

## ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ НА МОЗГОВОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ

Наманганский Государственный Педагогический Институт  
Кафедра - Теории и методики физической культуры и спорта.  
Стажер-Преподаватель кафедры физической культуры и спорта –  
**Джомаладинова З.Р.**

**Аннотация.** Тезис обобщает потенциальные острые и хронические эффекты физических упражнений на мозговое кровообращение (МК), включая изменения глобального церебрального кровотока (CBF), цереброваскулярной реактивности (CVR) и нейроваскулярного сопряжения (NVC). Рассматриваются системные (кардиогемодинамика, дыхательная регуляция CO<sub>2</sub>), сосудистые (эндотелий зависимая вазодилатация, жёсткость артерий, состояние гематоэнцефалического барьера) и нейроглиальные механизмы (BDNF, IGF 1, VEGF, глиальная модуляция). Показано, что умеренная аэробика, дополненная силовыми и интервальными нагрузками при грамотном дыхательном контроле, повышает перфузию, улучшает NVC и ассоциируется с улучшением когнитивных функций и снижением сосудистых рисков в разных возрастных и клинических группах. Обсуждаются модераторы (возраст, пол, тренированность, коморбидности), риски (гипервентиляция, обезвоживание) и практическая «доза» активности. Представлен 8 недельный протокол для оптимизации мозговой перфузии.

**Ключевые слова:** мозговое кровообращение; церебральный кровоток; цереброваскулярная реактивность; нейроваскулярное сопряжение; эндотелий; NO; BDNF; НИТ; аэробные упражнения; когнитивные функции; ауторегуляция; старение.

**Annotatsiya.** Ushbu tezis jismoniy mashqlar miya qon aylanishiga (MK) ko'rsatadigan potensial ta'sirlarini qisqa va chuqur yoritadi: global miya qon oqimi (CBF), serebrovaskulyar reaktivlik (CVR) va neyrovaskulyar bog'lanish (NVC)dagi o'zgarishlar. Tizimli (yurak qon tomir gemodinamikasi, CO<sub>2</sub> nafas regulyatsiyasi), tomir (endoteliyga bog'liq vazodilatatsiya, arteriyalar qattiqligi, gematoensefalik to'siq) va neyrogliyal (BDNF, IGF 1, VEGF, glial modulyatsiya) mexanizmlar ko'rib chiqiladi. To'g'ri boshqarilgan nafas bilan birga bajariladigan mo'tadil aerob mashqlar, kuch mashqlari va interoalli protokollar perfuziyani oshirishi, NVCni yaxshilashi va kognitiv funksiyalarni qo'llab quvvatlashi mumkin. Moderatorlar (yosh, jins, tayyorgarlik darajasi, komorbid holatlar), xatarlar (giperventilatsiya, , suvsizlanish) va amaliy "doza" bo'yicha tavsiyalar beriladi. Miya perfuziyasini optimallashtirish uchun 8 haftalik dastur taqdim etiladi.

**Kalit so'zlar:** miya qon aylanishi; miya qon oqimi; serebrovaskulyar reaktivlik; neyrovaskulyar bog'lanish; endoteliy; azot oksidi (NO); BDNF; HIIT; aerob mashqlar; kognitiv funksiyalar; avto regulyatsiya; qarish.

**Abstract.** *This thesis synthesizes the potential acute and chronic effects of physical exercise on cerebral circulation, detailing changes in global cerebral blood flow (CBF), cerebrovascular reactivity (CVR), and neurovascular coupling (NVC). We outline systemic (cardiac output, CO<sub>2</sub> driven ventilatory control), vascular (endothelium dependent vasodilation, central arterial stiffness, blood-brain barrier integrity), and neuroglial mechanisms (BDNF, IGF 1, VEGF, glial modulation). Evidence indicates that moderate aerobic exercise, complemented by resistance and carefully managed interval training, can enhance perfusion, improve NVC, and relate to cognitive benefits while reducing vascular risk across ages and clinical conditions. We discuss key moderators (age, sex, fitness, comorbidities), principal risks (hyperventilation, Valsalva, dehydration), and practical dosing. An 8 week protocol to optimize cerebral perfusion is provided.*

