

О.М.Волянський

## Визначення індивідуальної норми церебральної гемодинаміки у людини

*Представлен разработанный на основе теории адаптации и учения о гомеостазе новый подход к оценке индивидуальной нормы церебральной гемодинамики у практически здоровых людей. Применяя гипер- и гипокapнические функциональные нагрузки, определяли гомеостатический диапазон цереброваскулярной реактивности. Для этого методом транскраниальной доплерографии измеряли усредненную по времени максимальную скорость кровотока в средней мозговой артерии. Установлено, что пределы гомеостатического диапазона сосудистой реактивности можно считать границами индивидуальной нормы мозгового кровообращения. Оценка индивидуальной нормы церебральной гемодинамики позволяет определять профессиональную психофизическую готовность операторов.*

### ВСТУП

Мозковий кровообіг, який є забезпечувальною системою роботи головного мозку, зазнає найбільшого функціонального навантаження від комплексного впливу нервово-емоційного напруження. Оцінку рівня адаптації та функціональних резервів мозкового кровотоку неможливо здійснювати без знання нормативних значень показників церебральної гемодинаміки [7].

Нині для оцінки мозкової гемодинаміки застосовується популяційна норма кровотоку. Для її визначення в медичній практиці використовують діапазон, в якому розподілені кількісні значення показників у певній групі здорових людей [8]. Однак характер пристосувальних реакцій організму, згідно з сучасними уявленнями про адаптацію, не є постійним, що може внести суттєві похибки при оцінці стану мозкової гемодинаміки в окремої людини. Здоров'я з позиції теорії адаптації та вчення про гомеостаз розглядається як процес безперервного пристосування організму до умов навколишнього середовища, а його мірою є адаптаційні можливості організму. Перехід від

стану здоров'я до хвороби пов'язаний зі зниженням адаптаційних можливостей організму, зі зменшенням здатності адекватно реагувати на соціально-трудова та звичайні повсякденні навантаження. Діагностика донозологічних порушень (стан на рубезі здоров'я – хвороба) [3] адаптаційних резервів церебральної гемодинаміки здійснюється при багаторазових обстеженнях окремої людини з використанням функціональних навантажень [13]. Для цього визначається індивідуальна статистична норма [2, 4], яка може використовуватись як еталон для порівняння або як точка відліку. У доступній нам літературі практично відсутні відомості про визначення індивідуальної норми мозкового кровотоку з урахуванням стадій адаптаційного процесу.

Мета нашої роботи полягала у визначенні індивідуальної норми церебральної гемодинаміки у практично здорової людини-оператора.

### МЕТОДИКА

Індивідуальну норму визначали за допомогою порівняння показників мозкового

кровотоку в стані спокою з їх значеннями при функціональному навантаженні із застосуванням двох різноспрямованих за механізмом дії навантажувальних функціональних тестів – проби з гіпер- та гіпокапнією. Для цього методом транскраніальної доплерографії до та в кінці проби за допомогою ультразвукового сканера LOGIQ–500MD (“GE MS”, США) визначали усереднену за часом максимальну швидкість кровотоку у лівій середній мозковій артерії [15]. Як функціональні навантаження застосовували проби з затримкою дихання (на 30 с) і тест з гіпервентиляцією (глибоке дихання з частотою 30 циклів за 1 хв протягом 3 хв) [2]. Межі гемодинамічних змін при гіпер- та гіпокапнії формують „гомеостатичний діапазон” реактивності мозкових судин (цереброваскулярний резерв) [9], що є кількісним критерієм індивідуальної норми.

Показано [7], що реакція на помірне функціональне навантаження за своєю сутністю є порогом норми для даного індивідуума. Іншими словами, якщо за умов спокою значення показників кровообігу менші від зареєстрованих під час проби – це стан оптимальної регуляції, а якщо перевищують їх, то це свідчить про порушення компенсації, розвиток патологічного стану.

