
СПОРТИВНА МЕДИЦИНА, ФІЗІОЛОГІЯ ТА БІОХІМІЯ СПОРТУ

ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ФІЗІОЛОГІЧНОГО НОРМУВАННЯ ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Георгій Коробейніков, Леся Коробейнікова

Резюме. Целью работы является разработка подходов к физиологическому нормированию физических нагрузок с учетом возраста человека. На основании проведения моделирования физической нагрузки был разработан подход к физиологическому нормированию нагрузок с учетом физической работоспособности, возраста и пола человека.

Ключевые слова: физиологическое нормирование, физическая нагрузка, груз, возрастные группы.

Summary. The aim of the work was elaboration of approaches to physiological normalization of physical activity, taking into account the person's age. On the basis of the modeling physical performance was to develop an approach to the norming physiological rationing of loads, taking into account the valuation of physical capacity, age and sex of the person.

Keywords: physiological rationing, physical load, weight, age groups

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на високий рівень наукових досліджень із фізіології, відсутні фізіологічно обґрунтовані підходи до нормування фізичних навантажень для осіб різного віку [1–3]. У практиці фахівці орієнтуються на стихійний підхід щодо напруження і потужності навантаження, що призводить до посилення ризику порушення здоров'я людини.

Серед багатьох підходів до фізіологічного нормування навантажень найбільше оптимальним є принцип, запропонований В. І. Медведєвим [4, 5], сутність якого полягає в урахуванні рівня потенційних можливостей людини – працездатності.

З огляду на те що фізична працездатність визначається за показниками потужності роботи, вона відображає потужність м'язового зусилля, необхідного для виконання певного обсягу навантаження.

Як показано у різних дослідженнях, фізична працездатність є інтегральною фізіологічною функцією [6–8].

Можна зазначити, що фізіологічне нормування навантажень є складним багатокритеріальним завданням пошуку оптимального рівня навантаження. Для цього доцільно використовувати метод математичного моделювання.

Математична модель являє собою систему математичних співвідношень – формул і функцій,

що описують ті або інші ознаки досліджуваного об'єкта, явища, процесу [9]. З метою фізіологічного нормування фізичної діяльності як критерію, що відображає потужність виконуваного навантаження, доцільно використовувати гранично припустимого значення [10, 11], яке визначається оптимальним рівнем фізичного навантаження, при якому не виникає значної втрати працездатності, що приводить до погіршення стану здоров'я [12, 13].

Таким чином, для вирішення завдання фізіологічного нормування навантажень при фізичній діяльності, доцільно використовувати математичні моделі, які складаються з показників, що лімітують рівень фізичної працездатності у відповідних вікових та статевих групах [14]. На думку В. М. Платонова, моделювання – процес побудови, вивчення та використання характеристик та оптимізації будь-якого процесу [15].

Мета дослідження – розробка підходів щодо фізіологічного нормування фізичних навантажень з урахуванням віку людини.

Методи і організація дослідження. Сучасні функціональні ергометричні дослідження широко застосовуються у практиці вивчення фізичної діяльності людини [16, 17], основним завданням яких є максимальна наближеність структури рухового акту і функціональних змін організму до реальних умов фізичної роботи людини.

З урахуванням цього нами моделювалась фізична діяльність трьох видів.

Перший вид фізичної діяльності моделювався підійманням вантажу. Гранична вага вантажу коливалися від $1/8$ індивідуального значення максимальної станової м'язової сили. Підіймання вантажу з майданчика 10 см у висоту, що відповідає рівню грудної клітки обстежуваного ($2/3$ довжини тіла), здійснюється максимально до відмови від роботи. Реєстрували загальний обсяг і час роботи.

На підставі результатів ергометрії визначалася фізична працездатність при підійманні вантажу:

$$PWC_{\text{під}} = (N_{\text{під}} \cdot W_{\text{ван}} \cdot (2/3 \cdot L)) / T_{\text{під}}, \quad (1)$$

де $PWC_{\text{під}}$ – фізична працездатність при підійманні, Вт; $N_{\text{під}}$ – кількість підіймань вантажу; $W_{\text{ван}}$ – вага вантажу, кг; L – зріст обстежуваного, м; $T_{\text{під}}$ – загальний час, витрачений на підіймання вантажу, хв.

