиром для ее локации (рис. 1). В цветном режиме вначале визуализировали первый, а затем второй сегмент средней мозговой артерии. Слегка изменив плоскость сканирования, регулируя частоту повторения импульсов, визуализировали просвет средней, передней и задней мозговых артерий с обеих сторон по очереди (рис. 2).

В 2 (3,6%) случаев из-за трудного ультразвукового окна визуализировать сосуды Виллизиева круга не удавалось с обеих сторон, в 3 (5,4%) случаев – только с одной стороны. Регистрировались гемодинамические параметры кровотока в магистральных артериях Виллизиева круга с обеих сторон (таблица 1). В режиме цветного Допплера средняя, передняя и задняя мозговые артерии (СМА, ПМА, ЗМА) имели



**Рис. 1.** Аксиальный срез на уровне ножек мозга (нижняя стрелка). Верхняя стрелка показывает пирамидальную кость, кпереди располагается ложа средней мозговой артерии



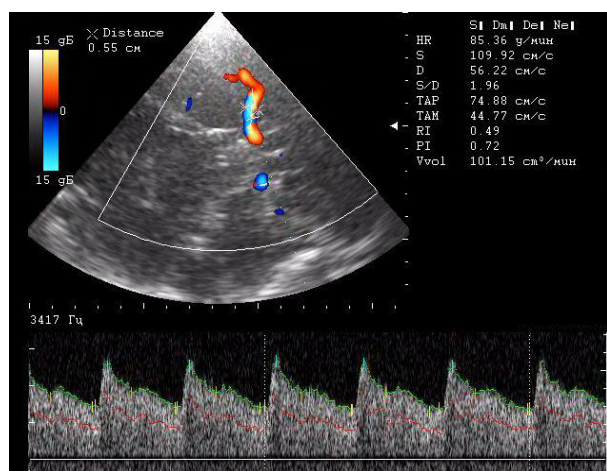
**Рис. 2.** Визуализация сосудов Виллизиева круга из транстемпорального доступа: 1 – левая СМА, 2 – левая ПМА; 3 – правая ПМА; 4 – восходящий сегмент левой ЗМА; 5 – нисходящий сегмент левой ЗМА; 6 – восходящий сегмент правой ЗМА

ровные контуры. Диаметр СМА варьировал в пределах 3,9-6,1 мм, в среднем составлял  $5,3 \pm 0,6$  мм, ПМА – 3,2-4,7 мм и  $3,8 \pm 0,4$  мм, ЗМА – 2,7-4,1 мм и  $3,4 \pm 0,3$  мм, соответственно. Установлено, что просвет СМА достоверно шире, чем ПМА ( $p < 0,05$ ) и ЗМА ( $p < 0,01$ ). Максимальная систолическая скорость кровотока в СМА колебался в пределах составляла 85-126 см/с, а в среднем составлял  $107,2 \pm 6,3$  см/с, в ПМА – 64-89 см/с и  $72,6 \pm 5,3$  см/с, в ЗМА – 59-86 см/с и  $64,8 \pm 5,2$  см/с, соответственно. Конечная диастолическая скорость кровотока (Vd) в СМА составила  $51,2 \pm 4,1$  см/с, в ПМА –  $31,4 \pm 3,2$  см/с и в ЗМА –  $29,3 \pm 2,7$  см/с, индекс резистентности (RI) кровотока –  $0,53 \pm 0,03$ ,  $0,56 \pm 0,03$ ,  $0,55 \pm 0,03$ . Определение средней систолической скорости кровотока (Vср. с) в главных артериях Виллизиева круга позволила определить пульсационный индекс (PI), которые составили –  $69,3 \pm 5,4$  см/с (СМА),  $45,7 \pm 3,6$  см/с (ПМА),  $43,1 \pm 3,4$  см/с (ЗМА) и  $0,81 \pm 0,05$ ,  $0,90 \pm 0,06$ ,  $0,82 \pm 0,05$ , соответственно. Достоверных различий по величине RI и PI между артериями выявлено не было. Величина средней систолической скорости кровотока в СМА была достоверно выше, чем в ПМА и ЗМА ( $p < 0,001$ ).

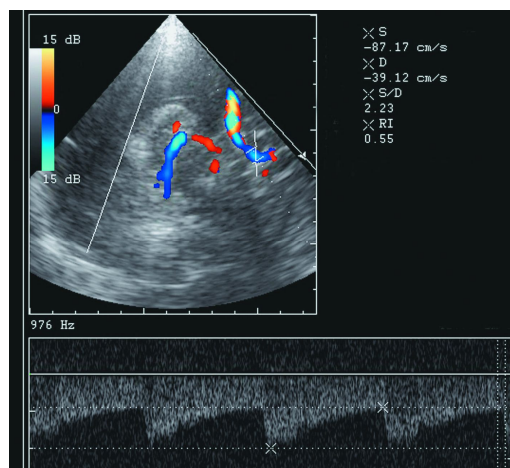
**Таблица 1.** Параметры гемодинамики артерий Виллизиева круга

