

ЯРЕМКО Є.О., ВОВКАНИЧ Л.С.

ФІЗІОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ СОМАТИЧНОГО ЗДОРОВ'Я



ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ

Кафедра анатомії та фізіології

ЯРЕМКО Є.О., ВОВКАНИЧ Л.С.

**ФІЗИОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ
ДІАГНОСТИКИ РІВНЯ
СОМАТИЧНОГО ЗДОРОВ'Я**

Львів
«СПОЛОМ»
2009

УДК 796.011.3

Я 72

*Затверджено на засіданні кафедри анатомії та фізіології,
протокол № 2 від 15 вересня 2008 р.*

*Рекомендовано до друку на засіданні Вченої Ради Львівського державного
університету фізичної культури, протокол № 6 від 23.12.2008 р.*

Склали:

Яремко Є.О. – доктор мед. наук, професор кафедри анатомії і фізіології ЛДУФК

Вовканич Л.С. – кандидат біологічних наук, доцент, зав. кафедри анатомії та фізіології ЛДУФК

Рецензенти:

Клевець М.Ю. – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедрою фізіології людини і тварин Львівського національного університету імені Івана Франка

Бергтраум Д.І. – кандидат біологічних наук, доцент кафедри анатомії та фізіології ЛДУФК

Науково-методичне видання присвячене обґрунтуванню системи оцінки соматичного здоров'я, яка базується на визначенні аеробних можливостей організму, забезпеченні високого рівня здоров'я та резервних можливостей серцево-судинної та дихальної систем. Проаналізовані існуючі методи оцінки здоров'я, дискутуються питання методології діагностики здоров'я.

Рекомендоване для студентів університетів фізичної культури та факультетів фізичної культури педагогічних університетів, аспірантів та викладачів.

© ЯРЕМКО Є.О.,

©ВОВКАНИЧ Л.С., 2009

ISBN 978-966-665-521-2

© В-во «СПОЛОМ», 2009

Список умовних скорочень та позначень

- ЗФП – загальна фізична працездатність
- ІА – індекс атерогенності
- ІГСТ – індекс Гарвардського степ-тесту
- ІХС – ішемічна хвороба серця
- ЛПВЩ (HDL) – ліпопротеїди високої щільності
- ЛПНЩ (LDL) – ліпопротеїди низької щільності
- МСК – максимальне споживання кисню
- ІМСК – належне максимальне споживання кисню
- ПАНО – рівень порогу анаеробного обміну
- ФН – фізичне навантаження
- ФП – фізична працездатність
- ХОК – хвилинний об'єм крові
- ХТ – холестерин
- ЧСС – частота серцевих скорочень
- PWC_{170} – фізична працездатність при ЧСС 170 уд./хв.
- VO_2 – швидкість споживання кисню
- W – потужність навантаження

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Загально-біологічні проблеми оцінки рівня соматичного здоров'я	6
2. Антропометричні підходи до оцінки рівня соматичного здоров'я людини	8
3. Фізіологічні критерії рівня здоров'я	13
3.1. Фізична працездатність, методи її вимірювання та взаємозв'язок із станом здоров'я.....	19
3.1.1. Визначення PWC_{170} методом степергометрії	23
3.1.2. Дослідження фізичної працездатності з використанням Гарвардського степ-тесту	25
3.2. Аеробні можливості організму та їхня роль у визначенні рівня соматичного здоров'я	30
3.2.1. Методики прямого визначення МСК.....	35
3.2.2. Методики непрямого визначення МСК.....	36
3.2.3. Взаємозв'язок між аеробними можливостями організму та рівнем соматичного здоров'я.....	50
4. Основні фактори ризику виникнення порушень соматичного здоров'я	63
5. Висновки	67
6. Література	72

ВСТУП

Протягом останніх років відбувається активне формування науки про здоров'я (валеології) та наукова дискусія навколо проблеми оцінки критеріїв стану здоров'я людини [1-8, 14, 16, 18, 26]. На сьогодні виникла необхідність детального вивчення проблеми критеріїв оцінки стану фізичного здоров'я та питання методології діагностики здоров'я. Зокрема, недостатньо дослідженими залишаються ті показники, які необхідні для визначення границі норми та оптимального рівня функціонування серцево-судинної та дихальної систем. Немає чітких рекомендацій з комплексної оцінки рівня здоров'я. Інтерес до оцінки стану здоров'я викликається також необхідністю адекватного вибору та дозування фізичних вправ, що використовуються в системі масових обстежень та занять фізичною культурою. Окрім того, діагностика здоров'я – одна з найбільш необхідних ланок в комплексному процесі оздоровлення.

1. ЗАГАЛЬНО-БІОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ РІВНЯ СОМАТИЧНОГО ЗДОРОВ'Я

Протягом багатьох історичних етапів розвитку фізіології і медицини пропонувалися різні визначення поняття "здоров'я". На сьогодні існує понад сто визначень цього поняття. Серед них загальновідоме визначення ВООЗ: *"Здоров'я – це стан повного фізичного, духовного, соціального благополуччя, а не лише відсутність захворювань"* [3, 7]. В.П.Казначеев доповнив це визначення: *"Здоров'я людини – це процес збереження та розвитку її психічних та фізіологічних функцій, оптимальної працездатності та соціальної активності при максимальній тривалості життя"*. Здоров'я – це динамічний стан, який визначається механізмами саморегуляції, характеризується енергетичним, пластичним та інформаційним забезпеченням процесів саморегуляції та є основою прояву біологічних та соціальних функцій [3].