Було обстежено 15 практично здорових добровольців віком від 26 до 42 років. Кожному з них було проведено шестиразове обстеження церебральної гемодинаміки з інтервалом в один тиждень у положенні сидячи. Із них п'ять осіб за три місяці до основних досліджень пройшли шестиразове обстеження мозкового кровотоку з інтервалом у один тиждень у положенні лежачи. Загалом було виконано 120 досліджень. Оцінку церебральної гемодинаміки проводили в однакових умовах: о сьомій годині ранку натщесерце та через 15 хв перебування у стані спокою.

Статистичну обробку результатів здійснювали за допомогою програми Microsoft Excel. Визначали середню арифметичну

(M) та середнє квадратичне відхилення (SD). У всіх випадках проводили перевірку нормальності розподілу змінних величин.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати досліджень показали, що вибірки індивідуальних змін показників мозкового кровотоку відповідали нормальному закону розподілу. Тому подальші розрахунки проводили за допомогою методів параметричної статистики.

Дослідження церебральної гемодинаміки, проведені у стані спокою, виявили значну її варіабельність між окремими обстежуваними. Коливання індивідуальних величин при шестиразових дослідженнях з інтервалом у сім діб свідчать про різний функціональний стан мозкового кровотоку, тобто про різний рівень адаптації індивідуума до навколишнього середовища. Це підтверджується також відсутністю чіткої закономірності в динаміці величин протягом усього тестування. Проведення шестиразових досліджень з інтервалом в один тиждень дає можливість враховувати вплив на психофізіологічні показники людини ультрадіанних біоритмів (30 діб  $\pm$  10 діб) і виключати і тижневі біоритми [5]. Отже, при визначенні індивідуальної норми велику роль відіграє врахування впливу на людину максимальної кількості факторів навколишнього середовища, що дозволить зменшити помилки при оцінці професійної психофізичної готовності.

Функціональні навантаження з гіпер- та гіпокапнією викликали різноспрямовані зміни церебральної гемодинаміки. Так, при проведенні проби із затримкою дихання збільшувалася швидкість кровотоку в лівій середній мозковій артерії, причиною якої є підвищення вмісту ендогенного CO<sub>2</sub> через тимчасове припинення надходження кисню, що призводить до розширення артеріолярного русла [16]. На відміну від гіперкапнії, при гіпокапнії внаслідок гіпервентиляції виникало уповільнення швидкості кровотоку,

що є проявом звуження церебральних артерій [17]. Під час проведення проби з гіпервентиляцією в 67 % випадків обстежувані скаржилися на важкість у голові, запаморочення, отерплість кінцівок, головний біль. Подальше продовження тесту з частим глибоким диханням могло призвести до втрати свідомості. Тобто, ця стандартизована функціональна проба була тією межею, за якою відбувається зрив компенсаторних резервів адаптації. Отже, значення швидкості мозкового кровотоку, визначене під час стандартизованого функціонального навантаження, може бути межею норми для окремого індивідуума. Виходячи з цього, нижнім значенням індивідуальної норми є швидкість, розрахована під час проби з гіпервентиляцією, а верхнім – при проведенні тесту із затримкою дихання.

Таким чином, на межі між станом здоров'я і хворобою виникає ціла низка перехідних станів. Вони визначаються різним рівнем адаптаційного процесу до повсякденних психоемоційних і фізичних навантажень, ступенем толерантності організму до впливу зовнішніх і внутрішніх факторів. Відомо чотири перехідні стани: “здоровий”, “практично здоровий”, “ослаблений” та “преморбідний” [7]. Перший стан – реакція активації, коли всі показники відповідають значенням у стані спокою. Другий – реакція напруження – характеризується підвищенням психофізіологічних функцій і відповідає стану передстартової готовності. Третій – реакція системних гіперфункцій, яка свідчить про психофізіологічне перенапруження, близьке до стану зриву, зумовленого перевтомою. Четвертий – реакція тривоги, стресу, коли нейрогуморальна регуляція організму вказує на зрив механізмів компенсації функціональних систем. Оскільки преморбідний стан характеризується як зрив компенсаторних механізмів адаптації, то його межі виходять за граничні значення швидкості мозкового кровотоку при гіпертагіпокапнічних навантаженнях. У даному

інтервалі значень залишаються показники, які характеризують стани “здоровий”, “практично здоровий” та “ослаблений”.

