

О.М. Волянський

Оцінка цереброваскулярного резерву людини

Предлагается новый подход к оценке цереброваскулярного резерва у практически здорового человека. Было обследовано 22 мужчин-добровольцев в возрасте от 25 до 43 лет. Каждому из них было проведено шестикратное исследование церебрального кровообращения с интервалом в одну неделю. Исследование мозгового кровотока проводили с помощью ультразвуковой доплерографии. К основным структурным элементам церебральной гемодинамики относили скорость кровотока в средней мозговой артерии, гомолатеральной внутренней яремной вене и индекс пульсации в артерии. В качестве функциональных тестов применяли пробы с задержкой дыхания, гипервентиляцией и психоэмоциональной нагрузкой. Показано, что степень синхронизации основных показателей системы мозгового кровообращения под воздействием функциональных нагрузок определяет его цереброваскулярный резерв. Разработанную методику оценки цереброваскулярного резерва можно использовать для определения психофизиологической готовности отдельного человека к профессиональной деятельности.

ВСТУП

Оцінка функціональних резервів адаптації людини до впливу несприятливих факторів виробничого середовища та трудового процесу є важливим показником при визначенні професійної психофізичної готовності та активації вегетативного компонента [2, 8, 9, 14]. Ускладнення праці зростаючою агресивністю чинників професійної діяльності призводить до зниження захисних механізмів організму та розвитку професійних захворювань. У зв'язку з цим виникає необхідність визначення індивідуальної чутливості та стану адаптації організму працюючих до впливу шкідливих виробничих факторів і своєчасне попередження професійної патології. Це потребує все нових діагностичних прийомів і методів обстеження та розробки інтегральних критеріїв оцінки, перш за все, реєстрації реактивності вегетативного компонента – цереброваскулярного резерву [10, 16].

Доцільність такого підходу пояснюється тим, що мозковий кровообіг є мобільною

забезпечувальною системою головного мозку. Від стану церебральної гемодинаміки та її функціонального резерву залежить діяльність центральної нервової системи в цілому [3, 7, 9]. Як відомо, пристосування церебрального кровотоку до метаболічних проблем мозку здійснюється завдяки змінам судинного опору, що забезпечує градієнт тиску в привідних артеріях і у відвідних венах мікроциркуляторного русла [6]. З цієї позиції, при визначенні цереброваскулярного резерву доцільно оцінювати динаміку взаємозв'язків показників артеріальної та венозної ланок кровотоку та судинного тонуусу. Водночас для оцінки цереброваскулярного резерву віддається перевага дослідженням показників кровотоку в мозкових артеріях [8, 10, 16]. В окремих працях досліджувалася гемодинаміка як артеріального, так і венозного кровотоку [7, 17]. Однак автори не вивчали динаміку взаємодії артеріальної та венозної складових системи мозкової гемоциркуляції одночасно.

© О.М. Волянський

Мета цієї роботи полягала у визначенні цереброваскулярного резерву у людини з урахуванням динаміки взаємозв'язків артеріальної та венозної ланок мозкового кровотоку та судинного опору.

МЕТОДИКА

Обстежено 22 практично здорових чоловіків-добровольців віком від 25 до 43 років (середній вік $32,7 \pm 5,3$ років). Кожному з них було проведено шестиразове обстеження функціональних резервів церебральної гемодинаміки з інтервалом в один тиждень у положенні сидячи. Загалом було виконано 132 реєстрації цих показників. Визначення цереброваскулярного резерву проводили з застосуванням функціональних навантажень – проби з затримкою дихання, гіпервентиляцією та психоемоційного тесту. Для цього методом ультразвукової доплерографії до та в кінці функціональної проби за допомогою сканера LOGIQ – 500MD (США) вимірювали усереднену за часом максимальну швидкість кровотоку (у сантиметрах за 1 с) у лівій середній мозковій артерії у гомолатеральній внутрішній яремній вені та розраховували індекс пульсації за швидкістю кровотоку в лівій середній мозковій артерії [3]. Швидкість кровотоку в цій артерії визначали з використанням секторного датчика (S 222) з характеристиками 2–3,5 МГц через темпоральне вікно. Локацію артерії проводили в її сегменті M1 на глибині 50 мм. Стан венозного відтоку досліджували в дистальній ділянці внутрішньої яремної вени з застосуванням лінійного датчика LA 39 (8,2–11 МГц). Як функціональні гіпер- і гіпокапічні тести використовували проби з затримкою дихання (на 30 с) [10] і тест з гіпервентиляцією (глибоке дихання з частотою 30 циклів за 1 хв протягом 3 хв) [13]. Як психоемоційне навантаження здійснювали безперервне тригодинне тестування на комп'ютері з моделюванням

