

О.М.Волянський

Визначення індивідуальних рівнів фізіологічних затрат при розумовій праці

Представлен новий підхід к оцелке индивидуальных уровней физиологических затрат при умственном труде. Определить такой уровень можно по сравнению адаптационной реакции мозговых артерий при умственной нагрузке со шкалой гомеостатического диапазона цереброваскулярной реактивности каждого отдельного оператора. Гомеостатический диапазон цереброваскулярной реактивности определяли с помощью гипер- и гипоксических функциональных нагрузок. Для этого методом транскраниальной доплерографии измеряли усредненную максимальную скорость кровотока в средней мозговой артерии. Оценка индивидуального уровня физиологических затрат при умственном труде позволяет определять потенциальную возможность отдельного человека к данному роду трудовой деятельности.

ВСТУП

З позиції теорії функціональних систем [1], повсякденна діяльність людини-оператора може бути розділена на окремі етапи, кожен з яких характеризується соціально-значимим результатом. Цей результат забезпечений певною ціною реакції фізіологічних систем організму і, в першу чергу, центральної нервової системи та системи кровообігу, їх адаптивними можливостями, тобто мірою надійності збереження гомеостазу. Визначення фізіологічних затрат та їх співвідношення з успішністю виконання професійної діяльності лежать в основі оцінки професійної психофізичної готовності людини до праці оператором [3].

Розумова праця зумовлює цілу низку реакцій фізіологічних систем і, перш за все, системи церебральної гемодинаміки [11]. Для оцінки ступеня напруження регуляторних механізмів мозкового кровотоку при функціональних навантаженнях визначається рівень цереброваскулярної реактивності [10]. При цьому фізіологічні затрати оцінюються за допомогою порівняння реактив-

ності мозкових артерій з відповідними показниками популяційної норми, що не враховує індивідуальну адаптацію до зовнішніх і внутрішніх подразнень. Такий підхід не дозволяє об'єктивно оцінити рівень фізіологічних затрат при виконанні розумової роботи окремим оператором. Тому нами було висунуто робочу гіпотезу про те, що порівняння показників адаптивних реакцій мозкових артерій з відповідними рівнями гомеостатичного діапазону цереброваскулярної реактивності оператора дасть можливість об'єктивно визначити індивідуальний рівень фізіологічних затрат при розумовій праці, що й стало метою нашої роботи.

МЕТОДИКА

Для оцінки фізіологічних затрат при розумовій праці визначали умовну ділянку шкали гомеостатичного діапазону цереброваскулярної реактивності конкретного індивідуума, визначали коефіцієнт реактивності середньої мозкової артерії при розумовому навантаженні. Межами шкали даного діа-

пазону були середні значення цього показника при гіпокапнічних і гіперкапнічних функціональних навантаженнях [8]. Шкалу діапазону було розділено на шість рівномірних інтервалів. Серед них виділено по три рівних інтервали при гіпотонічних і гіпертонічних реакціях мозкової артерії у відповідь на гіперкапнічні та гіпокапнічні навантаження. Середньою точкою шкали діапазону було значення коефіцієнта, яке відповідало одиниці. Фізіологічні затрати були мінімальними. Чим ближче було значення коефіцієнта реактивності церебральної артерії до межі діапазону, тим вищі були фізіологічні затрати при розумовій праці. Залежно від ступеня наближення коефіцієнта реактивності від середини до межі шкали діапазону виділяли слабкий, помірний і значний рівні фізіологічних затрат при розумовій праці.

Коефіцієнт реактивності визначали як відношення показників, що характеризують діяльність системи мозкового кровообігу під час розумового навантаження до їх значення в стані спокою [10]. Як розумове навантаження застосовували безперервне тригодинне тестування на комп'ютері з моделюванням операторської діяльності [2].

Методом транскраніальної доплерографії до та в кінці проби за допомогою ультразвукового сканера LOGIQ – 500MD (“GE MS”, США) визначали пікову систолічну швидкість кровотоку і усереднену за часом максимальну швидкість кровотоку у лівій середній мозковій артерії [13] та розраховували індекс пульсації. Як функціональні навантаження застосовували проби з затримкою дихання (на 30 с) і тест з гіпервентиляцією (глибоке дихання з частотою 30 циклів за хвилину протягом 3 хв) [7].

Обстежено 20 практично здорових добровольців віком від 25 до 43 років, кожному з яких проводили шестиразове дослідження цереброваскулярної реактивності з інтервалом в один тиждень у положенні сидячи. Оцінку показників мозкового кровотоку проводили у стані спокою натщесерце о

сьомій годині ранку та через 15 хв. Після цього досліджували рівень реактивності мозкових артерій при функціональних тестах з гіпер- і гіпокапнією та розумовим навантаженням.

