

Програмування та розв'язання задачі по обчисленню параметрів кисневих режимів організму на електронно-обчислювальній машині

В. С. Міщенко

Відділ вікової фізіології Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ

Уявлення про кисневий режим (КР) організму [2] передбачає вивчення взаємозв'язаних параметрів — парціального тиску (pO_2) та кількості кисню (qO_2) на різних етапах його перебування в організмі, визначуваних функцією органів дихання, кровообігу, дихальною функцією крові та іншими механізмами. Такий підхід передбачає аналіз надходження, транспорту і споживання O_2 з якісного і кількісного боку, якісну і кількісну оцінку співвідношень між функціональними показниками і параметрами КР, уточнення формул обчислення, систематизацію розрахунків кисневих параметрів і показників діяль-

Таблиця 1

Вихідні експериментальні дані, застосовані для обчислення параметрів КР організму

Цифровий код	Показники	Символи
1	Вік (в роках)	A
2	Вага (кг)	W
3	Фактор редуції	F
4	Барометричний тиск (мм рт. ст.)	P_B
5	Тиск водяних парів вдихуваного повітря	P_{H_2O}
6	Вміст O_2 у вдихуваному повітрі (об. %)	F_{iO_2}
7	Вміст O_2 у видихуваному повітрі (об. %)	F_{EO_2}
8	Вміст O_2 в альвеолярному повітрі (об. %)	F_{AO_2}
9	Вміст CO_2 у вдихуваному повітрі (об. %)	F_{iCO_2}
10	Вміст CO_2 у видихуваному повітрі (об. %)	F_{ECO_2}
11	Вміст CO_2 в альвеолярному повітрі (об. %)	F_{ACO_2}
12	Частота дихання (дих/хв)	f
13	Хвилинний об'єм дихання в умовах АТРС (мл/хв)	$\dot{V}_E$
14	Частота серцевих скорочень (уд/хв)	HR
15	Систолічний тиск (мм рт. ст.)	SP
16	Діастолічний тиск (мм рт. ст.)	DP
17	Киснева ємкість крові (об. %)	$S_{max} O_2$
18	Насичення артеріальної крові киснем (%)	S_{AO_2}
19	Насичення O_2 кінцевих капілярів легень (%)*	S_{CO_2}

* Показник застосовується для обчислення відношення альвеолярної вентиляції до легеневого капілярного кровоструменя. Його розраховували на підставі того, що у здорової людини практично нема різниці між P_{O_2} в альвеолах і в кінці капілярів легень, з кривої дисоціації оксигемоглобіну (Дж. Комро та ін., 1961).

ності функціональних систем щодо різного об'єму і методів визначення вихідних експериментальних даних [1, 3].

Вивчення КР на різних моделях — віковій, гіпоксичній, фізичного навантаження тощо супроводжується накопиченням великої кількості експериментальних даних, процес обробки яких потребує одержання ряду інших розрахункових показників, проміжних і доповнюючих характеристики діяльності функціональних систем організму.

У зв'язку з цим оброблення експериментального матеріалу звичайними методами передбачає оперування великою кількістю цифрового матеріалу, складну обчислювальну роботу і тому є надзвичайно трудомістким, вимагає багато часу на розрахунки.

Числове розв'язання завдання при обчисленні параметрів КР одержуємо у вигляді певної послідовності великої кількості різних арифметичних дій. При виконанні такого роду розрахунків електронно-обчислювальна машина надає широкі можливості.

Усе це дало підставу використати ЕОМ для розрахунків параметрів КР.

Ми користувалися серійною цифровою ЕОМ «Мінськ-22»*.

Програма була складена за участю інженера Л. Гордієнка на основі одного з варіантів обчислення параметрів КР за викладеною нижче принципіальною схемою.

Викладаючи принцип складання програми, ми будемо дотримуватись прийнятої в фізіології дихання термінології [4]. Виняток зроблено для символічного позначення споживання кисню, яке ми позначили так, як це зробили Н. В. Лауер і А. З. Колчинська [2, 3]. Це викликано рядом незручностей, що виникають при користуванні загальноприйнятим позначенням ($\dot{V}O_2$) при розгляді таких показників кисневого режиму організму та їх символічних позначень (введених Н. В. Лауер і А. З. Колчинською), як кількість кисню, що надходить у легені (q_{iO_2}), в альвеоли (q_{aO_2}), транспортується артеріальною (q_{aO_2}) та змішаною венозною кров'ю ($q_{\bar{V}O_2}$).