операторської діяльності [1]. Оцінку функціональних резервів мозкового кровотоку при гіпер- і гіпокапічних навантаженнях проводили в однотипових умовах: о сьомій годині ранку, натщесерце та через 15 хв перебування у стані спокою перед початком обстеження. Спочатку досліджувався кровотік у лівій середній мозковій артерії, а через 15 хв відпочинку – у внутрішній яремній вені. Обов'язковою умовою кожного наступного тестування було відновлення показників мозкової гемодинаміки до вихідних значень у стані спокою. Психоемоційне навантаження проводили через 30 хв після закінчення реєстрації попередніх гемодинамічних показників.

Для оцінки цереброваскулярного резерву визначали зміну взаємозв'язків указаних показників у структурі системи церебральної гемоциркуляції, зареєстрованих безпосередньо під час цих тестових навантажень. Дослідження співвідношень основних складових у структурі системи проводили за допомогою зіставлення не абсолютних значень показників гемодинаміки, а їх рангів у шкалі інтервалів даних показників. Перехід від одиниць виміру фізичних величин до безрозмірних (рангів) здійснювали за формулою $P_k(t_i) = 30 * (A_{pk}(t_i) - A_{pk_{min}}) / (A_{pk_{max}} - A_{pk_{min}})$, де: $P_k(t_i)$ – ранг швидкості кровотоку в судині мозку в момент часу у конкретного індивідуума; $A_{pk}(t_i)$ – значення швидкості кровотоку в даний момент часу; $A_{pk_{max}}$ – максимальне значення швидкості кровотоку в ряду спостережень в індивідуума; $A_{pk_{min}}$ – мінімальне значення швидкості кровотоку в ряду спостережень в індивідуума; $30*$ – кінцеве значення шкали інтервалів при ціні поділки 1.

Суму отриманих таким чином рангів основних показників мозкового кровотоку (усереднену за часом максимальну швидкість кровотоку у середній мозковій артерії, у внутрішній яремній вені та індекс пульса-

ції у середній мозковій артерії) приймали за 100 %. При цьому максимальна швидкість кровотоку у середній мозковій артерії характеризувала артеріальну ланку (А), у внутрішній яремній вені – венозну (В), а індекс пульсації у середній мозковій артерії – тонус судин (Т). Структуру церебральної гемодинаміки представлено у роботі у вигляді співвідношення відносного внеску рангів (А% / В% / Т%).

Статистичну обробку результатів проводили з використанням критерію t Стьюдента. Різницю вважали достовірною при $P < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

Як видно з рис. 1, швидкість кровотоку в середній мозковій артерії під час проби з гіпервентиляцією достовірно знижувалася ($P < 0,05$). Затримка дихання та психоемоційне навантаження викликало незначне підвищення кровотоку в цій артерії ($P > 0,05$). Венозний кровотік також ефективно реагував на застосування функціональних тестів. Але на відміну від характеру змін артеріальних показників, швидкість кровотоку в яремних венах суттєво сповільнювалася тільки у разі проби з затримкою дихання. Незначне зниження венозного відтоку відбувалося при гіпервентиляції. Психоемоційне навантаження спричинювало невелике прискорення швидкості кровотоку в венах мозку. Функціональні навантажувальні тести були причиною змін і індексу пульсації, який відображує стан судинного опору. Так, при гіпервентиляції його значення збільшувалося ($P < 0,05$), що вказувало на посилення тонуусу інтракраніальних артерій. Незначне статистично недостовірне підвищення судинного тонуусу зафіксовано і при психоемоційному навантаженні. Зменшення індексу пульсації відбувалася при затримці дихання, що свідчило про гіпотонію артеріального русла головного мозку (див. рис. 1).