Другий вид фізичної діяльності моделювався переміщенням вантажу. Гранична вага вантажу кантувалася від $1/8$ індивідуального значення максимальної станової м'язової сили. Переміщення здійснювалося при утриманні вантажу на руках під прямим кутом у ліктьовому суглобі до відмови від роботи. Реєстрували загальний обсяг і час роботи.

На основі результатів ергометрії визначалася фізична працездатність при переміщенні вантажу:

$$PWC_{\text{пер}} = (S_{\text{пер}} \cdot W_{\text{ван}}) / T_{\text{пер}}, \quad (2)$$

де $PWC_{\text{пер}}$ – фізична працездатність при переміщенні, Вт; $S_{\text{пер}}$ – загальна відстань, пройдена по горизонталі, м; $W_{\text{ван}}$ – вага вантажу, кг; $T_{\text{пер}}$ – загальний час, витрачений на переміщення вантажу, хв.

Крім того, в обстежених визначали м'язову силу правої ($MC_{\text{пр}}$) і лівої ($MC_{\text{лів}}$) руки, станову м'язову силу ($СМС$) і тривалість статичного станового зусилля (75 % максимального зусилля) – м'язову витривалість ($МВ$).

Як антропометричні показники, що визначають рівень фізичної працездатності, вивчали: довжину тіла (L) і масу тіла (MT), окружність талії (OT) і розмір жирової складки ($РЖС$), що вимірюється під лопаткою.

Третій вид фізичної діяльності моделювався велоергометриєю у виді раппового [15] фізичного навантаження. При такому навантаженні потужність зростала з 20 Вт (вихідних) на 20 Вт кожну наступну хвилину до відмови від роботи.

Обстежено 90 жінок і 60 чоловіків віком 19–60 років, а також 65 підлітків-юнаків і 60 підлітків-дівчат віком 13–18 років, всього 275 осіб. Для ви-

вчення фізичної працездатності обстежених було розподілено у відповідні вікові групи: 13–14, 15–16, 17–18, 19–29, 30–39, 40–49, 50–60 років.

Результати дослідження та їх обговорення свідчать, що оптимальні значення вантажів для юнаків обчислюють за формулою, яку отримано під час регресійного аналізу між значенням вантажу та параметрами, що визначають рівень фізичної працездатності:

$$W_{\text{опт}} = -22,88 + 0,08 \cdot X_1 - 0,008 \cdot X_2 + 0,007 \cdot X_3 + 0,81 \cdot X_4, \quad (3)$$

де $W_{\text{опт}}$ – фізіологічно оптимальне значення вантажу, кг; X_1 – станова м'язова сила, кг; X_2 – станова м'язова витривалість, с; X_3 – довжина тіла, см; X_4 – вік, років.

Коефіцієнт множинної кореляції між вантажем і показниками становить $r = 0,81$ ($p < 0,001$).

За результатами проведеного аналізу, оптимальні значення вантажів для дівчат визначаються за формулою:

$$W_{\text{опт}} = -2,85 + 0,11 \cdot X_1 + 0,003 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_3 + 0,04 \cdot X_4 \quad (4)$$

Коефіцієнт множинної кореляції між вантажем і показниками складає $r = 0,90$ ($p < 0,001$).