Здоров'я можна представити *"як стан при якому чітко проявляється гармонія фізіологічних процесів, високий рівень саморегуляції функцій, достатні функціональні резерви та максимальна адаптація до різних факторів навколишнього середовища"*. У сучасній науковій літературі наявні також інші визначення поняття "здоров'я", проте значна кількість

визначень, очевидно, обумовлена неоднозначністю підходів авторів до характеристики поняття та необхідністю подальших досліджень у цьому напрямку.

На сьогодні досить поширеним, зокрема у медичній літературі, є ототожнення здоров'я з поняттям статистичної "норми", тобто відповідності певному стандарту, ідеальному варіанту – нормальна температура тіла, нормальний вміст цукру в крові, нормальна кількість еритроцитів та гемоглобіну, нормальний артеріальний тиск крові, нормальна ЕКГ та ін. Але чим більше методик вимірювань та визначень різних фізіологічних показників, тим більше цих статистичних норм здоров'я. Окрім того, середні значення "норми" залежать від багатьох чинників (вік, стать, спосіб життя, географічна група та ін.) та не відображають здатності організму протистояти впливу зовнішніх чинників (змінені умови довкілля, фізичні навантаження, захворювання). Отже поняття "норми" об'єктивно не відображає стан здоров'я, має відносне та орієнтовне значення, вказує лише на відсутність суттєвих відхилень у стані здоров'я та не може бути показником резервних можливостей організму.

У зв'язку з цим "здоров'я" слід розглядати не в статичі, а в динаміці, у тісному взаємозв'язку із адаптаційними можливостями організму та рівнем його функціональних резервів.

За даними ВООЗ, стан здоров'я населення економічно розвинених країн світу на 70% обумовлений антропогенними впливами, станом зовнішнього середовища та способом життя (атмосферний тиск, вологість повітря, магнітне поле, сонячна радіація, характер харчування, шкідливі звички, психоемоційний стан, характер рухової активності та ін.).

Оцінка рівня здоров'я повинна бути предметом широких досліджень у фізіології та медицині. Існують різні підходи до оцінки стану здоров'я: антропометричні, фізіологічні, біохімічні та ін.

2. АНТРОПОМЕТРИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ РІВНЯ СОМАТИЧНОГО ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Часто для оцінки рівня фізичного здоров'я застосовують антропометричні підходи, зокрема нормування ваги і складу тіла, обводу грудної клітки, сили м'язів, оцінку постави та ін. Не викликає сумнівів, що нормалізація маси тіла має важливе значення для підтримання здоров'я [2, 6, 13, 24]. Надмірна вага створює умови для відхилення в стані здоров'я та підвищення ризику виникнення деяких захворювань (діабет, атеросклероз, гіпертонія та ін.), віднесена ООН у 2000 р. до основних факторів ризику для здоров'я.

Для визначення ідеальної ваги людини існує багато методик. Одним з показників є співвідношення вага-ріст. Найчастіше використовуються ваго-ростові індекси. Найпростішим з них є індекс Брока, згідно з яким нормальна вага (кг) дорівнює зменшеному на 100 зросту (см). Хоча ця формула має ряд модифікацій, проте вона не враховує вік людини, конституційні та статеві особливості.

Дуже популярна в світі методика обчислення індексу ваги (Body mass index, BMI) запропонована бельгійським математиком А. Quetelet [27]. Індекс ваги вираховується шляхом поділу маси тіла (кг) на квадрат зросту (m^2). За даними ВООЗ фізіологічна норма індексу коливається в межах 18,5-24,9 kg/m^2 . Значення індексу від 25,0 до 29,9 вказують на невеликий надлишок ваги, від 30,0 до 35 – на наявність зайвої ваги, від 35 до 40 – на значне ожиріння та наявність великого ризику для здоров'я. У цьому випадку повнота може привести також до особливої гормональної патології – так званого синдрому нечутливості до лептину. Як було недавно виявлено [14], існує дуже ефективний гормональний контроль рівня жирового обміну. Жирова тканина, яка складається з особливих клітин (адипоцитів), є також ендокринним органом. Адипоцити виділяють в кров пептидні гормони – лептини (грец. – leptos – тонкий), які діють на жировий обмін через центри гіпоталамуса.