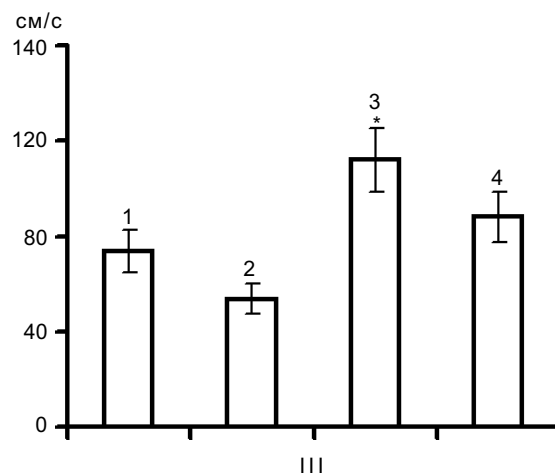
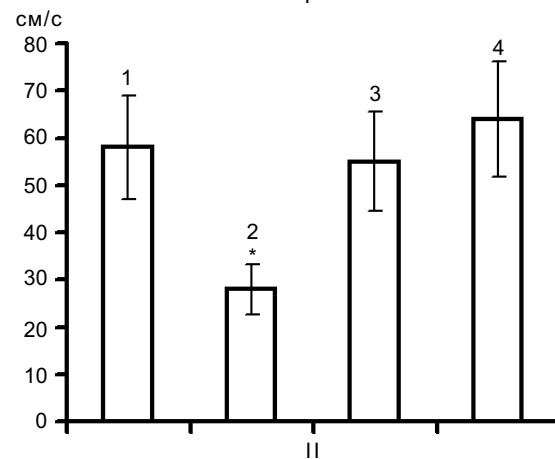
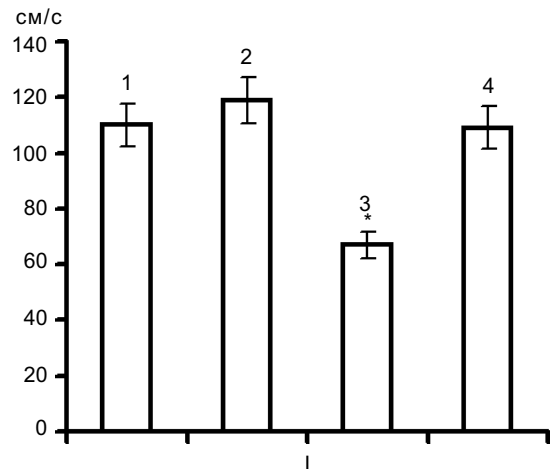


Рис. 1. Значення усередненої за часом максимальної швидкості кровотоку в середній мозковій артерії (I), внутрішній яремній вені (II) і імпульсу пульсації (III) в практично здорових добровольців: 1 – стан спокою, 2 – затримка дихання, 3 – гіпервентиляція, 4 – психоемоційне навантаження; * $P < 0,05$ в порівнянні зі станом спокою

Результати досліджень показали, що зміни одного з показників під впливом функціонального навантаження супроводжувалися змінами інших складових церебральної гемодинаміки. Затримка дихання призводила до одночасного збільшення швидкості кровотоку в артеріях мозку та сповільнення відтоку в яремних венах, що супроводжувалося зменшенням значення індексу пульсації (рис. 2). Зворотна динаміка співвідношень основних ланок церебральної гемоциркуляції спостерігалася при гіпервентиляції. В даному випадку спазмування інтракраніальних артерій відбувалося поряд зі значним сповільненням швидкості кровотоку в них, що було на 40 % менше в порівнянні зі станом спокою. Швидкість венозного кровотоку в відповідь на гіпокапнію дещо сповільнювалась. Якщо порівняти величину відхилення показників гемодинаміки при різних функціональних тестах, то видно, що гіпокапнія викликає найбільш виражену реакцію мозкових артерій (див. рис. 2). Значно меншою мірою відбувалися зрушення взаємовідношень основних ланок гемодинаміки при психоемоційному навантаженні. Це проявлялось у вигляді незнач-

ного підвищення судинного тону, венозного відтоку та сповільнення швидкості кровотоку в інтракраніальних артеріях.

Наведені вище результати досліджень свідчать про те, що між основними складовими церебрального кровотоку існує певний баланс. Найбільша врівноваженість артеріального притоку, венозного відтоку та судинного опору була зафіксована в стані спокою (рис. 3). Функціональні навантаження призводили до порушення такої рівноваги внаслідок збільшення відносного внеску одних і зменшення такого інших складових.

Припинення тестування супроводжувалося зворотними змінами взаємозв'язків основних компонентів системи церебральної гемодинаміки. При цьому структура системи мозкового кровотоку наближалася до таких саме значень, як і в стані спокою. Цей рівень функціонування системи характеризувався найбільшою синхронізацією функцій підсистем церебральної гемодинаміки. Отже, в стані адаптаційного напруження компенсаторні механізми спрямовані на врівноваження основних ланок мозкового кровообігу, що забезпечує най-