З огляду на те що отримані регресійні моделі повинні бути перевірені на валідність [16], а також те, що це завдання є дуже складним, нами використано порівняння значень вантажів, отриманих у результаті моделювання (табл. 1) зі значеннями вантажів, розрахованих за календарним віком (табл. 2). Для цієї мети було використано екзаменаційну вибірку, що є близькою за своїми ознаками до навчальної вибірки. Вона складалася з 30 юнаків і 30 дівчат віком 13–18 років

Порівняння значень вантажів, отриманих за допомогою моделювання, зі значеннями вантажів, розрахованих за календарним віком, свідчить про

Таблиця 1 – Значення для підлітків вікових норм вантажів, розрахованих за допомогою математичного моделювання

Вік, років	Юнаки	Дівчата
13–14	6,79±0,45	4,75±0,41
15–16	10,81±0,87	7,57±0,43
17–18	11,46±0,34	8,02±0,21

Таблиця 2 – Значення для підлітків вантажів, розрахованих за календарним віком

Вік, років	Юнаки	Дівчата
13–14	7,69±2,31	4,78±1,20
15–16	9,09±1,78	6,83±1,64
17–18	12,92±1,10	8,14±1,25

високий кореляційний зв'язок у юнаків ($r = 0,67$, $p < 0,001$) і дівчат ($r = 0,65$, $p < 0,001$) відповідно.

Таким чином, у підлітків оптимальні фізіологічні значення навантажень детерміновані м'язовою силою, витривалістю, антропометричними показниками і залежать від віку.

Аналіз фізіологічних норм вантажів, отриманих за допомогою математичного моделювання (табл. 1), із реальними показниками вантажів, розрахованих за календарним віком (табл. 2) і функціональним віком [12] (табл. 3), показав відсутність достовірних розходжень між даними значеннями. Ця обставина також свідчить про валідність та інформативність розробленого методологічного підходу до фізіологічного нормування навантажень для підлітків в умовах фізичної діяльності.

Фізіологічно оптимальні значення вантажів в умовах підймання і переміщення в жінок відповідно до регресійного рівняння визначаються:

$$W_{\text{опт}} = 0,58 - 0,01 \cdot X_1 + 0,12 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_3 + 0,003 \cdot X_4, \quad (5)$$

де $W_{\text{опт}}$ – фізіологічно оптимальне значення вантажу, кг; X_1 – вік, років; X_2 – станова м'язова сила, кг; X_3 – маса тіла, кг; X_4 – м'язова сила лівої руки, кг.

Коефіцієнт множинної кореляції становить $r = 0,79$ ($p < 0,05$). Таким чином, оптимальні значення вантажу для жінок визначаються показниками м'язової сили, масою тіла і залежать від віку. Рівняння (5) запропоновано для загальної вибірки жінок. Для кожної вікової групи було розроблено відповідні моделі оптимальних значень вантажів. У таблиці

Таблиця 3 – Значення для підлітків вантажів, розрахованих за функціональним віком

Вік, років	Юнаки	Дівчата
13–14	6,77±0,34	6,07±0,61
15–16	10,38±0,77	6,08±0,34
17–18	13,78±0,75	7,30±0,38

Таблиця 4 – Коефіцієнти рівняння множинної регресії оптимальних значень вантажів, отримані для жінок

Коефіцієнт	Вікові групи, років			
	19–29, $r = 0,72^*$	30–39, $r = 0,87^*$	40–49, $r = 0,64^*$	50–60, $r = 0,43^*$
A_0	0,31	2,07	3,74	-0,46
A_1	-0,004	-0,01	-0,08	-0,02
A_2	0,14	0,14	0,11	0,06
A_3	-0,02	-0,01	0,03	0,004
A_4	0,03	-0,02	-0,03	0,07

Примітки: * $p < 0,01$, * $p < 0,05$.

1. Відмінності достовірні при * $p < 0,01$, * $p < 0,05$; 2. A_0 – незалежний коефіцієнт множинної регресії; A_1, A_2, A_3, A_4 – коефіцієнти множинної регресії при показниках: вік, станова, м'язова сила маса тіла, м'язова сила лівої руки.

4 представлено коефіцієнти рівняння множинної регресії оптимальних значень вантажів, отримані для жінок.

Для перевірки валідності моделей оптимальних значень вантажів нами використана екзаменаційна вибірка, близька за своїми ознаками до навчальної. Екзаменаційна вибірка складалася з 30 жінок віком $34,43 \pm 1,65$ років.

