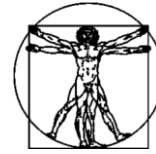


DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2016.4.07
УДК 612.15:616.71-003.93-089.227.84



**Российский
Журнал
Биомеханики**
www.biomech.ru

СКОРОСТЬ МОЗГОВОГО КРОВОТОКА И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

В.А. Щуров

Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова Минздрава Российской Федерации, Россия, 640014, Курган, ул. Марии Ульяновой, 6, e-mail: shchurovland@mail.ru

Аннотация. Ранее выявлена взаимосвязь функционального состояния конечности и линейной скорости кровотока по средним мозговым артериям контрлатеральной стороны головного мозга. Настоящая работа выполнена с целью анализа причин возрастного снижения скорости кровотока по средним мозговым артериям. Исследуемые величины скорости кровотока оценивали с помощью метода ультразвуковой доплерографии (датчик на 2 МГц). Исследования выполнены в состоянии физического покоя и при проведении функциональной мышечной пробы (сжатие кистевого эластического эспандера) у 30 практически здоровых людей в возрасте 18–60 лет и у 30 больных в возрасте 5–62 лет с врожденным отставанием в росте одной из нижних конечностей в процессе ее оперативного удлинения по Илизарову на 3–7 см (в среднем на 4,5 см). Обнаружено возрастное снижение скорости кровотока по средним мозговым артериям у здоровых обследуемых и еще более выраженное у больных с ортопедической патологией. Выявлена также взаимосвязь величин скорости кровотока по средним мозговым артериям контрлатеральной стороны мозга и степени отставания пораженной конечности в продольных размерах у больных. Показано, что снижение скорости кровотока является необходимым условием сохранения ауторегуляции мозгового кровотока, при нарушении которой с увеличением возраста, а также у больных в процессе лечения существенно снижается их работоспособность.

Ключевые слова: кровоснабжение мозга, резерв адаптации, работоспособность, удлинение конечности.

ВВЕДЕНИЕ

Скорость кровотока по средней мозговой артерии контрлатеральной стороны при проведении функциональной мышечной пробы, как правило, возрастает [2, 5, 10, 11]. Такой прирост объясняли увеличением минутного объема сердечного выброса, повышением уровня системного артериального давления, а также накоплением в крови углекислоты. При увеличении физической нагрузки скорость кровотока по средним мозговым артериям становилась выше на 25–30 %, однако в дальнейшем, при превышении максимального вентиляционного порога, начинала снижаться [1, 9, 10].

С помощью метода позитронно-эмиссионного анализа показано также стимулирующее влияние на активность мозговых структур при воздействии на ткани конечностей болевого фактора [3, 8, 12, 13]. Установлено, что при болевом воздействии на контрлатеральную конечность у обследуемых 18–35 лет реакцию увеличения скорости кровотока по средним мозговым артериям на 40–50 % можно в значительной степени нивелировать при применении анестетиков [6, 7]. Это подтверждает рефлекторный механизм наблюдающегося ускорения мозгового кровотока. У пожилых

© Щуров В.А., 2016

Щуров Владимир Алексеевич, д.м.н., профессор, г.н.с. лаборатории исправления деформаций и удлинения конечностей, Курган

людей уменьшение скорости мозгового кровотока рассматривают как причину ограничения скорости локомоций при старении и связывают с падением чувствительности сосудов головного мозга к углекислоте [12].

Еще сложнее найти взаимосвязь показателей интенсивности мозгового кровотока и интеллектуальных способностей у пожилых людей. Не менее интересен вопрос о наличии такой взаимосвязи у людей с ограниченными физическими возможностями, а также у работников физического труда и у спортсменов.

Количественный анализ реакции мозговых артерий на дополнительную работу мышц во время лечения больных важен для определения возможности их ранней мобилизации, определения объема двигательной активности, перевода стационарных пациентов на амбулаторный режим лечения. Практическое значение реакции сосудов мозга при функциональной мышечной пробе в травматологии связано с рекомендацией автора метода лечения больных Г.А. Илизарова применять дозированное функциональное нагружение оперированной конечности с первых дней после остеосинтеза [4].

Целью настоящего исследования явилась проверка гипотезы о причине возрастного снижения скорости кровотока по средним мозговым артериям, возникающего как условие сохранения резерва функциональной адаптации сосудистого русла, необходимого для поддержания механизма ауторегуляции мозгового кровотока и работоспособности человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование скорости кровотока по средним мозговым артериям проводилось с помощью метода ультразвуковой доплеровской флоуметрии, использовался датчик с несущей частотой 2 МГц (прибор «Ангиодин-2 КМ» производственного объединения «БИОС», Россия). При этом у больных после записи скорости мозгового кровотока в покое повторно выполняли регистрацию показателей при сжатии эластического экспандера правой и затем левой кистью. Для оценки работоспособности обследуемых, снижающейся под влиянием болевого фактора, использовали психофизиологический тест *SF-36*.