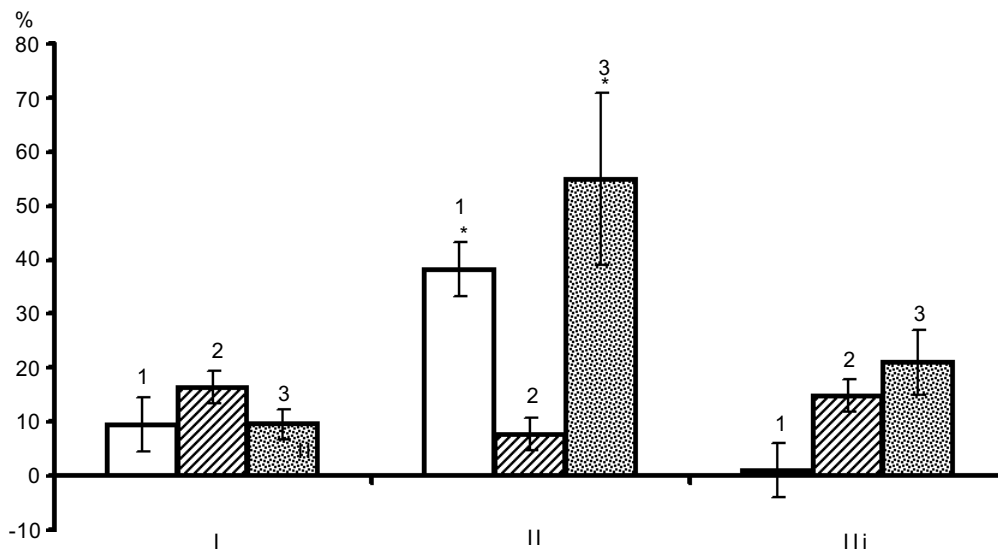


Рис. 2. Реакції церебральної гемодинаміки у практично здорових чоловіків-добровольців на функціональні навантаження: I – затримка дихання, II – гіпервентиляція, III – психоемоційне навантаження; 1 – швидкість кровотоку у лівій середній мозковій артерії, 2 – у внутрішній яремній вені, 3 – індекс пульсації; * $P < 0,05$ в порівнянні зі психоемоційним навантаженням і затримкою дихання

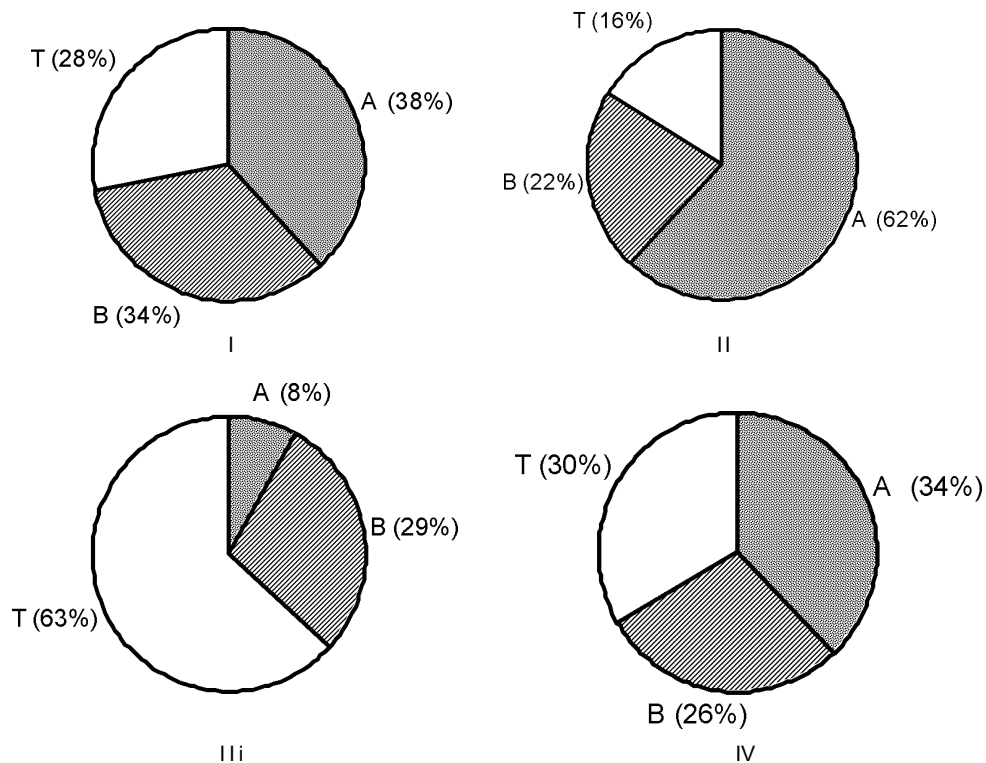


Рис. 3. Структура церебральної гемодинаміки добровольців у стані спокою (I), при затримці дихання (II), гіпервентиляції (III) та психоемоційному навантаженні (IV): А – кровотік у церебральних артеріях, В – кровотік у церебральних венах, Т – тонус інтракраніальних артерій

більш оптимальний рівень функціонування.