Статистичну обробку результатів здійснювали за допомогою програми Microsoft Excel. Визначали середнє арифметичне (M) та середнє квадратичне відхилення (SD).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати досліджень показали, що при розумовій праці відбувалися різноспрямовані реакції мозкової гемодинаміки. В одних випадках швидкість кровотоку в середній мозковій артерії прискорювалася та спостерігалось зменшення тону артерій (зменшувався індекс пульсації). Коефіцієнт реактивності при даній гіпотонічній реакції був $1,25 \pm 0,03$. В інших випадках відбувалося сповільнення швидкості кровотоку та підвищення тону артерій. Така реакція судин головного мозку визнавалася як гіпертонічна. Коефіцієнт реактивності при цьому становив $0,81 \pm 0,02$. Різноспрямовані реакції мозкових судин при розумовому навантаженні показані також у працях інших авторів [9].

Указані зміни мозкового кровотоку при розумовій праці пояснюються активацією нейронів кори головного мозку, що підтверджується збільшенням біоелектричної активності мозку [6, 11]. Це супроводжується прискоренням метаболічних процесів у мозковій тканині. Функціональна направленість регуляції мозкового кровообігу при розумовому навантаженні полягає в підтримці хімічного гомеостазу нервової тканини, що забезпечує своєчасну доставку кисню і окиснювального субстрату до її клітинних елементів, а також евакуації продуктів метаболізму, враховуючи функціональну активність ділянок мозку до окремих нейронів, яка постійно змінюється. Реалізація даного функціонального завдання полягає в безперервному «підпорядкуванні»

рівня інтенсивності кровотоку до мінливих метаболічних потреб нервової тканини з врахуванням хімічних властивостей крові.

Розумова праця часто пов'язана зі значним нервово-емоційним напруженням, що сприяє збільшенню активності симпатико-адренормедулярної, гіпоталамо-гіпофізарно-адренортикальної системи, і, як наслідок – прискоренню мозкового кровотоку [4]. Посилення швидкості церебрального кровотоку призводить до гіперперфузії мозку. Для запобігання цьому підвищується тонус інтракраніальних артерій. При гіперконстрикторних реакціях швидкість мозкового кровотоку сповільнюється.

Проведені нами дослідження виявили значну варіабельність реактивності церебральної гемодинаміки при розумовому навантаженні між окремими обстежуваними. Коливання індивідуальних значень коефіцієнта реактивності при обстеженнях, які проводили 6 разів через кожні 7 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 цих показників протягом усього тестування. Проведення шестиразових досліджень з інтервалом в один тиждень дає можливість враховувати вплив на психофізіологічні показники людини ультрадіанних біоритмів (30 ± 10 діб) і виключати вплив тижневих біоритмів [2]. Отже, при визначенні індивідуальних рівнів фізіологічної ціни розумової праці 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 рівня ендogenous CO₂ через тимчасове припинення надходження кисню, що призводить до розширення артеріального русла [14]. Коефіцієнт реактивності при гіперкапнічному навантаженні становив $1,52 \pm 0,08$. На відміну від гіперкапнії, при гіпокапнії внаслідок гіпервентиляції виникло уповільнення кровотоку, що є проявом звуження церебральних артерій [15]. При цьому коефіцієнт реактивності зменшувався до $0,68 \pm 0,04$.

Важливим питанням для оцінки фізіологічних затрат при розумовій праці є вибір найбільш інформативного показника мозкового кровотоку. З цією метою використовуються пікова систолічна [5] та усереднена за часом максимальна швидкість кровотоку [14]. Однак з літературних даних не видно переваги того чи іншого показника. Результати наших досліджень показали, що коефіцієнт реактивності в лівій середній мозковій артерії при гіпотонічній реакції, визначений із застосуванням пікової систолічної швидкості кровотоку становив $1,23 \pm 0,04$, а з використанням усередненої за часом максимальної швидкості кровотоку – $1,24 \pm 0,03$ ($P > 0,05$). У разі гіпертонічної реакції, коли швидкість кровотоку при розумовому навантаженні сповільнювалася, коефіцієнт реактивності, визначений із застосуванням пікової систолічної швидкості кровотоку був $0,77 \pm 0,03$, а з використанням усередненої за часом максимальної швидкості кровотоку – $0,79 \pm 0,04$ ($P > 0,05$). Наведені результати вказують на відсутність достовірної різниці коефіцієнта реактивності, який визначали при застосуванні пікової систолічної швидкості та усередненої за часом максимальної швидкості кровотоку. Це свідчить про те, що для оцінки фізіологічних затрат при розумовій праці можна використовувати і динаміку цих двох показників. Водночас для визначення індивідуальних рівнів фізіологічних затрат за вищезгаданою методикою необхідно знати межі гомеостатичного діапазону цереброваскулярних реакцій. Для цього