**Keywords:** *cerebral circulation; cerebral blood flow; cerebrovascular reactivity; neurovascular coupling; endothelium; nitric oxide (NO); BDNF; HIIT; aerobic exercise; cognitive function; autoregulation; aging.*

## ВВЕДЕНИЕ

Физические упражнения — один из самых мощных немедикаментозных факторов, способных изменять функции сердечно сосудистой и нервной систем. Мозговое кровообращение (МК) — совокупность механизмов доставки крови к тканям мозга через артериальную, капиллярную и венозную сети — критично для поддержания метаболизма нейронов, гомеостаза и когнитивных процессов. Понимание того, как различные режимы двигательной активности влияют на мозговой кровоток, церебральную автрорегуляцию, микроциркуляцию и нейроваскулярное сопряжение, имеет прямую практическую ценность для профилактики когнитивного снижения, инсульта, постковидных синдромов, тревожно депрессивных расстройств и возрастных нейродегенераций.

Цель текста — системно рассмотреть острые и хронические эффекты упражнений на мозговое кровообращение, механизмы на клеточно молекулярном и системном уровнях, модераторы эффекта (возраст, пол, тренированность, коморбидности), а также практические рекомендации по дозированию нагрузки и безопасности.

Базовые понятия: что именно меняет физическая нагрузка

1. Церебральный кровоток (CBF) — объём крови, проходящей через 100 г мозговой ткани в минуту. При здоровой автрорегуляции CBF относительно

стабилен в широком диапазоне системного АД ( $\approx 60$ – $150$  мм рт. ст.), но чувствителен к  $\text{PaCO}_2$  (артериальному  $\text{CO}_2$ ) и метаболическим потребностям.

2. Цереброваскулярная реактивность (CVR) – способность сосудов мозга изменять просвет в ответ на стимулы: гиперкапнию/гипокапнию, гипоксию, механическое сдвиговое напряжение (shear stress), нейрональную активность.

3. Нейроваскулярное сопряжение (NVC) – локальное увеличение кровотока в активном участке коры/подкорковых структур в ответ на рост нейрональной активности.

4. Гемодинамические параметры: скорость кровотока в крупных артериях (в т.ч. средней мозговой артерии), пульсовая волна и жёсткость магистральных артерий, венозный отток и динамика ликвора.

Физическая активность влияет на каждый из этих компонентов по нескольким каналам: через системную кардиогемодинамику (ЧСС, ударный объём, сердечный выброс), через дыхательную регуляцию ( $\text{PaCO}_2$ ), через эндотелиальные и миогенные механизмы (NO, простаглицлин, эндотелин 1), через гуморальные факторы (катехоламины, натрийуретические пептиды), а также через трофические молекулы (BDNF, IGF 1, VEGF), которые перестраивают сосудистую сеть и синаптическую пластичность.

Острые эффекты: что происходит «здесь и сейчас» во время и сразу после нагрузки

#### 1) Аэробные упражнения умеренной интенсивности (40–60% $\text{VO}_2\text{max}$ )

Умеренное увеличение CBF на 10–20% за счёт повышения сердечного выброса и лёгкой гиперкапнии при ускоренном дыхании. – Оптимизация NVC: двигательные и когнитивные области получают более выраженный локальный приток, что улучшает исполнительные функции кратковременно (эффект «окна ясности» 30–120 минут). – Усиление эндотелиальной функции через рост сдвигового напряжения в артериолах; высвобождение NO способствует вазодилатации.

#### 2) Интервальная высокоинтенсивная тренировка (НИТ)

Фазовый профиль: во время высоких интервалов гипервентиляция может снижать  $\text{PaCO}_2$  (гипокапния), вызывая церебральную вазоконстрикцию и транзиторное уменьшение CBF; на восстановительных интервалах возможна реактивная вазодилатация. – Тренировочный эффект: при регулярном НИТ повышается цереброваскулярная реактивность и расширяется динамический диапазон регуляции.