Таким чином, система мозкового кровообігу може бути розділена на три самостійних і водночас взаємозалежних підсистеми, що об'єднують функції кровотоку по церебральним артеріям і венам та опору мозкових судин, які в цілому забезпечують гомеостаз церебральної гемодинаміки.

У формуванні існуючого гомеостазу кровообігу беруть участь усі підсистеми церебральної гемодинаміки (функціональні гемодинамічні структури), сумарну функцію яких приймали за 100%. Тоді визначення частки або ступеня активності кожної з трьох гемодинамічних структур дозволяло виявити більш глибокі механізми саморегуляції кровообігу, а за їхніми взаємозв'язками рівень функціональних резервів у людини в цілому.

З метою оцінки індивідуальних особливостей цереброваскулярного резерву, були

проведені шестиразові дослідження мозкового кровотоку в окремих волонтерів. Для аналізу довільно відібрані результати досліджень у трьох добровольців (Ц., Ш., Я.). Порівняння індивідуальних результатів показало (рис. 4), що структура взаємозв'язків підсистем церебральної гемодинаміки відрізнялися між окремими індивідуумами вже в стані спокою. Найбільша збалансованість складових кровотоку була в добровольця Ц. Структура гемодинаміки у волонтера Ш. характеризувалася найменшим відносним значенням венозної частки в системі мозкового кровотоку. Співвідношення показників гемоциркуляції у добровольця Я. характеризувалися збільшенням відносного внеску артеріальної складової та зменшенням індексу пульсації, що говорить про наявність артеріальної гіпотонії.

Функціональні навантаження викликали різнонаправлену динаміку структурних

елементів мозкового кровотоку в окремих добровольців. При затримці дихання у волонтера Ц. значно підвищувалась артеріальна складова кровотоку, що поряд зі збільшенням індексу пульсації супроводжувалося різким зменшенням венозної ланки. Розбалансування систем гемодинаміки в добровольців Ш. і Я. характеризувалося суттєвим зменшенням відносного внеску індексу пульсації і помірною підвищення показника венозної складової. Тест з гіпервентиляцією призводив до значного зменшення часток артеріальної компоненти та збільшення судинного тону у трьох волонтерів, але внесок венозної складової був у них різним. Найменший внесок венозної частки було зафіксовано в добровольця Я. Наявність гіперконстрикторних реакцій мозкових

артерій з одночасним різким сповільненням артеріального притоку і венозного відтоку вказує на значне напруження регуляторних механізмів адаптації та підвищення індивідуальної чутливості до гіпокапічного навантаження у цього волонтера. Психоемоційне навантаження в усіх випадках викликало деяке збільшення відносного внеску складової судинного тону, що не призводило до суттєвих порушень балансу в співвідношеннях підсистем гемодинаміки (див. рис. 4).

Таким чином, функціональні навантаження спричинювали якісно відмінний дисбаланс основних ланок мозкового кровотоку в окремих волонтерів. Це вказує на наявність індивідуальних особливостей функціонального резерву церебральної гемодинаміки у практично здорових людей.