оцінюється динаміка мозкового кровотоку при пробах з гіпер- та гіпокапнією. Так, при гіпервентиляції (проба з гіпокапнією) відбувається спазм інтракраніальних артерій та сповільнення швидкості кровотоку. При цьому більшою мірою зменшується кінцева діастолічна швидкість кровотоку щодо пікової систолічної швидкості. Різна динаміка вказаних швидкостей призводить також до більш значного зменшення усередненої за часом максимальної швидкості кровотоку в порівнянні з піковою систолічною швидкістю. Коефіцієнт реактивності при гіпокапнічній пробі, розрахований із використанням усередненої за часом максимальної швидкості кровотоку, становив $0,66 \pm 0,05$, а за динамікою пікової систолічної швидкості – $0,89 \pm 0,06$ ($P < 0,05$). Це свідчить про те, що усереднена за часом максимальна швидкість кровотоку при функціональному навантаженні з гіпервентиляцією є найбільш інформативним показником.

Результати наших досліджень показали, що під час проведення проби з гіпервентиляцією 72 % обстежуваних 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 коефіцієнтів реактивності, розрахованих під час різнонаправлених стандартизованих функціональних навантажень, можуть бути межами гомеостатичного діапазону для окремого індивідуума. Виходячи з цього, нижнім значенням межі гомеостатичного діапазону є коефіцієнт реактивності, визначений під час проби з гіпервентиляцією, а верхнім – при проведенні тесту із затримкою дихання.

Оцінка рівнів адаптаційних реакцій мозкового кровотоку за вищезгаданою методикою показала, що у 73 % операторів фізіологічні затрати при розумовій праці були слабкими, в 23 % – помірними і в 4 % –

значними. Шестиразові дослідження виявили у окремих обстежуваних наявність різних рівнів фізіологічних затрат. Так, наприклад, коефіцієнти реактивності при шестиразових дослідженнях у оператора К. були 1,0, 0,77, 0,69, 0,88, 0,77, 0,9. Порівняння цих результатів з індивідуальними адаптаційними рівнями гомеостатичного діапазону встановили (див. таблицю) наявність відповідно слабкого, помірного, значного, слабкого, помірного та слабкого рівнів фізіологічних затрат при розумовій праці, тобто у обстежуваного цей рівень змінювався від слабкого до значного. В оператора П. коефіцієнти реактивності були 1,07, 1,05, 1,13, 1,07, 1,23, 0,97, що в усіх випадках відповідало слабкому рівню фізіологічних затрат. Отже, один і той самий фактор (розумове навантаження) в першого обстежуваного був то сильним, то слабким подразником. У другому випадку рівень фізіологічних затрат при розумовій праці був слабким. Подібні зміни фізіологічних затрат відбувалися також і в інших обстежуваних. Аналіз результатів досліджень дає можливість припустити, що ступінь адаптаційних реакцій залежить від рівня функціонального стану мозкового кровотоку в даний момент часу. Розумове навантаження відіграло роль слабкого, помірного і значного (але не стресового) подразника, що залежало від стадії адаптації [3].

Вважається, що довготривала гіперреактивність, або підвищені фізіологічні затрати для адаптації до змінених умов зовнішнього та внутрішнього середовища, призводить до виснаження резервних можливостей організму [12]. Підвищенню рівня фізіологічних затрат діяльності сприяє інтенсивна та тривала праця, яка викликає втому та погіршення якості роботи за одиницю часу, або зменшення тих граничних величин роботи, які можуть бути досягнуті при оптимальному напруженні (максимально безпечному рівні, який не призводить до розвитку патології). Тобто, поряд з погіршенням якісних і кількісних показни-

ків праці відбувається дискоординація фізіологічних функцій, що підвищують фізіологічні затрати при виконанні роботи. Тому, оцінюючи працездатність, потрібно одночасно враховувати показники продуктивності діяльності та стану організму.

За даними Навакатікяна [11], працездатність відображує максимальні можливості організму при такому ступені мобілізації людини, який не викликає розвитку патології. Наведений вище спосіб формальної оцінки фізіологічних затрат при розумовій праці дозволяє визначати межу мобілізації організму з метою нормування інтенсивності та тривалості праці, а також виявлення і попередження втоми та перевтоми.

Формальна оцінка індивідуальних рівнів адаптації дає можливість визначати потенційну здатність окремої людини до даного роду трудової діяльності. Це в свою чергу дає змогу визначати ступінь відповідності до того чи іншого роду професійної діяльності (повна або часткова відповідність і повна невідповідність).