Небезпека надмірної ваги для здоров'я виникає внаслідок виникнення додаткових навантажень на окремі системи організму та патологічних змін (зростає ризик остеопорозу, гіпертонії, збільшується вміст тригліцеридів і холестерину, спостерігається порушення вуглеводного і жирового обміну, діабет-2 та ін.). Надмірна вага підвищує навантаження на серце навіть у стані спокою (аритмії серця, поява варикозних вен). Наявність великих відкладів жирової тканини тісно корелює з ризиком ракових захворювань кишківника, молочної залози та розвитком слабоумства (хвороба Альцгеймера). У дослідженнях, що тривали 10 років і охопили 2 млн. мешканців Норвегії, встановлений тісний зв'язок смертності із надлишковою масою тіла [3, 34]. Виявлено, що в інтервалі індексу маси тіла від 20-25 кг/м² (який відповідає "ідеальній" масі тіла) смертність була найменшою (Рис. 1). Особливо чітко залежність між смертністю та індексом маси тіла проявляється у молодших вікових групах (Рис. 2).

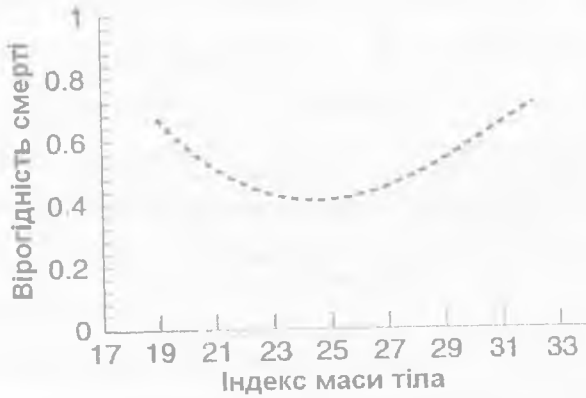


Рис. 1. Залежність між індексом маси тіла і смертністю чоловіків віком 50 років протягом 30-річного періоду спостереження [31].

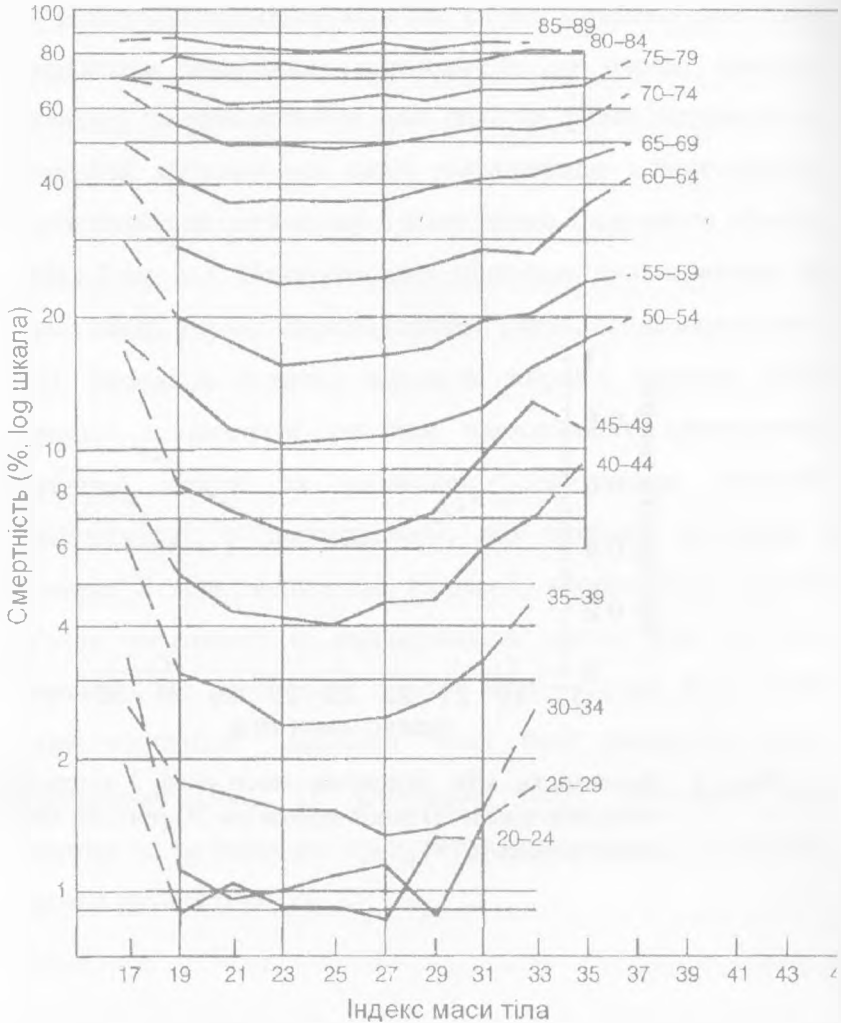


Рис. 2. Залежність між індексом маси тіла і смертністю чоловіків різних вікових груп протягом 10-річного періоду спостереження [31].

3. ФІЗІОЛОГІЧНІ КРИТЕРІЇ РІВНЯ ЗДОРОВ'Я

Підходи до оцінки стану здоров'я необхідно розглядати комплексно з врахуванням антропометричних даних, рівня фізичної працездатності (ФП), аеробних можливостей, стану КРС, стану імунної системи та ін. Об'єктивний підхід до оцінки рівня здоров'я повинен бути кількісним.