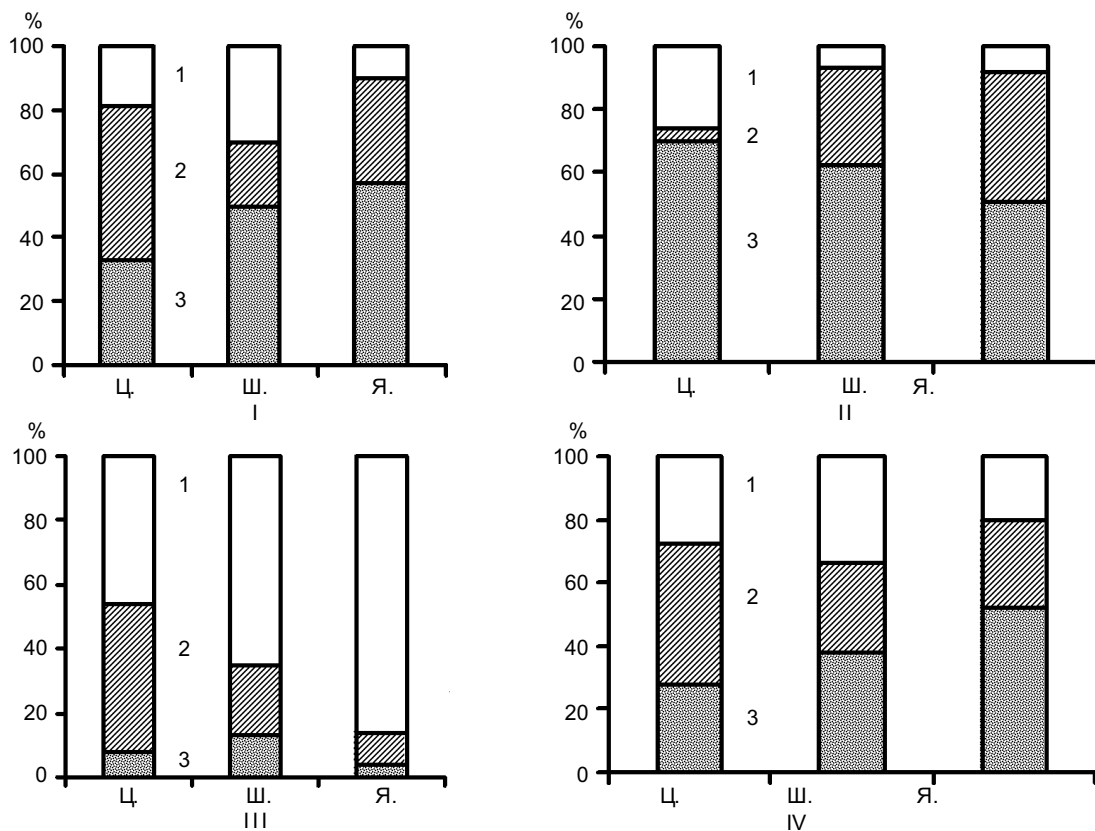


Рис. 4. Динаміка взаємозв'язків основних компонентів мозкового кровотоку в стані спокою (I) при затримці дихання (II), гіпервентиляції (III), психоемоційному навантаженні (IV) у окремих добровольців (Ц, Ш, Я): 1 – швидкість кровотоку у лівій середній мозковій артерії, 2 – у внутрішній яремній вені, 3 – індекс пульсації

ОБГОВОРЕННЯ

Для оцінки цереброваскулярного резерву ми реєстрували такі показники мозкової гемодинаміки, як швидкість кровотоку в середній мозковій артерії, внутрішній яремній вені та індекс пульсації. Більшість літературних даних свідчить про те, що середня мозкова артерія часто використовується для оцінки церебральної реактивності, що пояснюється доступністю та простотою реєстрації цього показника [7–10, 13, 14, 17]. Дослідження швидкості кровотоку в інших інтракраніальних артеріях проводилися рідко з тієї причини, що рівень реактивності різних внутрішньочерепних судин у здорової людини майже однаковий [10]. Вивчення венозного кровотоку зручніше проводити у внутрішній яремній вені, по якій відтікає 2/3 крові з порожнини черепа [12, 15]. В окремих роботах показана можливість дослідження кровотоку у мозкових венозних синусах [7, 17]. Для цього використовуються прямий і клиноподібно-тім'яний синуси, які доступні для реєстрації показників кровотоку тільки в 50–70 % випадках. Указані обмеження, а також складність візуалізації внутрішньочерепних синусів обмежує широке практичне застосування даної методики для оцінки функціонального резерву мозкового кровотоку.

Сучасні ультразвукові сканери дозволяють оцінювати опір мозкових судин. З цією метою визначається індекс пульсації, який найбільш точно відображує стан судинного опору [3]. Зміни показників кровотоку в інтракраніальних артеріях під впливом функціональних навантажень добре описані в літературі. Так, при пробі з затримкою дихання виявлена дилатація мозкових артерій і збільшення в них швидкості кровотоку [10, 14]. Причиною цього є підвищення вмісту ендogenous CO₂ в мозку у разі тимчасового припинення надходження кисню. При гіпервентиляції, внаслідок зменшення ендogenous CO₂,