Розмежування цих трьох станів було здійснено наступним чином. За допомогою шестиразових досліджень для кожного обстежуваного визначали середні значення швидкості мозкового кровотоку в стані спокою, наприкінці проби з гіпервентиляцією та протягом тесту із затримкою дихання. Потім визначали різницю між середніми значеннями швидкості мозкового кровотоку при гіперкапнії та у стані спокою. Цю різницю ділили на три рівні частини, які становили верхню межу даних станів. Аналогічно розраховували нижню межу. Для цього визначали різницю між середніми значеннями усередненої за часом максимальної швидкості кровотоку в стані спокою та при гіпокапнії.

Наведена методика визначення індивідуальної норми церебральної гемодинаміки є простою у практичному застосуванні, не вимагає складних статистичних розрахунків. А використання одного „прямого”, або безпосередньо вимірюного, фізіологічного показника зменшує вплив похибки на результати досліджень.

Граничні значення діапазонів індивідуальної норми церебральної гемодинаміки практично здорових людей наведено у табл.1. З метою перевірки доцільності використання індивідуальної норми для оцінки професійної психофізичної готовності обстежених було проведено її порівняльний аналіз з популяційною нормою.

У практиці при визначенні популяційної норми використовується інтервал, в який потрапляє більшість «нормальних» величин. При «нормальному» розподілі кількісних ознак цей інтервал знаходиться за даними одних авторів у межах  $\pm 1,5$  SD [13], а за даними інших –  $\pm 2$  SD [5]. За нашими розрахунками, діапазон популяційної норми швидкості мозкового кровотоку в стані спокою та в положенні сидячи з межами  $\pm 1,5$  SD становив 0,85–1,39 см/с,

а з межами  $\pm 2$  SD був 76,2–148,4 см/с. Для подальших розрахунків ми використали більш ширший діапазон. Порівняння діапазонів популяційної та індивідуальної норми показало, що в межі популяційної норми потрапляли 91 % значень з діапазону “здоровий”, 53 % – “практично здоровий” та 22% – “ослаблений”, які розраховували при визначенні індивідуальної норми. Тобто в значній кількості випадків діапазон популяційної норми був значно вужчим, ніж індивідуальної. Ця різниця при заключенні експертного висновку про професійну при-

датність може призводити до суттєвих помилок. Крім того, визначення популяційної норми не дозволяє диференціювати рівні функціонального стану людини відповідно до стадій адаптаційного процесу. Це свідчить про недоцільність використання діапазону популяційної норми для оперативного контролю стану здоров'я людей професій, пов'язаних із ризиком для життя, що підтверджується також іншими авторами [1].

Під час досліджень було висунуто припущення, що фізіологічні коливання швидкості мозкового кровотоку у кожної обсте-