Параметры гемодинамики	СМА	ПМА	ЗМА
D, мм	5,3±0,6 p<0,05 p<0,01	3,8±0,4	3,4 ±0,3
Vs, см/с	107,2±6,3 p<0,001 p<0,001	72,6±5,3	64,8±5,2
Vd, см/с	51,2±4,1 p<0,001 p<0,001	31,4±3,2	29,3±2,7
Vcp s, см/с	69,3±5,4 p<0,001 p<0,001	45,7±3,6	43,1±3,4
PI	0,81±0,05	0,90±0,06	0,82±0,05
RI	0,53±0,03	0,56±0,03	0,55±0,03
Vvol, см <sup>3</sup> /мин	103,4±9,3 p<0,001 p<0,001	36,5±7,8	28,7±4,9

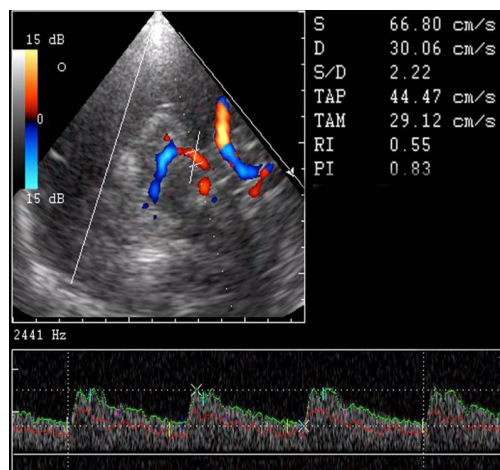
Определение диаметра и средней систолической скорости кровотока в артериях позволяет определить минутный объем кровотока (Vvol) в них. Vvol в СМА составлял 103,4±9,3 см<sup>3</sup>/мин, в ПМА – 36,5±7,8 см<sup>3</sup>/мин и в ЗМА – 28,7±4,9 см<sup>3</sup>/мин, соответственно (Рис. 3-5). Как видно из таблицы, минутный объем кровотока в средней мозговой артерии с высокой достоверностью (p<0,001) превышал этот показатель в передней и задней мозговых артериях.



**Рис. 3.** Регистрация кровотока в средней мозговой артерии. Vs – 109,92 см/с; Vd – 56,22 см/с; Vcp. s – 44, 77 см/с, RI – 0,49; PI – 0,72; S/D – 1,96, Vvol – 101,15 см<sup>3</sup>/мин



**Рис. 4.** Регистрация кровотока в передней мозговой артерии. Vs – 87,7 см/с; Vd – 39,2 см/с; RI (IP) – 0,55; S/D – 2,23



**Рис. 5.** Регистрация кровотока в задней мозговой артерии. Vs – 52,53 см/с; Vd – 25,71 см/с; S/D – 2,04; RI – 0,51; P – 0,83

**Обсуждение.** Роль доплерографии в исследовании основных церебральных сосудов показана в ранее опубликованных научных работах [12]. Метод использовался для мониторинга количественных параметров кровотока в главных артериях мозга с помощью так называемых “карандашных” датчиков, которые не позволяли точно определить место регистрации потока крови. Учитывая непрямолинейный ход этих сосудов, определение места стеноза было затруднено, например, при различных вариантах инсульта. В работах Verlhac S. и соавт. (2011) представлены результаты доплеровских исследований в сосудах мозга среди лиц в возрастном диапазоне от 20 до 70 лет [14]. Это не позволяет полу-

чить надежный нормативный диапазон систолической скорости и индексов сопротивления кровотоку в группе здоровых лиц, чтобы сравнить с данными пациентов с различными сосудистыми патологиями мозга.

В наших исследованиях показано, что гемодинамические показатели магистральных сосудов Виллизиева круга обеих полушарий между собой отличаются не достоверно, т.е. близки. Диаметр средней мозговой артерии, скоростные показатели, минутный объем крови достоверно отличаются от данных полученных из передней и задней мозговых артерий. Это может позволить использовать эти параметры для

сравнения с результатами пациентов с сосудистыми патологиями.

### **Выводы**

1. Транскраниальная доплерография в триплексном режиме позволяет получить изображения магистральных артерий Виллизиева круга мозга.

2. Наибольшая скорость и минутный объем кровотока регистрируется в средней мозговой артерии.

3. Гемодинамические параметры кровотока в артериях Виллизиева круга, полученные у здоровых лиц среднего возраста, позволят их использовать для диагностики сосудистой патологии мозга.