спостерігаються гіперконстрикторні реакції з боку мозкових артерій [7, 9, 13]. Психоемоційне навантаження супроводжується активацією функціонального стану мозку, що закономірно призводить до прискорення кровотоку в церебральних артеріях [4]. Отримані нами результати збігаються з наведеними літературними даними та доповнюють їх. Але відсутність відомостей про динаміку взаємозв'язків трьох складових (артеріального і венозного кровотоку та індексу пульсації) збіднює загальну уяву про стан цереброваскулярного резерву у людини. Застосування з цією метою тільки показників артеріального кровотоку дозволяє встановити факт зниження резерву. Проте такий підхід не дає змоги визначати найбільш слабкі ланки церебрального кровотоку в разі зниження рівня його функціонального резерву. Тому визначення ранніх функціональних порушень в окремих підсистемах мозкової гемодинаміки може бути корисним для патогенетичного обґрунтування та проведення реабілітаційних заходів. Аналіз результатів досліджень свідчить про те, що структура взаємозв'язків основних ланок мозкового кровотоку, яка була визначена при гіпер- і гіпокапнічних функціональних навантаженнях, характеризується значною напруженістю системи ауторегуляції церебральної гемодинаміки. Ступінь напруження адаптаційних механізмів мозкового кровотоку при даних функціональних тестах був більш значним, ніж при психоемоційному навантаженні. У зв'язку з цим структурні зміни мозкового кровотоку при гіпер- і гіпокапнічних навантаженнях можуть формувати межі „гомеостатичного діапазону” реакцій церебральної гемодинаміки [3]. Це в свою чергу дозволяє оцінювати, в якому місці „гомеостатичного діапазону” знаходиться кровотік у даного конкретного індивідуума, тобто, які його резервні можливості як для додаткової вазоконстрикції, так і для вазодилатації, та

пов'язані з цим зміни кровотоку в артеріях та венах мозку.

Доцільність системного підходу при визначенні функціональних резервів церебральної гемодинаміки, коли аналізуються пристосувальні реакції не одного, а декількох основних її складових підтверджують праці інших авторів. Так, Мчедлішвілі [6] показав, що адекватне функціонування системи церебрального кровообігу забезпечується такими показниками гемодинаміки, як артеріовенозна різниця тисків та периферичного опору в даному судинному руслі. При цьому інтенсивність мозкового кровотоку прямо пропорційна артеріовенозній різниці тисків та зворотно пропорційна опору в судинах.

Нині актуальне питання розробки методики зіставлення різних компонентів церебральної гемодинаміки. У однієї людини наявність кількісних та якісних відмінностей абсолютних значень кровотоку в артеріях, венах і індексу пульсації не дозволяє оцінювати динаміку взаємозв'язків між ними під час проведення тестових навантажень. Це пояснюється тим, що швидкість кровотоку вимірюється в сантиметрах на секунду, а індекс пульсації – в умовних одиницях. Крім того, суттєво відрізняються діапазони коливань наведених показників на різних стадіях адаптаційного процесу. Так, за деякими даними [17] уже відомо, що індекс реактивності в церебральних артеріях становить приблизно 60 %, а в венах – 91 %. Тобто, значення реактивності вен мозку є значно більшими, ніж його артерій, що ускладнює оцінку взаємозв'язків цих показників під впливом функціональних навантажень. Тому для порівняльної оцінки змін різних за своєю природою фізіологічних показників ми перейшли від абсолютних до безрозмірних одиниць їх виміру. Наведений принцип дозволив виключити гомеостатичну неоднорідність вимірюємих величин, що дало можливість визначати ступінь напру-

ження регуляторних механізмів і направленість внутрішньосистемної перебудови для виявлення найбільш вразливої ланки церебральної гемодинаміки у конкретного індивідуума (добровольця середнього віку).

Слід зазначити, що в комплексі медичних заходів, направлених на зростання професійного довголіття, оцінка функціональних резервів фізіологічних систем може стати одним із ведучих критеріїв, оскільки процес адаптації до нестабільних умов життя і навколишнього середовища, режиму праці та відпочинку, різної інтенсивності професійних навантажень і стресів, можна характеризувати не тільки з якісних позицій перебудови регуляції, але і в кількісному виді за визначенням частки участі підсистем гемодинаміки в формуванні існуючого гомеостазу [2]. При цьому, чим більше синхронізовані функції окремих підсистем, тим більш оптимальні витрати функціональних резервів системи в цілому. Гіперфункціонування однієї із підсистем при зниженні активності інших свідчить про нераціональні витрати функціональних резервів і можливий зрив механізмів регуляції гемодинаміки мозку.

Указані принципи аналізу можуть бути корисними для профілактичного виявлення осіб з підвищеною індивідуальною чутливістю до впливу несприятливих факторів виробничого середовища і трудового процесу. Розроблену методику оцінки цереброваскулярного резерву можливо використовувати для здійснення професійного відбору при прийомі на роботу або строкову військову службу, та моніторингу стану адаптації людини в процесі її трудової діяльності. Таким чином, визначення цереброваскулярного резерву в практично здорової молоді людини доцільно проводити за допомогою оцінки ступеня синхронізації адаптаційних реакцій кровотоку в мозкових артеріях і венах та судинного опору під впливом різних функціональних навантажень. Аналіз індивідуальних особ-

ливостей стану цереброваскулярного резерву дозволить визначати професійну психофізичну готовність окремої людини.