ВИСНОВКИ

1. Порівняння адаптивних реакцій мозкових артерій при розумовому навантаженні з шкалою гомеостатичного діапазону цереброваскулярної реактивності окремої людини-оператора дає можливість визначати індивідуальний рівень фізіологічних затрат при розумовій праці.

2. Оцінка індивідуального рівня фізіологічних затрат при розумовій праці дозволить визначати потенційну здатність окремої людини до окремого роду трудової діяльності.

A.N.Volyansky

ESTIMATION OF INDIVIDUALS LEVELS OF THE PHYSIOLOGICAL EXPENDITURES IN MENTAL WORK

A new approach for determination of the individual levels of physiological expenditures in mental work is proposed. Comparison of adaptation reaction amplitude of cerebral arteries with the homeostatic range scale of cerebrovascular reactivity in human-operator gives the possibility to determine individual levels of the physiological expenditures in mental work. The homeostatic range of cerebrovascular reactivity was de-

Формалізація індивідуальних рівнів фізіологічних затрат при розумовій праці в межах шкали гомеостатичного діапазону адаптивних реакцій середньої мозкової артерії

Обстежувані	Рівень фізіологічних затрат при розумовій праці					
	Гіпотонічна реакція мозкової артерії			Гіпертонічна реакція мозкової артерії		
	значний	помірний	слабкий	слабкий	помірний	значний
К.	1,53	1,35	1,17	0,87	0,75	0,63
Р.	1,43	1,29	1,15	0,87	0,74	0,61
І.	1,6	1,4	1,2	0,89	0,77	0,65
С.	1,51	1,24	1,17	0,88	0,77	0,66
П.	1,73	1,49	1,25	0,86	0,73	0,6
О.	1,62	1,41	1,2	0,97	0,93	0,89
В.	1,56	1,37	1,18	0,91	0,81	0,71
А.	1,6	1,4	1,2	0,89	0,79	0,69
Л.	1,58	1,39	1,2	0,89	0,77	0,65
М.	1,65	1,43	1,21	0,89	0,78	0,67
Д.	1,49	1,22	1,15	0,9	0,8	0,7
Т.	1,55	1,33	1,16	0,86	0,71	0,56
Н.	1,42	1,28	1,14	0,86	0,69	0,52
Х.	1,37	1,25	1,13	0,79	0,58	0,37
Ч.	1,37	1,25	1,13	0,86	0,73	0,6
Ж.	1,47	1,31	1,16	0,9	0,8	0,7
З.	1,39	1,26	1,13	0,9	0,8	0,7
Ш.	1,27	1,18	1,09	0,73	0,46	0,19
Я.	1,27	1,18	1,09	0,8	0,6	0,4
Ц.	1,45	1,3	1,15	0,76	0,53	0,3

terminated by hyper- and hypocapnia functional test. Using transcranial doppler the mean blood flow velocity in the middle cerebral artery was measured. Estimation of the individuals levels of physiological expenditures in mental work allows determination of the potential possibility of the individual person to perform this type of work.

Irpın Military Hospital

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. – М.: Медицина, 1971. – 392 с.
2. 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.
3. Дорошев В.Г. Системный подход к здоровью летного состава в XXI веке. – М.: Паритет Граф, 2000. – 368 с.
4. Кассиль Г.Н. Внутренняя среда организма. – М.: Наука, 1983. – 227 с.
5. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике / Под ред. В.В.Митькова. – М.: ВИДАР, 1997. – 387 с.
6. Ливанов М.Н. Электроэнцефалограмма и мышление // Психол. журн. – 1982. – №3. – С. 127–137.
7. Методики исследований в целях врачебно-лётной экспертизы (пособие для врачебно-лётных комиссий). – М.: Воен. изд-во., 1972. – 360 с.
8. Митагвария Н.П. Устойчивость циркуляторного обеспечения функций головного мозга. – Тбилиси: Мецниереба, 1987. – 177с.
9. Молоков Д.Д., Бурцев Е.М. Констрикторные реакции мозговых сосудов в патогенезе дисциркуляторной энцефалопатии // Журн. неврологии и психиатрии. – 1996. – №5. – С. 64–67.
10. Москаленко Ю.Е., Бекетов А.И., Орлов Р.С. Мозговое кровообращение: Физико-химические приемы изучения. – Л.: Наука, 1988. – 160 с.
11. Навакатиан А.О., Крыжановская В.В., Кальниш В.В. Физиология и гигиена умственного труда. – К.: Здоров'я, 1987. – 152 с.
12. Ушаков И.Б., Сорокин О.Г. Адаптационный потенциал человека // Вестн. Рос.акад. мед. наук. – 2003. – №3. – С. 8–13.
13. 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.
14. 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.
15. 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.

Irpın. військ.госпіталь

Матеріал надійшов до редакції 13.12.2005