**Таблиця 1. Індивідуальна норма гемодинаміки в середній мозковій артерії практично здорових людей**

Обстежувані	Максимальна швидкість кровотоку, см/с			Діапазони індивідуальної норми усередненої за часом максимальної швидкості кровотоку, см/с			
	$\pm$ SD	-2SD	+2SD	“здоровий”	“практично здоровий”	“ослаблений”	“преморбідний”
К.	115,0 $\pm$ 13,0	89,0	141,0	100-135	85-99 136-155	71-84 156-174	< 71 > 174
Р.	97,4 $\pm$ 7,4	82,6	112,2	84-109	71-83 110-121	59-70 122-133	< 59 > 133
І.	108,9 $\pm$ 6,0	96,9	120,9	96-131	83-95 132-153	71-82 154-172	< 71 > 172
С.	122,0 $\pm$ 8,5	105,0	139,0	108-142	94-107 143-164	80-93 165-182	< 80 > 182
П.	94,0 $\pm$ 5,7	82,6	105,4	82-117	70-81 118-140	57-69 141-162	< 57 > 162
О.	101,9 $\pm$ 7,7	86,5	117,3	98-123	94-97 124-144	91-93 145-164	< 91 > 164
В.	121,0 $\pm$ 28,0	65,0	177,0	107-131	93-106 132-141	80-92 142-152	< 80 > 152
А.	124,0 $\pm$ 68,0	-12,0	260,0	111-148	98-110 149-172	86-97 173-196	< 86 > 196
Л.	142,0 $\pm$ 26,0	90,0	194,0	124-168	106-123 169-194	89-105 195-220	< 89 > 220
М.	113,0 $\pm$ 3,8	105,4	120,6	101-138	89-100 139-163	76-88 164-187	< 76 > 187
Д.	99,0 $\pm$ 6,9	85,2	112,8	89-115	79-88 116-131	70-78 132-147	< 70 > 147
Т.	118,0 $\pm$ 20,0	78,0	158,0	100-132	84-99 133-146	66-83 147-160	< 66 > 160
Н.	118,0 $\pm$ 11,0	96,0	140,0	98-130	78-97 131-142	59-77 143-155	< 59 > 155
Х.	90,0 $\pm$ 10,0	70,0	110,0	71-93	52-70 94-97	32-51 98-100	< 32 > 100
Ч.	107,0 $\pm$ 15,0	77,0	137,0	91-114	75-90 115-121	60-74 122-128	< 60 > 128

женої людини мають певний індивідуальний відтінок з характерними обмеженнями. Для перевірки цієї гіпотези порівнювали отримані результати з динамікою величин у п'яти одних і тих самих людей, отриманих за три місяці до основних досліджень. Обстеження проводили за тією самою схемою, тільки було змінено положення тіла на горизонтальне. Як показано в табл. 2, у горизонтальному положенні тіла гомеостатичний діапазон реактивності мозкових судин під час функціональних навантажень у всіх обстежуваних був значно вужчим, ніж при дослідженнях у положенні сидячи. Відповідно межі індивідуальної норми у горизонтальному положенні виявлялися також вужчими. Водночас індивідуальні коливання значень швидкості мозкового кровотоку були відносно стабільними. Про це свідчить збереження діапазону рангових місць функціонального резерву швидкості мозкового кровотоку (цереброваскулярного резерву) за результатами двох тестів (див. табл. 2). На основі цих досліджень можна зробити припущення про генетичну детермінованість гомеостатичного діапазону цереброваскулярної реактивності.

Згідно з Маловим [11], гомеостаз як здатність організму забезпечувати його стійкість у зовнішньому середовищі являє собою фенотип, який визначається генетичною програмою (генотипом). Фенотип проявляється тими самими реакціями та метаболічними процесами, що і гомеостаз. Оскільки останній є проявом функціональної діяльності та біохімічних процесів у орга-

нізмі, індивідуальну норму можна визначити як генетично детермінований стан організму. Форма розвитку адаптаційного процесу до факторів навколишнього середовища має строго генетичний детермінований характер та успадковується, переважно, по чоловічій лінії [10]. Як зазначає Судаков [14] функціональні системи, особливо метаболічного та гомеостатичного рівня, є також генетично детермінованими.

Оскільки межі гомеостатичних діапазонів генетично детерміновані, то граничні значення індивідуальної норми також мають певні генетично встановлені коливання. Це дає змогу використовувати зазначену величину індивідуальної норми як основу при визначенні професійної психофізичної готовності.

Вважається [11], що найбільш стійким організм людини є у віці від 20 до 30 років. Показники гомеостазу людей цього віку найкраще відображують норму. Отримана таким чином індивідуальна норма є точкою відліку для моніторингу та управління здоров'ям людини [1].

Застосування індивідуальної норми церебральної гемодинаміки при оцінці фізіологічних реакцій людини на функціональне навантаження розширює можливості оцінки стану організму операторів і може використовуватись у загальній системі методів професійного відбору.

## ВИСНОВКИ

1. Наведена методика оцінки індивідуальної норми мозкового кровотоку дає можливість диференціювати донологічні стани людини залежно від стадії адаптації до середовища існування та професійної діяльності.

2. Визначення індивідуальної норми церебральної гемодинаміки дозволить проводити скринінг і моніторинг стану здоров'я, розробляти індивідуальні оздоровчі програми та визначати професійну психофізичну готовність кожного оператора.