При порівнянні значень вантажів, отриманих у результаті моделювання, зі значеннями вантажів, розрахованими за календарним і функціональним віком (табл. 5) було виявлено відсутність достовірних відмінностей між поданими значеннями вантажів із відповідних вікових груп у жінок. Більш високі значення вантажів, розраховані за календарним і функціональним віком, порівняно зі значеннями, отриманими в результаті математичного моделювання, пояснюються використанням у моделі середньостатистичних значень вантажу у відповідній віковій групі. Ця обставина вказує на більш оптимальні значення вантажів, отриманих у результаті фізіологічного нормування.

Фізіологічно оптимальні значення вантажів в умовах підймання і переміщення у чоловіків, відповідно до регресійного рівняння, визначається:

$$W_{\text{опт}} = 4,31 - 0,02 \cdot X_1 + 0,09 \cdot X_2 + 0,005 \cdot X_3 + 0,15 \cdot X_4, \quad (6)$$

де $W_{\text{опт}}$ – фізіологічно оптимальне значення вантажу, кг; X_1 – вік, років; X_2 – станова м'язова сила, кг; X_3 – станова м'язова витривалість, кг; X_4 – м'язова сила лівої руки, кг.

Коефіцієнт множинної кореляції становить $r = 0,64$ ($p < 0,05$). Таким чином, оптимальні значення вантажу для чоловіків визначаються показниками м'язової сили, витривалості і залежать від віку. Рівняння (6) подано для загальної вибірки чоловіків. Для кожної вікової групи було розроблено відповідні моделі оптимальних значень вантажів.

Для перевірки валідності моделі оптимальних значень вантажів нами використано екзаменаційну вибірку, близьку за своїми ознаками до навчальної вибірки. Екзаменаційна вибірка складалася з 30 чоловіків віком $37,62 \pm 2,78$ років.

Таблиця 5 – Значення для жінок вікових норм вантажів, розрахованих за допомогою математичного моделювання, за календарним і функціональним віком

Вік, років	Норми вантажів		
	У результаті математичного моделювання	За календарним віком	За функціональним віком
19–29	7,68±0,44	8,35±0,41	8,65±0,34
30–39	7,51±0,42	8,50±0,48	8,53±0,50
40–49	7,40±0,43	7,62±0,36	7,96±0,44
50–60	6,30±0,37	7,44±0,69	7,25±0,65

Таблиця 6 – Коефіцієнти рівняння множинної регресії оптимальних значень вантажів, отримані для чоловіків

Коефіцієнт	Вікові групи			
	19–29, r = 0,96*	30–39, r = 0,97*	40–49, r = 0,40**	50–60, r = 0,95*
A ₀	-0,42	3,99	-13,27	-0,32
A ₁	-0,01	-0,14	-0,36	-0,10
A ₂	0,13	0,12	***	0,11
A ₃	0,003	0,001	-0,03	-0,006
A ₄	-0,01	0,02	0,36	-0,06

Примітки: 1. Відмінності достовірні при *p < 0,01, **p < 0,05. **показники, які не увійшли до регресійної моделі.

2. A₀ – незалежний коефіцієнт множинної регресії, A₁, A₂, A₃, A₄ – коефіцієнти множинної регресії при таких показниках: вік, станова м'язова сила, станова м'язова витривалість, м'язова сила лівої руки.

У таблиці 6 представлено коефіцієнти рівняння множинної регресії оптимальних значень вантажів, отримані для чоловіків.

При порівнянні значень вантажів, отриманих у результаті моделювання, з реальними значеннями вантажів, розрахованими за календарним і функціональним віком (табл. 7) достовірні відмінності між поданими значеннями у вікових групах 19–29 і 30–39 років відсутні. У вікових групах 40–49 і 50–60 років значення вантажів, отримані в результаті математичного моделювання, вірогідно нижчі (p < 0,05), ніж значення вантажів, отримані в результаті ранжування за календарним і функціональним віком (табл. 7).

Ця обставина вказує на більш оптимальні значення вантажів, отримані в результаті фізіологічного нормування для чоловіків.