Виходячи з концепції фізичного (соматичного) здоров'я, Г.А.Апанасенко [2, 3] розробив простий метод оцінки здоров'я, заснований на застосуванні доступних для дослідження показників (табл. 1). Оцінка показників виконується в балах на основі індексів, обчислених за даними зросту, маси тіла, сили м'язів, ЧСС та максимального артеріального тиску.

За оцінкою Г.Л.Апанасенка "безпечний" рівень здоров'я починається з показника у 14 балів (IV-V рівні). В "безпечній" зоні практично не реєструються ендогенні фактори ризику, хронічні форми неінфекційних захворювань. Простота та доступність методик оцінки показників та використання методу індексів підвищує практичну значимість такого підходу та дозволяє широко використовувати його як експрес-метод для орієнтовної оцінки стану здоров'я. Проте запропонований підхід дуже близький до "нормативного", що дещо зменшує його теоретичну цінність.

Таблиця 1

Експрес-оцінка рівня соматичного здоров'я
(Апанасенко Г., А., 2005)

Показники	Рівень здоров'я				
	Низький	Нижче середнього	Середній	Вище середнього	Високий
Чоловіки					
Маса тіла/зріст, кг/м ²	<18,9 (-2)	19,0-20,0 (-1)	20,1-25,0 (0)	25,1-28,0 (-1)	≥28 (-2)
ЖЄЛ/маса тіла, мл/кг	50 (-1)	51-55 (0)	56-60 (1)	61-65 (2)	66 (3)
Динамометрія кисті/маса тіла, %	≤60 (-1)	61-65 (0)	66-70 (1)	71-80 (2)	>80 (3)
ЧСС АТсист/100	≥111 (-2)	95-100 (-1)	85-94 (0)	70-84 (3)	≤69 (5)
Час (хв.) відновлення ЧСС після 20 присідань за 30 с	≥3 (-2)	2-3 (1)	1,30-1,59 (3)	1,00-1,29 (5)	<59 (7)
Загальна оцінка рівня здоров'я (сума балів)	≤3	4-6	7-11	12-15	16-18

Продовження таблиці 1.

Жінки					
Маса тіла/зріст, кг/м ²	<16,9 (-2)	17,0-18,6 (-1)	18,1-23,8 (0)	23,9-26,0 (-1)	≥26,1 (-2)
ЖЄЛ/маса тіла, мл/кг	<40 (-1)	41-45 (0)	46-50 (1)	51-56 (2)	<56 (3)
Динамометрія кисті/маса тіла, %	<40 (-1)	41-50 (0)	51-55 (1)	56-60 (2)	>61 (3)
ЧСС АТсист/100	>111 (-2)	95-110 (-1)	85-94 (0)	70-84 (3)	≤69 (5)
Час (хв.) відновлення ЧСС після 20 присідань за 30 с	>3 (-2)	2-3 (1)	1,30-1,59 (3)	1,00-1,29 (5)	59 (7)
Загальна оцінка рівня здоров'я (сума балів)	<3	4-6	7-11	12-15	16-18

Примітка: в дужках наведена оцінка показника у балах.

Є.О.Яремком [24] запропонована модель оцінки стану здоров'я, яка включає: антропометричні дані, показники периферичної крові, кардіогемодинамічні та спіроергометричні показники, а також характеристику стану імунної системи з визначенням рівня імуноглобулінів IgA і IgG в крові. Методика вимагає складних клініко-фізіологічних методів дослідження, що обмежує широке використання в спорті та масових медичних дослідженнях.

Для оцінки здоров'я використовуються також різні програмно-діагностичні апаратні комплекси. Зокрема,

комп'ютерна система Valeo Test спрямована на експрес-діагностику і моніторинг основних функціональних та психофізіологічних параметрів здоров'я людини. Заслуговує також уваги багатокомпонентна програма діагностики здоров'я "Аполлон", запропонована Е.Г.Мільнером [16]. Програма дозволяє визначити не тільки рівень здоров'я і фізичну підготовленість за п'ятибальною шкалою оцінок, але й "ідеальну" масу тіла та індивідуальну програму оздоровчого тренування.

Для оцінки здоров'я важливе значення мають фізіологічні показники, які засновані на оцінці стану КРС та рівня фізичної працездатності (ФП) [4-7, 12, 13, 15, 20].

Згідно підходу, запропонованого Н.М.Амосовим [1], рівень здоров'я можна визначити як суму резервних можливостей основних функціональних систем організму, зокрема серцево-судинної системи. Для оцінки здоров'я ним запропоноване поняття "коефіцієнт резерву" – співвідношення максимального рівня функціонування системи до рівня функціонування у стані спокою. Особливо важливим показником здоров'я за даними Н.М.Амосова, є коефіцієнт резерву основного показника КРС – хвилинного об'єму крові (ХОК). Відомо, що здатність збільшувати ХОК у кваліфікованих спортсменів значно вища (від 4-5 до 20 л/хв.), ніж в осіб, що ведуть сидячий спосіб життя (до 6-8 л/хв.).

Таким чином, коефіцієнт резерву є важливою характеристикою стану здоров'я і може суттєво зростати в процесі тренування.