A.N. Volyansky

ASSESSMENT OF THE CEREBROVASCULAR RESERVE IN HUMANS

A new approach of assessment of cerebrovascular reserve in healthy human is proposed. Twenty-two healthy men volunteers aged 25-43 were examined. Investigation of cerebral blood circulation in each of them was implemented for the six times with one-week interval. The cerebral blood flow was measured by use of Doppler ultrasound. Blood flow velocity in the middle cerebral artery and homolateral internal jugular vein and pulsative index in this artery were considered as basic structural elements of cerebral blood circulation in this work. Breath-holding, hyperventilation and stress tests served as functional tests. It was shown that degree of basic parameters synchronization in a system cerebral blood circulation under the influence of functional load determine his cerebrovascular reserve. This method of cerebrovascular reserve estimation could be used for determination of psychophysical readiness of separate human to professional occupation.

Main Military Clinical Hospital, Kyiv, Ukraine

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 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.: Техніка, 1992. – №2. – С.29–32.
- Дорошев В.Г. Системный подход к здоровью летного состава в XXI веке. – М.: Паритет Граф, 2000. – 368 с.
- Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике / Под ред. В.В.Митькова. – М.: ВИДАР, 1997. – 387 с.
- Куликов В.П., Гречишников В.Н., Сидор М.В. Реакция мозговой гемодинамики на сочетанные стрессорные воздействия // Патол. физиология и эксперим. терапия. – 2005. – №1. – С. 7–9.
- Москаленко Ю.Е., Бекетов А.И., Орлов Р.С. Мозговое кровообращение: Физико-химические приемы изучения. – Л.: Наука, 1988. – 160 с.
- Мчедlishvili Г.И. Микроциркуляция крови: Общие закономерности регулирования и нарушений. – Л.: Наука, 1989. – 296 с.
- Aaslid R., Newell D.W., Stoss R. et al. Assessment of cerebral autoregulation dynamics from simultaneous arterial and venous transcranial Doppler recordings in humans // Stroke. – 1991. – **22**, №6 – P. 1148–1154.
- Alvares Perez F.J, Segura Martin T., Serena Leal J. et al. The normal values of the haemodynamic reserve (HR) evaluated by the CO₂ test // Neurologia. – 2002. – **17**, №5 – P. 231–237.
- Doepf F., Schreiber S.J, Brunecker P. et al. Ultrasonographic assessment of global blood volume in healthy adults // J.Cereb.Blood Flow Metab. – 2003. – **23**, №8 – P. 972–979.
- Kevin M., Barret B.A., Robert H. et al. Basilar and cerebral arterial artery reserve: a comparative study using transcranial Doppler and breath-holding techniques // Stroke. – 2001. – **32**, №12 – P. 2793–2799.
- Marcus H.S., Harrison M.J. Estimation of cerebrovascular reactivity using transcranial doppler, including the use of breath-holding as the vasodilatory stimulus // Ibid. – 1992. – **23**, №3 – P. 668–673.
- Muller H.R. Ultrasonic imaging of the internal jugular vein // J.Neuroimaging. – 1991. – **1**, №2 – P. 74–82.
- Norcliff L.J., Rivera C.M., Claydon V.E. et al. Cerebrovascular responses to hypoxia and hypocapnia in high-altitude dwellers // J.Physiol. – 2005. – **566**, №1 – P. 287–294.
- Ratnatunga C., Adiseshiah M. Increase in middle cerebral artery velocity on breath holding: a simplified test of cerebral perfusion reserve // Eur.J.Vasc.Surg. – 1990. – **4**, №5 – P. 519–536.
- Schreiber S.J., Lurtzing F., Gotze R. et al. Extrajugular pathways of human cerebral venous blood drainage assessed by duplex ultrasound // J.Appl.Physiol. – 2003. – **94**, №5 – P. 1802–1807.
- Stoll M., Hammann G.F. Cerebrovascular reserve capacity // Nervenarzt. – 2002. – **73**, №8. – P.711–719.
- Valduez J.M., Draganski B, Hoffman O. et al. Analysis of CO₂ vasomotor reactivity and vessel diameter changes by simultaneous venous and arterial Doppler recordings // Stroke. – 1999. – **30**, №1 – P. 81–87.
- 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.

Ірпінь, військ. госпіталь

Матеріал надійшов до редакції 07.04.2005