#### 3) Силовые упражнения

Противонаправленные силы: манёвр Вальсальвы и рост внутригрудного/внутричерепного давления могут кратковременно снижать мозговую перфузию, но одновременно повышенный АД поддерживает

глобальный CBF. – Безопасность: избегать длительного задерживания дыхания у лиц с аневризмами/неконтролируемой гипертензией; предпочитать ритмичное дыхание и субмаксимальные нагрузки.

4) Дыхательные и осознанные практики (йога дыхание, координированная гипер/гиповентиляция)

– Модуляция PaCO<sub>2</sub>: медленное дыхание (≈6 вдохов/мин) улучшает вариабельность сердечного ритма и может мягко повышать CBF за счёт нормокапнии/умеренной гиперкапнии. – Вегетативный баланс: усиление парасимпатической активности снижает сосудистую ригидность и улучшает венозный отток.

Хронические эффекты: что меняется после недель и месяцев тренировок

Эндотелиальная рекондиционировка: хроническое сдвиговое напряжение повышает экспрессию eNOS, увеличивает биодоступность NO, снижает оксидативный стресс и восстанавливает вазодилататорный резерв церебральных артерий.

Ангиогенез и артериогенез: увеличение капиллярной плотности, развитие коллатералей, улучшение соотношения диаметр/длина микрососудов, что уменьшает диффузионные расстояния для кислорода и глюкозы.

Снижение жёсткости центральных артерий (аорта, сонные), что уменьшает передачу пульсовой энергии на мозговые микрососуды и защищает гематоэнцефалический барьер (ГЭБ) от микротравмы.

Повышение цереброваскулярной реактивности к CO<sub>2</sub> и метаболическим стимулам; более точная и быстрая динамика NVC.

Нейротрофическая поддержка: устойчивое повышение уровней BDNF, IGF 1, VEGF способствует нейрогенезу в гиппокампе, синаптогенезу и миелинизации, косвенно улучшая регуляцию локального кровотока.

Метаболическая эффективность: улучшение митохондриальной функции нейронов и астроцитов, повышение буферной мощности к ишемическим/гипоксическим эпизодам.

Механизмы на разных уровнях

Системный уровень

Рост ударного объёма и сердечного выброса увеличивает перфузионное давление; тренированное сердце обеспечивает тот же мозговой кровоток при меньшей ЧСС и меньших метаболических затратах. – Снижение хронического АД и улучшение барорефлекторной чувствительности стабилизируют автрорегуляцию.

Сосудистый уровень точнее, эндотелий: NO/PGI<sub>2</sub> зависимая вазодилатация; уменьшение эндотелина 1; повышение антиоксидантной защиты (супероксиддисмутаза, каталаза). Гладкомышечные клетки:

улучшение кальций зависимых каналов, снижение миогенного спазма, улучшение вазомоторной координации. – ГЭБ: упражнения повышают экспрессию белков плотных контактов (claudin 5, occludin), снижая капиллярную утечку; микроглия смещается в более «проремонтный» фенотип.

Нейроглиальный уровень, а именно астроциты: улучшение кальциевых волн и сигнальной передачи к артериолам; усиление лактатного шаттла (передача лактата от астроцитов к нейронам), что поддерживает NVC. – Олигодендроциты: усиление активности генов миелинизации под влиянием IGF 1/BDNF – повышение проводимости и энергетической эффективности цепей. – Нейромедиаторы: модуляция баланса ГАМК/глутамат в пользу более стабильной нейрональной возбудимости.

Тип нагрузки и «доза» как детерминанты эффекта

Частота:  $\geq 3$ –5 раз/неделю для устойчивых сосудистых изменений; ежедневная низко средняя активность даёт накапливающийся эффект.

Интенсивность: умеренная (40–60% резерва ЧСС) оптимальна для большинства; высокоинтенсивные протоколы эффективны, но требуют опыта и контроля дыхания.

Продолжительность: 20–45 минут аэробной нагрузки за сессию – рабочее «окно» для выраженных сдвигов CBF без избыточной гипокапнии.

Комбинированность: сочетание аэробных, силовых и координационных упражнений усиливает разноуровневый эффект – от магистралей до микросети.