Для розв'язання завдання по обчисленню параметрів КР в результаті експериментального дослідження необхідно одержати такі вихідні показники (табл. 1).

Для зручності оперування згаданими показниками в дальшому ми застосували цифровий код. Для програмування завдання по розрахунку параметрів КР були застосовані також такі цифрові константи:

Цифровий код	Цифрові константи	Цифровий код	Цифрові константи
20	3,2	24	47
21	40	25	0,6
22	100	26	2
23	101		

Принципіальна схема розрахунку параметрів КР, показників їх аналізу і обчислення інших показників, які відображають діяльність функціональних систем організму, також наведена в прийнятому нами цифровому коді (табл. 2). Так, наприклад, коефіцієнт переведення (К) об'єму видихуваного повітря до об'єму вдихуваного (цифровий код — 27) обчислюється так: $(22-7-10) : (22-6-9)$, де 22 — цифрова константа 100, 7 — вміст O_2 у видихуваному повітрі, 10 — вміст CO_2 у видихуваному повітрі, 6 — вміст O_2 у вдихуваному повітрі, 9 — вміст CO_2 у вдихуваному повітрі, що відповідає формулі: $K = (100 - F_{EO_2} - F_{ECO_2}) : (100 - F_{iO_2} - F_{iCO_2})$ — символічні позначення вказані в табл. 1. Нижче в табл. 2, а наведені формули, на підставі яких складала програму та здійснювали розрахунок показників зовнішнього дихання, кровообігу, газообміну і параметрів кисневого режиму організму, а також деяких критеріїв його оцінки (символічні позначення вказані в табл. 1, назви наведених у табл. 2, а показників вказані в табл. 2).

Як видно з табл. 2, а, застосовані для обчислення КР розрахункові операції — це найпростіші арифметичні операції з послідовно обчисленими параметрами, з відносно невеликим набором вихідних параметрів і з великою кількістю кінцевих. Розрахунок параметрів взаємозв'язаних, тому що дальші обчислюються на основі попередніх.

Програма, як відомо, становить сукупність команд, що задають черговість (послідовність) виконання машиною різних операцій. Кожна команда це цифровий код, який перетворюється в машині на сигнали, що керують кожною операцією.

Програма розрахунку параметрів КР, що займає 380 осередків, використовує проміжні стандартні програми переведення з десяткової системи на двійкову та з двійкової на десяткову. Результати розрахунків друкуються в заданому порядку, наведеному на прикладі (рис. 2).

* Розв'язання завдання на малій ЕОМ «Промінь» виявилось неможливим через обмеженість об'єму її пам'ятювального пристрою. Але слід зауважити, що розв'язання подібної задачі можливе і на більш простих ЕОМ, ніж «Мінськ-22».