### **References**

1. Wagshul M.E., Eide P.K., Madsen J.R. The pulsating brain: a review of experimental and clinical studies of intracranial pulsatility // *Fluids Barriers. CNS.* – 2011. – Vol. 8(1), – P. 5. doi: 10.1186/2045-8118-8-5.
2. Maaly M.A., Ismail A.A. Three dimensional magnetic resonance angiography of the circle of Willis: anatomical variations in general Egyptian population // *Egypt. J. Radiol. Nucl. Med.* – 2011. – Vol. 42, 405-412.
3. Oreskovic D., Klarica M. Development of hydrocephalus and classical hypothesis of cerebrospinal fluid hydrodynamics: facts and illusions // *Prog. Neurobiol.* – 2011. – Vol. 94, – P. 238-258.
4. Nordon D.G., Rodrigues Jr. O.F. Variations in the brain circulation: the circle of Willis // *Braz. J. Morphol. Sci.* – 2012. – Vol. 29, – P. 243-247.
5. Vrselja Z., Brkic H., Mrdenovic S., Radic R., Curic G. Function of Circle of Willis // *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism.* – 2014. – Vol. 34, – P. 578-584. doi:10.1038/jcbfm.
6. Cucchiara B., Wolf R.L., Nagae L., Zhang Q., Kasner S., Datta R. et al. Migraine with Aura is associated with an incomplete circle of Willis: results of a prospective observational study // *PLoS ONE.* – 2013. – Vol. 8, – e71007.
7. Weis S. Venous Drainage of the Brain // *Imaging Brain Disease.* – 2019. – P. 211-224.
8. Willie C., Ainslie P. Cool head, hot brain: cerebral blood flow distribution during exercise // *J. Physiol.* – 2011. – Vol. 589, – P. 2657-2658.
9. Liu J., Zhu Y.-S., Hill C., Armstrong K., Tarumi T., Hodics T. et al. Cerebral autoregulation of blood velocity and volumetric flow during steady-state changes in arterial pressure // *Hypertension.* – 2013. – Vol. 62, – P. 973-979.
10. Sawicki M., Bohatyrewicz R., Walecka A. et al. CT Angiography in the Diagnosis of Brain Death // *Pol. J. Radiol.* – 2014. – Vol. 79, – P. 417-421.
11. Kim B.J., Kang G.H., Ahn S.H. et al. Magnetic Resonance Imaging in Acute Ischemic Stroke Treatment // *J. Stroke.* – 2014. – Vol. 16(3), – P. 131-145.
12. Lushyk U.B. The “blind” Doppler for clinical intellectuals // *Istyna Research Center.* 2017.
13. Abdullaev RY. Dopplerography of the vessels of the neck and head. Kharkiv. – 2010. – 128 p.
14. Verlhac S. Transcranial Doppler in children // *Pediatr. Radiol.* – 2011. – 41(Suppl 1), – S153-S65.



**Abdullayev R.Ya.<sup>1</sup>, Dudnik T.A.<sup>2</sup>, Tovazhnyanska O.L.<sup>3</sup>,  
Kozarenko T.M.<sup>4</sup>, Vasko L.N.<sup>2</sup>, Markovska O.V.<sup>3</sup>, Zhukova T.A.<sup>2</sup>**

## **DOPPLEROMETRY OF THE CEREBRAL MAIN ARTERIES**

*<sup>1</sup>Department of ultrasound diagnostics, Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine; <sup>2</sup>Department of surgery and radiology, Ukrainian Medical Stomatological Academy, Poltava, Ukraine; <sup>3</sup>Department of neurology, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; <sup>4</sup>Department of radiology, National Medical Academy of Post-Graduate Education, named after P.L. Shupika, Kyiv, Ukraine*

**Summary.** The article presents information on the study of the hemodynamics of the main cerebral arteries by the Doppler method. For this purpose, the results of Doppler measurements of the vessels of the Willis circle were analyzed in 56 healthy persons aged 41-60 years with normal cholesterol levels. Ultrasonography revealed no signs of carotid atherosclerosis. The study was carried out in triplex mode from transtemporal access in color and spectral Doppler mode.

In the color Doppler mode, the middle, anterior and posterior cerebral arteries (MCA, ACA, PCA) had smooth contours. Their diameter varied in the range of 3.9-6.1 ( $5.3 \pm 0.6$ ) mm, 3.2-4.7 ( $3.8 \pm 0.4$ ) mm, and 2.7-4.1 ( $3.4 \pm 0.3$ ) mm, respectively. MCA was visualized in 53 (94.6%) cases, ACA - in 51 (91.1%), PCA - in 52 (92.9%) cases.

The maximum systolic blood flow velocity in the MCA was 85-126 ( $107.2 \pm 6.3$  cm/s), in the ACA - 64-89 ( $72.6 \pm 5.3$  cm/s) in the PCA - 59-86 ( $64.8 \pm 5.2$  cm/s), respectively.

The minute volume of blood flow (Vvol) in the CMA was  $103.4 \pm 9.3$  cm<sup>3</sup>/min, in the ACA -  $36.5 \pm 7.8$  cm<sup>3</sup>/min, in the PCA -  $28.7 \pm 4.9$  cm<sup>3</sup>/min, respectively.

**Автор для корреспонденции:**

**Абдуллаев Ризван Ягуб оглы** – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой ультразвуковой диагностики Харьковской медицинской академии последипломного образования, Харьков, Украина

**E-mail:** rizvanabdullaiev@gmail.com

**Рәүҗи:** tibb e.d. M.C.Sultanova