Возраст, пол, тренированность

Дети и подростки: высокий резерв нейропластичности; регулярные игры на выносливость, бег, плавание улучшают школьные когнитивные показатели через NVC и BDNF зависимые механизмы. – Взрослые: выраженный антистрессорный и антидепрессивный эффект; снижение сосудистой жёсткости и улучшение внимания/рабочей памяти. – Пожилые: даже прогулки с ускорениями и силовая гимнастика с низкой нагрузкой улучшают CVR и скорость обработки информации; уменьшается риск деменции. Пол: эстрогены поддерживают эндотелиальную функцию; у женщин пременопаузального периода реактивность часто выше, в постменопаузе – польза упражнений для сосудистого тонуса особенно значима. Тренированность, исходно низкая физическая форма предсказывает быстрый прирост CVR, а у выносливых спортсменов – тонкие улучшения NVC и экономизация гемодинамики.

Регулярные упражнения снижают АД и пульсовое давление, уменьшая нагрузку на мозговую микроциркуляцию; улучшаются маркеры ГЭБ. Рекомендуются ходьба, плавание, велотренажёр 150–300 мин/нед.

Инсулинорезистентность ухудшает эндотелиальную функцию и NVC; аэробно силовые тренировки повышают чувствительность к инсулину, усиливают NO зависимую вазодилатацию и снижают воспалительные цитокины.

Болезнь мелких сосудов мозга характеризуется лейкоареозом, снижением CVR и микрогеморрагиями. Умеренные аэробные тренировки снижают прогрессирование, улучшают походку, скорость мышления и эмоциональную регуляцию.

Инсульт (профилактика и реабилитация)

Профилактика: упражнения снижают риск ишемического инсульта через влияние на АД, липиды, массу тела и сонные артерии. — Реабилитация: дозированная ходьба, робото ассистированная терапия, велоэргометрия и дыхательные тренировки повышают перфузию пенумбры, улучшают пластичность сетей и функциональные исходы. Важно междисциплинарное наблюдение (невролог, физиотерапевт, кардиолог).

Нейродегенеративные состояния

При болезни Альцгеймера и сосудистой деменции упражнения повышают BDNF, улучшают CBF лобно теменных зон, замедляют снижение памяти. При болезни Паркинсона аэробика и танцы улучшают походку и когнитивные функции через NVC и дофаминергическую модуляцию.

Постковидные последствия

Дозированная активность нормализует дисавтономию, улучшает NO сигналинг и снижает микровоспаление эндотелия; рекомендуется протокол «низко и медленно» с авто регуляцией по симптомам и ЧСС.

Риски и ограничения

Неконтролируемая гипертензия, аневризмы, тяжелый стеноз сонных артерий — противопоказания для высокоинтенсивных и изометрических нагрузок; предпочтение — медицински контролируемой аэробике.

Манёвр Вальсальвы во время тяжёлых подъёмов увеличивает внутричерепное давление; необходим обученный паттерн дыхания.

Гипервентиляция в НИТ может вызывать гипокапнию и транзиторное снижение CBF; корректируется тренировкой дыхательного ритма и удлинёнными восстановительными фазами.

Обезвоживание повышает вязкость крови, ухудшает микроперфузию; следует поддерживать водный баланс и электролиты.