**Таблиця 2.** Динаміка функціонального резерву швидкості мозкового кровотоку операторів при повторних дослідженнях, см/с

Обстежувані	Горизонтальне положення	Положення сидячи
П.	81,5	105,2
К.	60,0	103,0
С.	53,5	102,1
І.	28,1	101,0
О.	20,0	73,3

A.N.Volyansky

### DETERMINATION THE INDIVIDUAL NORMAL VALUES OF CEREBRAL BLOOD CIRCULATION IN HUMEN'S

A new approach based on the adaptation and homeostasis concepts is proposed for determination of the individual normal value of cerebral blood circulation in apparently healthy humans. The homeostatic range of cerebrovascular reactivity was determined using hyper- and hypo- carbon dioxide functional test. Using a Transcranial Doppler, a mean blood flow velocity in the middle cerebral artery was measured. The homeostatic range limits of vasoreactivity may be considered as individual normal value limits of cerebral blood flow. An assessment of individual normal value of cerebral blood circulation allows to determine the operator's professional psychophysical readiness.

*Irpen Military Hospital*

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Апанасенко Г.Л. Превентивная медицина // Мед. всесвіт. – 2002. – №1–2. – С.114–123.
2. Бабенко В.В., Кульба С.Н. Новый подход к разграничению нормы и патологии у индивида // Валеология. – 2001. – №1. – С.4–6.
3. Баевский Р.М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья // Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова. – 2003. – №4. – С.473–487.
4. Балабанова Л.М. Концепция индивидуальной нормы психофизиологических состояний. – В кн.: Судебная психопсихология (вопросы определения нормы и отклонения). – Донецк: Знание, 1998. – С.143–155.
5. Буров А.Ю., Герасимов А.В., Четверня Ю.В. Автоматизированный профессиональный отбор и контроль профессиональной работоспособности операторов энергопредприятий на базе ПЭВМ IBM. – В кн.: Энергетика и электрификация. – К.:

Техника, 1992. – Т. 2. – С.29–32.

6. Власов В.В. Что под стеклом на ординаторском столе? // Клин. медицина. – 2003. – №5. – С. 59–63.
7. Дорошев В.Г. Системный подход к здоровью летного состава в XXI веке. – М.: Паритет Граф, 2000. – 368 с.
8. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике / Под ред. В.В.Митькова. – М.: ВИДАР, 1997. – 387 с.
9. Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. Современные представления о цереброваскулярном резерве при атеросклеротической патологии магистральных артерий головы // Ультразвук. диагностика. – 1997. – №1. – С. 43–55.
10. Маликов Н.В. Адаптивные возможности организма рабочих в условиях промышленного производства. – Запорожье: Энергия, 2002. – 271 с.
11. Малов Ю.С. Параметры гомеостаза – показатели здоровья человека // Клин. медицина. – 1999. – №3. – С.56–60.
12. Методики исследований в целях врачебно-летной экспертизы (пособие для врачебно-летных комиссий). – М.: Воен. изд-во, 1972. – 360 с.
13. Суворов Г.А., Саноцкий И.В. Методология биологической нормы в медицине труда // Медицина труда и промыш. экология. – 2003. – №5. – С. 6–13.
14. Судаков К.В. Эволюционный изоморфизм в построении устойчивых сообществ // Устойчивое развитие. Наука и практика. – 2003. – №2. – С.5–22.
15. Aaslid R.N., Markwalder T.M., Nornes H.S. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in cerebral arteries // J.Neurosurg. – 1982. – 57, №2 – P.769–774.
16. Marcus H.S., Harrison M.J. Estimation of cerebrovascular reactivity using transcranial doppler, including the use of breath-holding as the vasodilatory stimulus // Stroke. – 1992. – 23, №3 – P.668–673.
17. Wong E.K., Bull W.D., Boulay F.H. et al. Regional cerebral blood flow and oxygen consumption in human aging // Neurology. – 1973 – 23, №6. – P.949–952.

*Ірпін. військ. госпіталь*

*Матеріал надійшов до редакції 07.09.2004*