Обследованы 30 больных с отставанием в росте одной из нижних конечностей на величины от 2 до 15 см в возрасте от 5 до 62 лет. Исследования выполнены в процессе оперативного удлинения сегментов конечности по методу Илизарова. Контрольную группу составили 30 практически здоровых людей в возрасте 18–60 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

У здоровых людей с увеличением возраста (t , годы) наблюдалось снижение скорости кровотока по средним мозговым артериям: $V = 102 - 0,48t$; $R^2 = 0,350$. Еще более быстро происходило возрастное снижение скорости кровотока по средним мозговым артериям у больных с ортопедической патологией (рис. 1). Выявлено возрастное увеличение прироста скорости кровотока по средним мозговым артериям при проведении функциональной мышечной пробы (рис. 2). Следовательно, чем меньше абсолютные значения скорости мозгового кровотока, тем выше прирост показателя при работе мышц. В таком случае возрастное снижение показателя обусловлено необходимостью сохранения резервов функциональной адаптации сосудистого русла для осуществления ауторегуляции мозгового кровотока при изменениях потребностей тканей в кислороде.

У больных с отставанием в продольном росте одной из конечностей соотношение величин скорости кровотока на контрлатеральной и ипсилатеральной

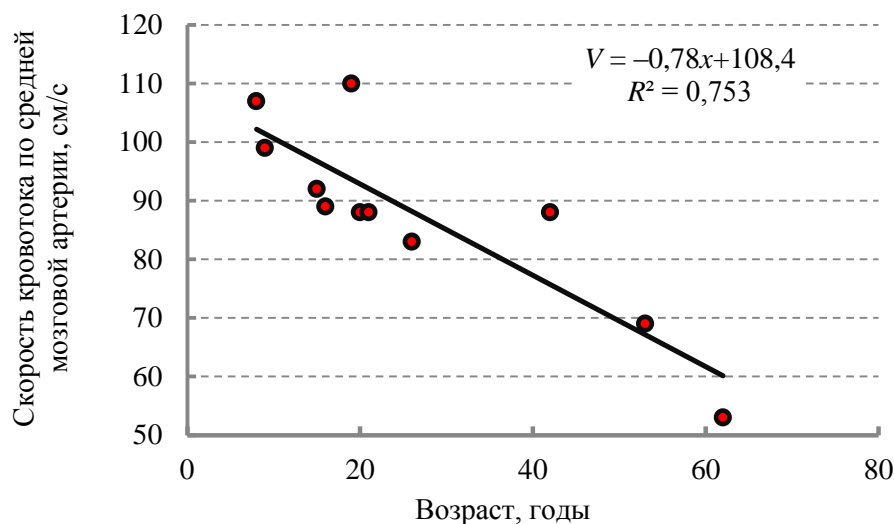


Рис. 1. Возрастная динамика скорости кровотока по средней мозговой артерии контрлатеральной стороны мозга у больных с отставанием одной из конечностей в продольных размерах

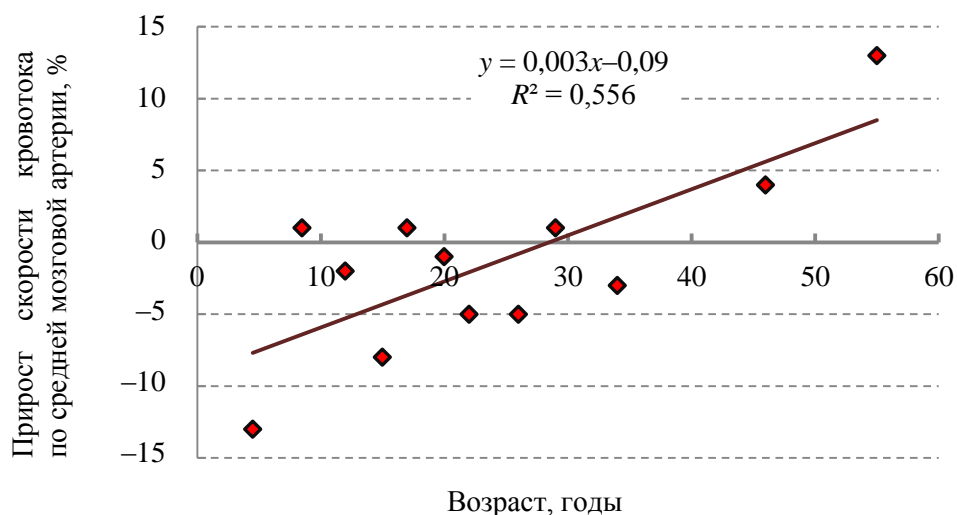


Рис. 2. Возрастная динамика изменения скорости кровотока по средней мозговой артерии при проведении функциональной мышечной пробы

сторонах мозга зависело от тяжести заболевания. По мере увеличения тяжести патологии относительная скорость кровотока по средним мозговым артериям контрлатеральной стороны мозга снижалась (рис. 3).