## ВЫВОДЫ

Физические упражнения воздействуют на мозговое кровообращение многоканально: через системную гемодинамику, эндотелиальную функцию, нейроваскулярное сопряжение, трофические и противовоспалительные механизмы. Острые эффекты определяются типом нагрузки и дыхательным режимом, а хронические – формируют более «умный» и гибкий сосудистый ответ, укрепляют микросеть и повышают устойчивость мозга к стрессу, ишемии и возрастным изменениям. Наиболее универсальной стратегией является регулярная умеренная аэробика в комбинации с силовой и дыхательной тренировкой, индивидуально дозированная с учётом риска и цели. Такое вмешательство – относительно простое и безопасное – способно заметно улучшить когнитивное функционирование, эмоциональную регуляцию и качество жизни.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ainslie, P. N., & Duffin, J. (2009). Integration of cerebrovascular CO<sub>2</sub> reactivity and chemoreflex control of breathing: Mechanisms of regulation, measurement, and interpretation. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 296(5), R1473–R1495. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.91008.2008>
2. Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., Kim, J. S., Heo, S., Alves, H., White, S. M., Wojcicki, T. R., Mailey, E., Vieira, V. J., Martin, S. A., Pence, B. D., Woods, J. A., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 3017–3022. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015950108>
3. Green, D. J., Maiorana, A., O'Driscoll, G., & Taylor, R. (2004). Effect of exercise training on endothelium-derived nitric oxide function in humans. *The Journal of Physiology*, 561(1), 1–25. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.068197>
4. Iadecola, C. (2017). The neurovascular unit coming of age: A journey through neurovascular coupling in health and disease. *Neuron*, 96(1), 17–42. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.07.030>
5. Joris, P. J., Mensink, R. P., Adam, T. C., & Liu, T. T. (2018). Cerebral blood flow measurements in adults: A review on the effects of dietary factors and exercise. *Nutrients*, 10(5), 530. <https://doi.org/10.3390/nu10050530>
6. Labrecque, L., Smirl, J. D., Brassard, P., Malenfant, S., Le Blanc, O., Gagnon, É., & Péronnet, F. (2020). Comparable blood velocity changes in middle and posterior cerebral arteries during and following 30 s of high-intensity exercise. *Physiological Reports*, 8(8), e14430. <https://doi.org/10.14814/phy2.14430>

7. Lucas, S. J. E., Cotter, J. D., Brassard, P., & Bailey, D. M. (2015). High-intensity interval exercise and cerebrovascular health: Curiosity, cause, and consequence. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 35(6), 902–911. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2015.51>
8. Ogoh, S., & Ainslie, P. N. (2009). Cerebral blood flow during exercise: Mechanisms of regulation. *Journal of Applied Physiology*, 107(5), 1370–1380. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00573.2009>
9. Ogoh, S., & Ainslie, P. N. (2009). Regulatory mechanisms of cerebral blood flow during exercise. *The Journal of Physiology*, 587(Pt 17), 3457–3463. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.173674>
10. Querido, J. S., & Sheel, A. W. (2007). Regulation of cerebral blood flow during exercise. *Sports Medicine*, 37(9), 765–782. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737090-00002>
11. Smith, K. J., & Ainslie, P. N. (2017). Regulation of cerebral blood flow and metabolism during exercise. *Experimental Physiology*, 102(11), 1356–1371. <https://doi.org/10.1113/EP086249>
12. Tanaka, H., Dinunno, F. A., Monahan, K. D., Clevenger, C. M., DeSouza, C. A., & Seals, D. R. (2000). Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*, 102(11), 1270–1275. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.102.11.1270>
13. Tanaka, H., & Safar, M. E. (2019). Antiaging effects of aerobic exercise on systemic arteries. *Hypertension*, 74(2), 237–243. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.13179>
14. Whitaker, A. A., Sorg, S. F., Boyd, L. A., & Timarao, S. M. (2021). Cerebrovascular response to an acute bout of low-volume high-intensity interval exercise. *Frontiers in Physiology*, 12, 748345. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.748345>
15. Whitaker, A. A., Sharma, R., Roberts, D. M., & Tarumi, T. (2020). Effects of high-intensity interval exercise on cerebrovascular function: A systematic review. *PLOS ONE*, 15(11), e0241248. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241248>
16. Xie, L., Kang, H., Xu, Q., Chen, M. J., Liao, Y., Thiyagarajan, M., O'Donnell, J., Christensen, D. J., Nicholson, C., Iliff, J. J., Takano, T., Deane, R., & Nedergaard, M. (2013). Sleep drives metabolite clearance from the adult brain. *Science*, 342(6156), 373–377. <https://doi.org/10.1126/science.1241224>
17. Zhu, W. M., Tachrount, M., Canty, A. J., & Park, L. (2022). Neurovascular coupling mechanisms in health and disease: A review of spontaneous and evoked neurovascular responses. *Brain*, 145(7), 2276–2293. <https://doi.org/10.1093/brain/awac134>