Цифровий код	
27	Коефіцієнт переведення об'єму вдихуваного до об'єму видихуваного повітря
28	Дихальний об'єм (мл)
29	Хвилинний об'єм вдихування (л/хв)
30	Фізіологічний мертвий об'єм (мл)
31	Альвеолярна вентиляція (л/хв)
32	Фізіологічний мертвий об'єм (мл)
33	Альвеолярна вентиляція (л/хв)
34	Кількість кисню, що надходить у легені (мл/хв)
35	Кількість кисню у венозній крові (мл/хв)
36	Кількість кисню, що надходить у легені (мл/хв)
37	Кількість спожитого кисню (мл/хв)
38	Кількість виділеного кисню (мл/хв)
39	Дихальний коефіцієнт
40	Кількість вуглекислого газу (мл/хв)
41	Парціальний тиск венозної крові (мм рт. ст.)
42	Систолічний об'єм крові (мл/хв)
43	Хвилинний об'єм крові (л/хв)
44	Вміст кисню в артерійній крові (мл/100 мл)
45	Кількість кисню, що надходить у легені (мл/хв)
46	Кількість кисню, що надходить у легені (мл/хв)
47	Вміст кисню у венозній крові (мл/100 мл)
48	Насичення венозної крові (г/100 мл)
49	Парціальний тиск кисню в артерійній крові (мм рт. ст.)
50	Парціальний тиск кисню в венозній крові (мм рт. ст.)
51	Кількість кисню, що надходить у легені (мл/хв)
52	Вентиляційний еквівалент кисню (л/хв)
53	O_2 — ефект дихального об'єму (мл/хв)
54	Гемодинамічний еквівалент кисню (л/хв)
55	O_2 — ефект серцевого об'єму (мл/хв)
56	Відношення АВ за С (мл/хв)
57	Відношення АВ за С (мл/хв)
58	Відношення q_{iO_2} до q_{aO_2}
59	Відношення q_{aO_2} до $q_{\bar{V}O_2}$
60	Відношення q_{aO_2} до $q_{\bar{V}O_2}$
61	Відношення $q_{\bar{V}O_2}$ до q_{iO_2}
62	q_{iO_2} (мл/кг ваги тіла в хв)
63	q_{aO_2} (мл/кг ваги тіла в хв)
64	q_{aO_2} (мл/кг ваги тіла в хв)
65	$q_{\bar{V}O_2}$ (мл/кг ваги тіла в хв)
66	Вміст O_2 у кінцевих органах (мл/100 мл)
67	Відношення АВ до С (мл/хв)

* Прийнятий нами в даної формулю Старі має модифікації. Тому програма передбачає перетворення: $\{21 + [(15-16):26] - (25-26)\}$.

** До розрахунку, наведеного в артеріальній і венозній крові, показники P_{aO_2} і P_{vO_2} за існуючої соціалізації оксигемоглобіну при вітальності.

*** Вентиляційний еквівалент живання кисню в умовах STPD.

**** Гемодинамічний еквівалент O_2 (мл) в умовах STPD.

Таблиця 2

Схема обчислення параметрів кисневого режиму організму, застосована
для складання програми ЕОМ

Цифровий код	Показники	Розрахунок
27	Коефіцієнт переведення об'єму видихуваного повітря до об'єму вдихуваного	$(22-7-10):(22-6-9)$
28	Дихальний об'єм (мл)	13:12
29	Хвилинний об'єм вдихуваного повітря (мл/хв)	13×17