При этом с увеличением тяжести патологии средняя величина изменения показателя скорости кровотока становились все меньше (рис. 4). Выявлена обратная взаимосвязь величин изменения показателя при проведении функциональной мышечной пробы и исходной скорости кровотока по средним мозговым артериям: $\Delta V = -0,0039V + 0,38$; $R^2 = 0,739$.

В процессе оперативного удлинения конечности при приобретенной патологии скорость кровотока по средним мозговым артериям контрлатеральной стороны не увеличивалась, а при врожденной – снижалась с 113 ± 3 до 94 ± 5 см/с ($p \leq 0,01$).

Снижение показателя было тем более выражено, чем ниже была работоспособность, которую лимитировало действие болевого фактора (рис. 5). У больных с врожденной патологией в послеоперационном периоде размах изменений скорости кровотока по средним мозговым артериям при проведении функциональной

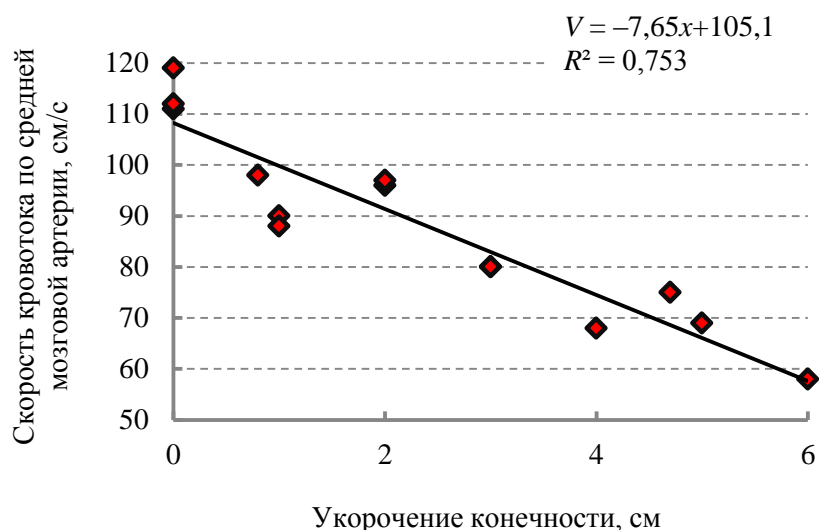


Рис. 3. Зависимость скорости кровотока по средней мозговой артерии контрлатеральной стороны от величины врожденного укорочения конечности

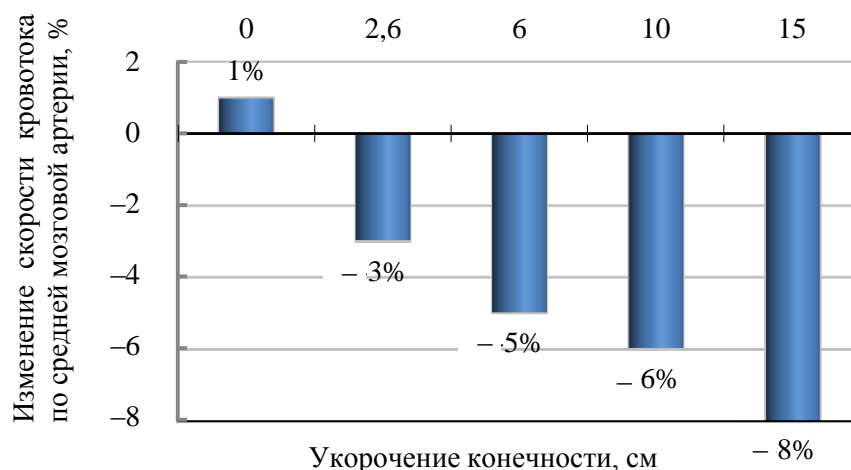


Рис. 4. Зависимость изменения скорости кровотока по средней мозговой артерии контрлатеральной стороны при проведении мышечной пробы от величины укорочения конечности

мышечной пробы был увеличен в 3 раза (рис. 6). Однако по мере оперативного удлинения конечности он неуклонно снижался до уровня нормы (20–22 %).