Для оцінки рівня функціонування системи кровообігу і визначення її адаптаційного потенціалу (АП) А.П.Берсеневою (1986, 1991) був запропонований індекс функціональних змін (ІФЗ) [5]. Для розрахунку ІФЗ (бали) необхідні дані ЧСС (уд./хв.), систолічного (АТс, мм.рт.ст.) та діастолічного (АТд, мм.рт.ст.) артеріального тиску, маси тіла (МТ, кг), зросту (Р, см) та віку (В, роки). Розрахунок здійснюється за формулою:

$$\text{АП} = 0,011 \cdot \text{ЧСС} + 0,014 \cdot \text{АТс} + 0,008 \cdot \text{АТд} + 0,014 \cdot \text{В} + 0,009 \cdot \text{МТ} + 0,009 \cdot \text{Р} - 0,27$$

Дана формула розрахунку АП отримана в результаті застосування множинного регресійного аналізу на інформативному масиві у 2000 досліджуваних.

Значення ІФЗ дозволяють виділяти 4 групи осіб, відповідно до запропонованої нижче класифікації рівнів здоров'я (табл. 2). Для оцінки рівня функціонування використовується термінологія теорії адаптації (задовільна адаптація, напруження механізмів адаптації, незадовільна адаптація, зрив адаптації).

Таблиця 2.

Оцінка рівня функціонування системи кровообігу
(адаптаційного потенціалу) по ІФЗ [5].

Рівень функціонування (адаптаційний потенціал)	Значення ІФЗ (у балах)
Задовільна адаптація	до 2,59
Напруження механізмів адаптації	2,60 - 3,09
Незадовільна адаптація	3,10 - 3,49
Зрив адаптації	3,50 і вище

Оцінка рівня адаптаційного потенціалу системи кровообігу забезпечує системний підхід до вирішення задачі кількісного вимірювання рівня здоров'я.

Фізіологічні підходи для оцінки здоров'я базуються на дослідженні впливу на організм різноманітних фізичних навантажень. Найпростішим серед них є проба Мартіне [20], що дозволяє використати у якості показника ФП та соматичного здоров'я зміну ЧСС під впливом фізичного навантаження. Приріст пульсу менш ніж на 25% по відношенню до його вихідної величини вказує на відмінну ФП, 25-50% – на добру, 50-75% – на задовільну ФП. Існує також підхід, що враховує особливості реакції серцево-

судинної системи на ФН на основі змін рівня артеріального тиску (АТ). Нормотонічний тип характеризується збільшенням систолічного і зменшенням (або відсутністю змін) діастолічного артеріального тиску. ЧСС зростає не більш ніж на 100%. Цей тип наявний у випадку сприятливої реакції на ФН та вказує на хороший рівень здоров'я.

3.1. ФІЗИЧНА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ, МЕТОДИ ЇЇ ВИМІРЮВАННЯ ТА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ІЗ СТАНОМ ЗДОРОВ'Я

Об'єктивними критеріями оцінки стану здоров'я можуть слугувати рівень фізичної працездатності (ФП) та максимальне споживання кисню (МСК). Між даними показниками виявлений тісний кореляційний зв'язок ($r \geq 0,90$). Як ФП, так і МСК залежить від ряду факторів, зокрема генетичних передумов, стану КРС, фенотипічних впливів, вікових особливостей та ін.

Рівень загальної фізичної працездатності (ЗФП) – один із головних показників стану здоров'я людини і кумулятивного ефекту спортивної натренованості. У науковій літературі наведено багато різних і неоднозначних визначень ЗФП. Зокрема, під ЗФП можна розуміти здатність людини виконувати фізичну роботу у межах зворотних функціональних змін в організмі. Підвищення ЗФП супроводжується комплексом морфологічних та

функціональних адаптаційних змін у різних системах організму. Таким чином, ЗФП – поняття комплексне і залежить від стану здоров'я, антропометричних показників (маси тіла та її компонентів, сили м'язів і ін.), рівня потужності механізмів аеробного і анаеробного енергозабезпечення, психологічного стану, витривалості м'язів та ін. Оскільки тривалість та інтенсивність роботи м'язів лімітується постачанням до них кисню, ЗФП в основному визначається кардіо-респіраторною продуктивністю. Визначення ЗФП широко використовується у спортивній та клінічній фізіології.

Визначення рівня ЗФП у людини здійснюється шляхом застосування тестів з максимальними та субмаксимальними потужностями фізичних навантажень. Методи тестування детально викладені в спеціальних посібниках [4, 13, 15, 19, 20, 25]. У стандартних тестах, як правило, використовують велоергометричні навантаження (потужність регулюється величиною опору і темпом обертання педалей); степ-тест (потужність визначається висотою сходинки і темпом сходжень) і біг на тредбані (імітація природного бігу при відповідній швидкості руху і куті нахилу "доріжки"). Потужність навантаження вимірюється в кгм/хв., ватах (Вт) або в перерахунку на одиницю маси – у Вт/кг. Методики

виконання велосергометричних та степергометричних тестів регламентовані рекомендаціями експертів ВООЗ.