30	Фізіологічний мертвий дихальний простір, обчислений за O_2 (мл)	$[(7-8):(6-8)] \times 28$
31	Альвеолярна вентиляція за O_2 (мл/хв)	$(28-30) \times 12$
32	Фізіологічний мертвий дихальний простір, обчислений за CO_2 (мл)	$[(11-10):11] \times 28$
33	Альвеолярна вентиляція за CO_2 (мл/хв)	$(28-32) \times 12$
34	Кількість кисню, що надходить до легень (мл/хв) q_{iO_2}	$(29 \times 3 \times 6):22$
35	Кількість кисню у видихуваному повітрі (мл/хв)	$(13 \times 3 \times 7):22$
36	Кількість кисню, спожитого організмом (мл/хв) q_{tO_2}	$34-35$
37	Кількість спожитого O_2 (мл/кг/хв)	$36:2$
38	Кількість виділеного організмом CO_2 (мл/хв)	$[13 \times 3(10-9)]:22$
39	Дихальний коефіцієнт	$38:36$
40	Кількість вуглекислоти, виділеної в альвеоли (мл/хв)	$(33 \times 3 \times 11):22$
41	Парціальний тиск вуглекислоти в альвеолярному повітрі (мм рт. ст.)	$[(4-24):22] \times 11$
42	Систолічний об'єм (мл)*	$23 + [(15-16):26] - (25 \times 16) - (25 \times 1)$
43	Хвилинний об'єм кровообігу (мл/хв)	42×14
44	Вміст кисню в артеріальній крові (об. %)	$(17 \times 18):22$
45	Кількість кисню, що транспортується артеріальною кров'ю (мл/хв) q_{aO_2}	$(43 \times 44):22$
46	Кількість кисню, що транспортується венозною кров'ю (мл/хв) q_{vO_2}	$45-36$
47	Вміст кисню у венозній крові (об. %)	$(46:43) \times 22$
48	Насичення венозної крові киснем (%)	$(47:17) \times 22$
49	Парціальний тиск кисню у вдихуваному повітрі (мм рт. ст.)	$[(4-5):22] \times 6$
50	Парціальний тиск кисню в альвеолярному повітрі (мм рт. ст.)**	$[(4-24):22] \times 8$
51	Кількість кисню, що надходить в альвеоли (мл/хв) q_{AO_2}	$(31 \times 3 \times 6):22$
52	Вентиляційний еквівалент***	$29:36$
53	O_2 —ефект дихального циклу (мл)	$36:12$
54	Гемодинамічний еквівалент****	$43:36$
55	O_2 —ефект серцевого скорочення (мл)	$36:14$
56	Відношення АВ за O_2 до ХОД (%)	$(31:29) \times 22$
57	Відношення АВ за CO_2 до ХОД (%)	$(33:29) \times 22$
58	Відношення q_{iO_2} до q_{tO_2}	$34:36$
59	Відношення q_{AO_2} до q_{tO_2}	$51:36$
60	Відношення q_{AO_2} до q_{vO_2}	$45:36$
61	Відношення q_{vO_2} до q_{tO_2}	$46:36$
62	q_{iO_2} (мл/кг ваги тіла/хв)	$34:2$
63	q_{AO_2} (мл/кг ваги тіла/хв)	$51:2$
64	q_{AO_2} (мл/кг ваги тіла/хв)	$45:2$
65	q_{vO_2} (мл/кг ваги тіла/хв)	$46:2$
66	Вміст O_2 у кінцевих капілярах легень (об. %)	$(17 \times 19):22$
67	Відношення АВ до легеневого капілярного кровострумення	$(66-47):(6-8)$