Література

1. Аулик И. В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте / И. В. Аулик. – М.: Медицина, 1990. – 192 с.
2. Бальсевич В. К. Физическая активность человека / В. К. Бальсевич, В. А. Запорожанов. – К.: Здоров'я, 1987. – 224 с.
3. Виноградов М. И. Физиология трудовых процессов / М. И. Виноградов. – М.: Медицина, 1966. – 367 с.
4. Гребняк В. П. Динамика системной организации функций при адаптации к труду в экстремальных условиях / В. П. Гребняк, Е. И. Чупирова // Физиология человека. – 1986. – Т. 12, № 2. – С. 269–276.
5. Коробейников Г. В. Особенности физиологического нормирования трудовых нагрузок для людей разного возраста / Г. В. Коробейников // Пробл. старения и долголетия. – 1999. – Т. 8, № 3. – С. 29–34.
6. Коробейников Г. В. Фізична працездатність та старіння організму / Г. В. Коробейников // Фізіол. журн. – 1998. – Т. 44, № 3. – С. 313–314.
7. Леонова А. Б. Функциональные состояния человека в трудовой деятельности / А. Б. Леонова, В. И. Медведев. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 112 с.
8. Максимович В. А. Эргометрическая устойчивость человека / В. А. Максимович. – К.: Здоров'я, 1985. – 128 с.
9. Медведев В. И. Устойчивость физиологических и психических функций человека при действии экстремальных факторов / В. И. Медведев. – Л.: Наука, 1982. – 102 с.
10. Медведев В. И. Психофизиологические проблемы оптимизации деятельности / В. И. Медведев // Физиологические механизмы оптимизации деятельности. – Л.: Наука, 1985. – С. 3–20.
11. Минцер О. П. Методы обработки медицинской информации / О. П. Минцер, Б. Н. Угаров, В. В. Влагов. – К.: Вища шк., 1991. – 271 с.
12. Платонов В. Н. Периодизация спортивной тренировки / В. Н. Платонов. – К: Олимп. лит., 2013. – 623 с.

Таблиця 7 – Значення вікових норм вантажів для чоловіків розрахованих за допомогою математичного моделювання, за календарним і функціональним віком

Вік, років	Норми вантажів		
	У результаті математичного моделювання	За календарним віком	за функціональним віком
19–29	16,82±1,46	16,50±0,77	17,57±1,21
30–39	15,62±1,13	14,95±1,21	15,50±1,22
40–49	13,62±1,01*	15,95±1,12	15,87±0,59
50–60	12,41±1,21*	15,80±1,07	15,01±0,45

*Відмінності достовірні при p < 0,05 між значеннями показників, отриманих у результаті математичного моделювання та за функціональним віком.

Таким чином, розроблений методологічний підхід до фізіологічного нормування навантажень відрізняється високою валідністю і може бути використаний для індивідуального нормування навантажень в умовах фізичної діяльності людини.

Висновки

На підставі проведення моделювання фізичного навантаження було розроблено підходи до фізіологічного нормування навантажень з урахуванням фізичної працездатності, віку і статі людини. Представлено математичні моделі вікових норм вантажів для осіб різного віку та статі, які розраховуються за календарним і функціональним віком.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці диференційованих підходів до фізіологічного нормування навантажень з урахування системи енергозабезпечення.

13. Поляков А. О. Індивідуально-типологічні особливості фізичної працездатності робітників різного віку / А. О. Поляков // Мед. перспективи. – 2001. – Т. 4, № 2. – С. 15–19.
14. Поляков А. О. Геронтологічні аспекти гендерних розбіжностей працездатності людей / О. А. Поляков, К. В. Медвідчук // Пробл. старения и долголетия. – 2004. – Т. 13, № 3. – С. 237–242.
15. Решетюк А. Л. Моделирование режимов труда / Физиологические принципы разработки режимов труда и отдыха / А. Л. Решетюк; под ред. В. И. Медведева. – Л.: Наука, 1984. – С. 7–39.
16. Решетюк А. Л. Ненозологічні критерії ефективності медичної реабілітації: метод. рекомендації / А. Л. Решетюк, І. І. Белая, Г. В. Коробейников, О. А. Поляков. – К.: МОЗ України, 1993. – 9 с.
17. Решетюк А. Норми підймання та переміщення вантажів для неповнолітніх / А. Решетюк, Г. Коробейников, А. Каракашян та ін. // Охорона праці. – 1999. – Т. 8 (62). – С. 42–43.
18. Хутиев Т. В. Управление физическими состояниями организма. Тренирующая терапия / Т. В. Хутиев, Ю. Г. Антомонов, А. Б. Котова, О. Г. Пустовойт. – М.: Медицина, 1991. – 256 с.