Показники ФП можна визначати прямим чи опосередкованим методами. Прямі методи вимірювання ФП ґрунтуються на визначенні максимальної потужності чи максимального обсягу фізичної роботи. Одним з найпростіших прямих методів визначення ЗФП є 12-хвилинний тест Купера [16]. У цьому випадку досліджуваний повинен пробігти якомога більшу відстань за 12 хв. Тест рекомендується застосовувати після двотижневої підготовки. Перед тестом необхідно провести розминку. При неприсмних відчуттях тестування слід припинити. Оцінка фізичної працездатності проводиться на основі вимірювання подоланої дистанції за спеціальними таблицями (табл. 3).

Таблиця 3

Показники і оцінка результатів 12-хв тесту
для чоловіків до 30 років [14].

Відстань (км)	Оцінка результатів
< 1,5	дуже погано
1,50-1,84	погано
1,85-2,15	задовільно
2,16-2,64	добре
2,65 і дальше	відмінно

При використанні прямих методів визначення ФП з допомогою ступенево зростаючого навантаження на

велоергометри визначають максимально можливу потужність та тривалість роботи. З врахуванням толерантності до ФП комітет експертів ВООЗ рекомендує в залежності від віку, статі, стану здоров'я наступні навантаження: початкове велоергометричне навантаження для жінок 25 Вт, для чоловіків – 50 Вт, для молодих тренуваних осіб – 100 Вт, для хворих – 10 Вт для кожного ступеня навантаження. Досягнута остання "ступінь" потужності роботи є показником ФП (Вт).

До прямих методів визначення ФП відносять також тест Новацкі П. (Nowacki P.E., 1978) [30], який більш поширений у практиці спорту вищих досягнень. Потужність першої сходинки навантаження на велоергометри – 1 Вт/кг. Через кожні 2 хв. потужність навантаження збільшується на 1 Вт/кг. Навантаження виконують до відмови, при оцінюванні враховують тривалість роботи.

Опосередковані методи визначення ФП базуються на вивченні реакції серцево-судинної системи організму на фізичне навантаження. Найбільш поширені та інформативні методи визначення ФП – Гарвардський степ-тест (розроблений в США) та тест PWC₁₇₀. Тест PWC₁₇₀ (від перших букв англійського терміну Physical Working Capacity – фізична працездатність при ЧСС 170 уд./хв.) базується на лінійній залежності між ЧСС і потужністю роботи та відображає оптимальну мобілізацію можливостей серця.

Найбільш поширена методика визначення PWC_{170} – методика Sjostrand в модифікації Карпмана В.Л. [13], яка ґрунтується на прогнозуванні ФП при ЧСС 170 уд./хв. Зручність цього методу полягає у тому, що ЧСС як параметр легко реєструється, лінійно пов'язаний з 'потужністю роботи' та кількістю спожитого кисню (VO_2).

3.1.1. ВИЗНАЧЕННЯ PWC_{170} МЕТОДОМ СТЕПЕРГОМЕТРІЇ.

Тест базується на дослідженні ЧСС при виконанні за допомогою степ-тесту двох 5-хвилинних субмаксимальних ФН різної потужності. Інтервал між ними повинен складати 3 хв. Під час степ-тесту потужність роботи регулюється зміною темпу виконання навантаження.

Для дослідження використовується сходинки висотою 40 см (для чоловіків) і 30 см (для жінок). Один цикл рухів включає:

- а) крок однією ногою на сходинку;
- б) крок другою ногою з підйомом на сходинку;
- в) крок ногою назад;
- г) крок другою ногою назад і повернення у вихідне положення.

Темп виконання вправи задають метрономом. Для отримання оптимальних значень тесту PWC_{170} потужність першого навантаження підбирають так, щоб ЧСС досягла

100-120 уд./хв. Для здорових осіб зрілого віку цей темп становить 20 циклів на хв. (метроном встановлюють на 80 уд./хв). Потужність другого навантаження повинна забезпечити зростання ЧСС до 140-170 уд./хв (середній темп – 30 циклів на хв., метроном – на 120 уд./хв). Під час виконання тесту ЧСС не повинна перевищувати 170 уд./хв.

Підрахунок ЧСС ведуть протягом останніх 10 с виконання тесту чи одразу після його припинення. Реєструють ЧСС після першого (Π_1) і другого (Π_2) навантаження.

Для розрахунку потужності роботи під час першого та другого навантаження (W_1 і W_2) використовують формулу:

$$W = 1,33 \cdot P \cdot h \cdot K$$

1,33 – коефіцієнт;

P – маса тіла (кг);

h – висота сходинки (м);

K – кількість сходжень за 1 хв.;

W – потужність навантаження у (кгм/хв.).

Розрахунок PWC_{170} виконується за формулою Карпмана В.Л.:

$$PWC_{170} = W_1 + (W_2 - W_1) \cdot (170 - \Pi_1) / (\Pi_2 - \Pi_1)$$

W_1 і W_2 – потужність першого і другого навантаження;

П₁ - П₂ - ЧСС після 1-го і 2-го навантаження.

Існують модифікації тесту PWC для різних вікових груп. У дітей та осіб старших вікових груп ФП оцінюється при менших величинах ЧСС. Оскільки з віком функціональні можливості КРС знижуються, то показниками ФП у осіб 40 років виступає PWC₁₅₀, 50 років – PWC₁₄₀, 60 років – PWC₁₃₀.