Следовательно, у больных при действии болевого фактора уменьшение абсолютных значений скорости кровотока по средним мозговым артериям при дополнительной мышечной нагрузке не приводило к ускорению кровоснабжения мозга. Работоспособность пациентов при этом оказывалась существенно сниженной.

Выводы

1. Выявленное возрастное снижение скорости кровотока по средним мозговым артериям у здоровых людей и у пациентов с патологией опорно-двигательного аппарата является необходимым условием сохранения ауторегуляции мозгового кровотока.

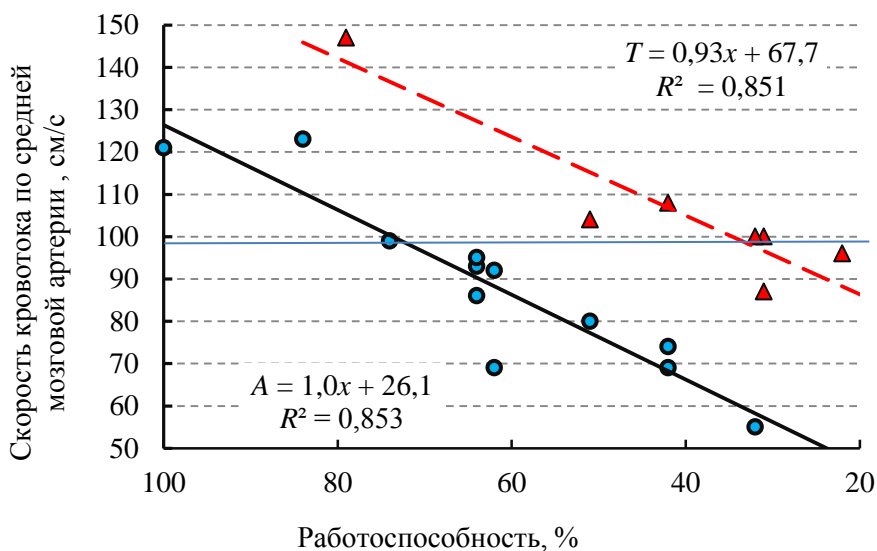


Рис. 5. Влияние снижения работоспособности под действием болевого фактора на скорость кровотока по средней мозговой артерии контрлатеральной стороны

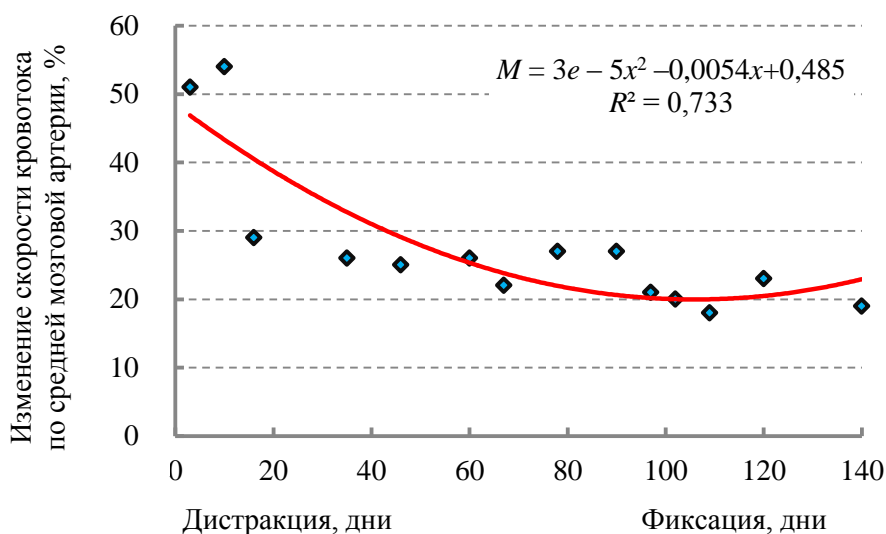


Рис. 6. Зависимость скорости кровотока в средней мозговой артерии от длительности дистракции при врожденных укорочениях конечности

2. В период оперативного удлинения конечности при проведении функциональной мышечной пробы обнаружено не увеличение, а снижение скорости мозгового кровотока. Такая реакция является неадекватной, свидетельствует о нарушении ауторегуляции мозгового кровотока и сопровождается уменьшением работоспособности больных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов В.П., Гатальский К.К., Доронина Н.Л., Кисарова Я.А., Суховершин Р.А. Реакция мозговой гемодинамики на физическую нагрузку умеренной интенсивности // Российский физиологический журнал. – 2007. – № 2 (93). – С. 161–163.