* Прийнятий нами в даному варіанті розрахунку параметрів КР метод обчислення ХОК за формулою Стара має модифікацію для обчислення ХОК у дітей (Н. С. Пугіна, 1966). Тому програма передбачає переключення для розрахунку ХОК за цією модифікацією формули: $\{21 + [(15-16):26] - (25 \times 16) + (20 \times 1)\} \times 14$

** До розрахунку, наведеному в таблиці, не входять величини парціального тиску кисню в артеріальній і венозній крові. Не маючи результатів прямих вимірювань, можна визначати показники P_{AO_2} і P_{VO_2} за існуючими номограмами, що відбивають закономірності кривої дисоціації оксигемоглобіну при відомому насиченні артеріальної та венозної крові і рН.

*** Вентиляційний еквівалент обчислювали як відношення ХОД в умовах АТРС до споживання кисню в умовах STPD.

**** Гемодинамічний еквівалент обчислювали як відношення ХОК (мл) до споживання O_2 (мл) в умовах STPD.

Таблиця 2, а
Формули, застосовані для розрахунку показників зовнішнього дихання, кровообігу, газообміну і параметрів кисневого режиму організму, а також деяких критеріїв оцінки параметрів КР

Цифровий код	Формула розрахунку
27	$K = (100 - F_{EO_2} - F_{EO_2}) : (100 - F_{iO_2}) - F_{iCO_2}$
28	$V_T = \dot{V}_E : f$
29	$\dot{V}_i = \dot{V}_E \times K$
30	$V_{DO_2} = [(F_{EO_2} - F_{AO_2}) : (F_{iO_2} - F_{AO_2})] \times V_T$
31	$\dot{V}_{AO_2} = (V_T - V_{DO_2}) \times f$
32	$V_{DCO_2} = [(F_{ACO_2} - F_{ECO_2}) : F_{ACO_2}] \times V_T$
33	$\dot{V}_{ACO_2} = (V_T - V_{DCO_2}) \times f$
34	$q_{iO_2} = (\dot{V}_i \times \Phi \times F_{iO_2}) : 100$
35	$q_{EO_2} = (\dot{V}_E \times \Phi \times F_{EO_2}) : 100$
36	$q_{tO_2} = q_{iO_2} - q_{EO_2}$
37	q_{tO_2} / W
38	$q_{iCO_2} = [\dot{V}_i \times \Phi \times (F_{ECO_2} - F_{iCO_2})] : 100$
39	$RQ = q_{iCO_2} : q_{tO_2}$
40	$q_{ACO_2} = (\dot{V}_{ACO_2} \times \Phi \times F_{ACO_2}) : 100$
41	$P_{ACO_2} = [(P_b - 47) : 100] \times F_{ACO_2}$
42	$Q = 101 + (SP - DP) : 2 - 0,6 \times DP - 0,6 \times A$
43	$\dot{Q} = Q \times HR$
44	$F_{aO_2} = (C_{\max O_2} \times S_{aO_2}) : 100$
45	$q_{aO_2} = (\dot{Q} \times F_{aO_2}) : 100$
46	$q_{VO_2} = q_{aO_2} - q_{tO_2}$
47	$F_{VO_2} = (q_{VO_2} : \dot{Q}) \times 100$
48	$S_{VO_2} = (F_{VO_2} : C_{\max O_2}) \times 100$
49	$P_{iO_2} = [(P_b - P_{H_2O}) : 100] \times F_{iO_2}$
50	$P_{AO_2} = [(P_b - 47) : 100] \times F_{AO_2}$
51	$q_{AO_2} = (\dot{V}_{AO_2} \times \Phi \times F_{iO_2}) : 100$
Показники економічності КР	
52	$BE = \dot{V}_{i(ATPS)} \times q_{tO_2}$
53	q_{tO_2} / f
54	$GE = \dot{Q} : q_{tO_2}$
55	$O_2 \text{ пульс} = q_{tO_2} : HR$
56	$\dot{V}_{AO_2} / \dot{V}_E$
Показники ефективності КР	
58	q_{iO_2} / q_{tO_2}
59	q_{AO_2} / q_{tO_2}
60	q_{aO_2} / q_{tO_2}
61	q_{VO_2} / q_{tO_2}
Показники інтенсивності КР	
62	q_{iO_2} / W
63	q_{AO_2} / W
64	q_{aO_2} / W
65	q_{VO_2} / W
66	$F_{CO_2} = (C_{\max O_2} \times S_{CO_2}) : 100$
67	$\dot{V}_{AO_2} / \dot{Q}_C = (F_{CO_2} - F_{VO_2}) : (F_{iO_2} - F_{AO_2})$

Програмува

0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
+десять	
кома	
запис	
Границя вводу	

Рис. 1. Цифровий код вводу вихідних даних в ЕОМ «Мінськ-22».

Таблиця 3

Результати виведення вихідних даних на друкуючий пристрій

1	+2400000+02
2	+6300000+02
3	+8900000+00
4	+7500000+03
5	+1899999+02
6	+2090000+02
7	+1710000+02
8	+1480000+02
9	+5000000+01
10	+3700000+01
11	+5500000+01
12	+1069999+02
13	+5109999+04
14	+5399999+02
15	+1039999+03
16	+6999999+02
17	+2010000+02
18	+9600000+02
19	+9780000+02

Рис. 2. Обслідуваний К-ц розрахунку параметрів вихідні дані.

Результат розрахунку на EOM

Таблица 3.4		Результат розрахунку на ЕОМ	
0			
1			
2			
3		27	+1001897+01
4		28	+4775700+03
5		29	+5119696+04
6		30	+1800674+03
7		31	+3183278+04
8		32	+1562956+03
9		33	+3437636+04
		34	+9523147+03
		35	+7776908+03
		36	+1746238+03
		37	+2771806+01
	+дв'ятковий	38	+1659983+03
		39	+9506053+00
	кома	40	+1682723+03
		41	+3866500+02
		42	+6160000+02
		43	+3326400+04
	запис	44	+1929600+02
		45	+6418621+03
	Границя вводу	46	+4672383+03
		47	+1404636+02
		48	+6988241+02

Таблица 3

Результати виведення вихідних даних на друкуючий пристрій

1	+240000+02
2	+630000+02
3	+890000+00
4	+750000+03
5	+189999+02
6	+209000+02
7	+171000+02
8	+148000+02
9	+500000+01
10	+370000+01
11	+550000+01
12	+106999+02
13	+510999+04
14	+539999+02
15	+103999+03
16	+699999+02
17	+201000+02
18	+960000+02
19	+978000+02

Рис. 2. Обслідуваний К-цов А., 24 роки. Спокій, лежачи. Приклад розрахунку параметрів кисневого режиму організму на ЕОМ. Вихідні дані, заперфоровані в одній «зоні».