За даними В.Л.Карпмана у нетренованих чоловіків величина PWC₁₇₀ коливається в межах 800-1100 кгм/хв. (140-188 Вт.), у спортсменів, що займаються циклічними видами спорту – 1100 - 1900 кгм/хв. (250-330 Вт). У жінок величина PWC₁₇₀ складає близько 60 відсотків від показника чоловіків.

3.1.2. ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ГАРВАРДСЬКОГО СТЕП-ТЕСТУ

Цей тест поширений в США і розрахований на оцінку ФП у здорових молодих людей, використовується як високоінформативний показник здоров'я, витривалості та рівня натренованості спортсмена.

Гарвардський степ-тест полягає у виконанні циклічних підйомів на сходинку висотою 35-50 см (табл. 4) протягом 5-ти хв. у темпі 30 сходжень за 1 хв. Після закінчення тесту у досліджуваного сидячи протягом 30 с на 2-й, 3-й і 4-й хвилини відновлення підраховується ЧСС.

Висота сходинок та тривалість Гарвардського степ-тесту
для різних категорій населення.

Групи досліджуваних	Висота сходинок (см)	Час підйомів (хв.)
чоловіки (старші 18 р.)	50	5
жінки (старші 18 р.)	50	5
юнаки і підлітки (12-18 р.)	45	4
дівчата (12-18 р.)	40	4
хлопчики і дівчатка (8-11 р.)	35	3
хлопчики і дівчатка (до 8 р.)	35	2

На основі отриманих значень пульсу вираховують індекс Гарвардського степ-тесту (ІГСТ):

$$\text{ІГСТ} = (t \cdot 100) / (П_2 + П_3 + П_4) \cdot 2$$

t – час виконання тесту (с);

$П_2$ – ЧСС за 30 с на 2-й хв. відновлення (60-90 с);

$П_3$ – ЧСС за 30 с на 3-й хв. відновлення (120-150 с);

$П_4$ – ЧСС за 30 с на 4-й хв. відновлення (180-210 с);

Якщо через втому досліджуваний відстає від заданого темпу метронома протягом 20 с. – дослідження закінчується і фіксується його тривалість. Отриманий результат включають у скорочену формулу розрахунку:

$$\text{ІГСТ} = (t \cdot 100) / (П_2 \cdot 5,5)$$

$П_2$ – ЧСС протягом 30 с. 2-ої хвилини відновлення.

Величина ІГСТ характеризує швидкість відновлення пульсу у відсотках після виконання фізичних навантажень у порівнянні з вихідним рівнем. На основі отриманого ІГСТ здійснюється оцінка фізичної працездатності (табл. 5).

Таблиця 5

Оцінка фізичної працездатності за даними Гарвардського степ-тесту.

ІГСТ	Рівень ЗФП
менше 55	низький
55-64	нижче середнього
65-79	середній
80-89	добрий
90 і більше	відмінний

У спортсменів значення ІГСТ вищі, ніж у нетренованих осіб. Особливо великі показники ІГСТ спостерігаються у представників циклічних видів спорту, у яких найбільша увага приділяється розвитку витривалості.

Відомий тісний взаємозв'язок між ФП та МСК. Оцінка функціонального стану (як резерву здоров'я) на основі показників тестів PWC_{170} та МСК представлена в таблиці 6.

Оцінка функціонального стану людини
на основі показників МСК ($\text{мл кг}^{-1} \text{хв}^{-1}$) і
 PWC_{170} ($\text{кгм кг}^{-1} \text{хв}^{-1}$)

(за даними Ткаченко Б.Н., 1994)

Вік	Показник	Функціональний стан				
		дуже поганий (I гр.)	поганий (II гр.)	задовільний (III гр.)	добрий (IV гр.)	відмінний (V гр.)
Жінки						
20-29	МСК	< 29	29-34	35-43	44-48	> 48
	PWC_{170}	< 10,4	10,4-12,5	12,6-15,7	15,8-17,5	> 17,5
30-39	МСК	< 28	28-33	34-41	42-47	> 47
	PWC_{170}	< 10,0	10,0-12,1	12,2-15,0	15,1-15,9	> 16,9
40-49	МСК	< 26	26-31	32-40	41-45	> 45
	PWC_{170}	< 9,0	9,0-11,4	11,5-14,7	14,5-16,2	> 16,2
50-59	МСК	< 22	22-28	29-36	37-41	> 41
	PWC_{170}	< 7,9	7,9-10,3	10,4-13,2	13,3-14,8	> 14,8

Продовження таблиці 6.