2. Baumbach G.L., Heistad D.D. Effects of sympathetic stimulation and changes in arterial pressure on segmental resistance of cerebral vessels in rabbits and cats // *Circ. Res.* – 1983. – Vol. 52. – P. 527–533.
3. Casey K.L., Minoshima S., Morrow T.J., Koeppel R.A. Comparison of human cerebral activation pattern during cutaneous warmth, heat pain, and deep cold pain // *J. Neurophysiol.* – 1996. – Vol. 76. – P. 571–581.
4. Ilizarov G.A. Transosseous osteosynthesis. Theoretical and clinical aspects of the regeneration growth of tissue. – Berlin: Springer-Verlag, 1992. – 800 p.
5. Lassen N.A. Middle cerebral artery blood velocity and cerebral blood flow and O₂ uptake during dynamic exercise // *J. Appl. Physiol.* – 1993. – Vol. 74 (1). – P. 245–250.
6. Lorenz I.H., Kolbitsch C., Hintereggen M. Remifentanyl and nitrous oxide reduce changes in cerebral blood flow velocity in the middle cerebral artery caused by pain // *British J. of Anaesthesia.* – 2003. – Vol. 90 (3). – P. 296–299.
7. Lorenz I.H., Kolbitsch C., Schocke M., Kremser C., Zschiegner F., Hinteregger M., Felber S., Hörmann C., Benzer A. Low-dose remifentanyl increases regional cerebral blood flow and regional cerebral blood volume, but decreases regional mean transit time and regional cerebrovascular resistance in volunteers // *British J. of Anaesthesia.* – 2000. – Vol. 85. – P. 199–204.
8. Micieli G., Tassorelli C., Bosone D., Cavallini A., Viotti E., Nappi G. Intracerebral vascular changes induced by cold pressor test: a model of sympathetic activation // *Neurol. Res.* – 1994. – Vol. 16. – P. 163–167.
9. Moraine J.J., Lamotte M., Berré J., Niset G., Leduc A., Naeije R. Relationship of middle cerebral artery blood flow velocity to intensity during dynamic exercise in normal subjects // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 1993. – Vol. 67 (1). – P. 35–38.
10. Olson T.P., Tracy J., Dengel D.R. Relationship between ventilatory threshold and cerebral blood flow during maximal exercise in humans // *The Open Sports Medicine Journal.* – 2009. – Vol. 3. – P. 9–13.
11. Poulin M.J., Syed R.J., Robbins P.A. Assessments of flow by transcranial Doppler ultrasound in the middle cerebral artery during exercise in humans // *J. Appl. Physiol.* – 1999. – Vol. 86, № 5. – P. 1632–1637.
12. Sorond F.A., Galica A., Serrador J.M., Kiely D.K., Ioputaife I., Cupples L.A., Lipsitz L.A. Cerebrovascular hemodynamics, gait, and falls in an elderly population mobilize Boston Study // *Neurology.* – 2010. Vol. 74. – P. 1627–1633.
13. Svensson P., Minoshima S., Beydoun A., Morrow T., Casey K. Cerebral processing of acute skin and muscle pain in humans // *J. Neurophysiol.* – 1997. – Vol. 78. – P. 450–460.

CEREBRAL BLOOD FLOW VELOCITY AND HUMAN EFFICIENCY

V.A. Schurov (Kurgan, Russia)

Earlier, it was discovered an interconnection of the functional condition of the limb and linear blood flow velocity in the middle cerebral arteries of contralateral side of the brain. The present study is done to analyze the causes for decrease of blood flow velocity in the middle cerebral arteries with age. The studied parameters of blood flow velocity were evaluated using the method of ultrasound Doppler with a probe of 2 MHz. The examinations were done at rest and during functional muscular test (squeezing elastic wrist exerciser) in 30 apparently healthy people aged 18–60 and in 30 patients aged 5–62 with congenital growth delay of one of the lower limbs during its surgical lengthening by the Ilizarov method by 3–7 cm (on average by 4.5 cm). Decrease of blood flow velocity in the middle cerebral arteries with age was discovered in the healthy people, and even more significant – in the orthopaedic patients. We also discovered an interconnection of values of blood flow velocity in the middle cerebral arteries of the contralateral side of the brain and degree of longitudinal growth delay of the affected limb. We concluded that decrease of blood flow velocity is a necessary condition to conserve cerebral blood flow auto-regulation; in case it gets affected with age and also in patients during treatment their performance significantly decreases.

Key words: cerebral blood supply, adaptation reserve, performance, limb lengthening.

Получено 8 декабря 2016