References

1. Aulik I. V. Physical work capacity determining in clinics and sport / I. V. Aulik. – Moscow: Meditsina, 1990. – 192 p.
2. Balsevich V. K. Human physical activity / V. K. Balsevich, V. A. Zaporozhanov. – Kiev: Zdorovia, 1987. – 224 p.
3. Vinogradov M. I. Physiology of labour processes / M. I. Vinogradov. – Moscow: Meditsina, 1966. – 367 p.
4. Grebniak V. P. Dynamics of system organization of functions during adaptation to work under extreme conditions / V. P. Grebniak, E. I. Chupirina // Human physiology. – 1986. – V. 12, № 2. – P. 269–276.
5. Korobeynikov G. V. Peculiarities of physiological standardization of working loads for people of different ages / G. V. Korobeynikov // Problemy stareniya i dolgoletiya. – 1999. – V. 8, № 3. – P. 29–34.
6. Korobeinikov H. V. Physical work capacity and aging / H. V. Korobeinikov // Fiziologichnyi zhurnal – 1998. – V. 44, № 3. – P. 313–314.
7. Leonova A. B. Human functional states during labour activity / A. B. Leonova, V. I. Medvedev. – Moscow: Moscow University Publishing House, 1981. – 112 p.
8. Maksimovich V. A. Human ergometric stability / V. A. Maksimovich. – Kiev: Zdorovia, 1985. – 128 p.
9. Medvedev V. I. Stability of human physiological and mental functions under influence of extreme factors / V. I. Medvedev. – Leningrad: Nauka, 1982. – 102 p.
10. Medvedev V. I. Psychophysiological problems of activity optimization / V. I. Medvedev // Physiological mechanisms of activity optimization. – Leningrad: Nauka, 1985. – P. 3–20.
11. Mintser O. P. Methods of medical information processing / O. P. Mintser, B. N. Ugarov, V. V. Vlasov. – Kiev: Vyscha shkola, 1991. – 271 p.
12. Platonov V. N. Sports training periodization / V. N. Platonov. – Kiev: Olimpiyskaya literatura, 2013. – 623 p.
13. Poliakov A. O. Individual and typological peculiarities of physical work capacity of persons of different ages / A. O. Poliakov // Med. perspektyvy. – 2001. – V. 4, № 2. – P. 15–19.
14. Poliakov A. O. Gerontologic aspects of gender differences in work capacity / O. A. Poliakov, K. V. Medvedchuk // Problemy stareniya i dolgoletiya, 2004. – V. 13, № 3. – P. 237–242.
15. Reshetiuk A. L. Modelling labour regimens / Physiological principles of development of work and rest regimens / A. L. Reshetiuk; ed. by V. I. Medvedev. – Leningrad: Nauka, 1984. – P. 7–39.
16. Reshetiuk A. L. Non-nosological criteria of medical rehabilitation efficiency: method. recommendations / A. L. Reshetiuk, I. I. Bielaia, H. V. Korobeinikov, O. A. Poliakov. – Kyiv: MHP Ukraine, 1993. – 9 p.
17. Reshetiuk A. L. Standards for lifting and displacing weights for adolescents / A. Reshetiuk, H. Korobeinikov, A. Karakashian et al. // Okhorona pratsi. – 1999. – V. 8 (62). – P. 42–43.
18. Khutiyev T. V. Managing body physical states. Training therapy / T. V. Khutiyev, Y. G. Antomonov, A. B. Kotova, O. G. Pustovoyt. – Moscow: Meditsina, 1991. – 256 p.