Чоловіки						
20-29	МСК	< 39	39-43	44-51	52-56	> 56
	PWC ₁₇₀	< 14,6	14,6-16,4	16,5-19,1	19,2-20,9	> 20,9
30-39	МСК	< 35	35-39	40-47	48-51	> 51
	PWC ₁₇₀	< 13,1	13,1-14,9	15,0-17,9	18,0-19,4	> 19,4
40-49	МСК	< 33	31-35	36-43	44-47	> 47
	PWC ₁₇₀	< 11,6	11,6-13,4	13,5-16,4	16,5-17,9	> 17,9
50-59	МСК	< 26	26-32	33-39	40-43	> 43
	PWC ₁₇₀	< 9,8	9,8-11,9	12,0-14,9	15,0-16,4	> 16,4
60-69	МСК	< 21	21-26	27-35	36-39	> 39
	PWC ₁₇₀	< 8,2	8,2-10,0	10,1-13,5	13,6-14,9	> 14,9

Як видно з табл. 6 у жінок віком 20-29 р. функціональний стан може вважатись поганим при показниках МСК менших, ніж $29 \text{ мл} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{хв}^{-1}$ та значеннях PWC₁₇₀ нижчих за $10,0 \text{ кгм} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{хв}^{-1}$ (у чоловіків відповідно – $39 \text{ мл} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{хв}^{-1}$ та $14,6 \text{ кгм} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{хв}^{-1}$). Відмінний функціональний стан характеризується величинами МСК понад $48 \text{ мл} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{хв}^{-1}$ і PWC₁₇₀ понад $17,5 \text{ кгм} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{хв}^{-1}$ (у чоловіків відповідно – понад 56 та 20,9). Зі збільшенням віку досліджувані показники істотно зменшуються.

Таким чином, наведені дані свідчать про тісний взаємозв'язок між рівнем здоров'я, ФП та аеробними можливостями організму.

3.2. АЕРОБНІ МОЖЛИВОСТІ ОРГАНІЗМУ ТА ЇХНЯ РОЛЬ У ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ СОМАТИЧНОГО ЗДОРОВ'Я

На сьогодні відомий тісний взаємозв'язок між рівнем соматичного здоров'я та аеробними можливостями організму [14].

Основними факторами, які визначають аеробні можливості організму, є потужність киснево-транспортної системи, яка залежить від можливостей апарату зовнішнього дихання (хвилинного об'єму дихання), продуктивності серцево-судинної системи (хвилинного об'єму крові), кисневої ємності крові (визначається вмістом гемоглобіну) та швидкості утилізації O_2 в м'язах, а також активності ферментів процесів окислення. В цілому рівень МСК залежить від функціонального стану КРС. Тому поняття біологічної суті соматичного здоров'я найточніше характеризується показниками аеробної продуктивності, яка є фізіологічною основою ФП та витривалості і детермінована функціональними резервами КРС. З фізіологічної точки зору цей показник характеризує стан дихальної, серцево-судинної систем, крові та можливості систем аеробного метаболізму організму.

Аеробні можливості організму є важливим фактором, який визначає загальну фізичну працездатність (ЗФП). Максимальна потужність аеробних систем енергозабезпечення організму оцінюється величиною максимального споживання кисню у л/хв або $\text{мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{хв}^{-1}$. МСК – це найбільша кількість кисню, яку організм здатний спожити протягом 1 хв. під час виконання фізичного навантаження. МСК є інтегральним показником стану КРС та системи транспорту кисню в цілому. У спеціальній літературі МСК позначають також як $\text{VO}_2 \text{ max}$.

Рівень МСК переважно визначається генетичними факторами, проте може підвищуватись внаслідок тренування на витривалість. Можливий діапазон збільшення – від 4% до понад 20%. Для досягнення максимально можливого МСК необхідно 8–12 місяців інтенсивних тренувальних навантажень. Неодноразово було продемонстровано, що завдяки регулярному тренуванню молоді і здорові та відносно нетреновані особи здатні підвищувати рівень МСК (на 15–20%). Таке підвищення МСК обумовлено змінами в КРС та механізмах утилізації кисню в тканинах. Величина МСК залежить від статі, віку, фізичної підготовленості особи та коливається в широких межах в залежності від натренованості та спортивної спеціалізації. Найбільші

величини МСК у спортсменів, які спеціалізуються в циклічних видах спорту на витривалість.

У нетренованих чоловіків МСК становить 2,5-3,1 л/хв або 42-44 мл·кг⁻¹·хв⁻¹ (у жінок – на 17-25% нижче). У спортсменів рівень МСК вищий – 3-5,5 л/хв, у спортсменів екстракласу може досягати 6,5 л/хв (80-90 мл·кг⁻¹·хв⁻¹).

Окрім МСК важливим показником аеробних можливостей є рівень порогу анаеробного обміну (ПАНО), який відображає ефективність аеробного процесу. ПАНО відповідає такій інтенсивності ФН, при якій кисню вже не вистачає для повного енергозабезпечення і різко посилюються процеси анаеробного метаболізму. При виконанні ФН на рівні ПАНО концентрація молочної кислоти у крові зростає до 4,0 мМ, що є біохімічним критерієм ПАНО. З ростом аеробних можливостей рівень ПАНО може досягти 75-80% МСК, в результаті чого значно зростає потужність ФН при тій же концентрації лактату в крові (до 4 мМ).

Величину ПАНО можна визначати у Вт, одиницях споживання кисню V_{O_2} (мл/хв), та у відсотках від МСК. У сучасній літературі наявні різні теоретичні уявлення про ПАНО та фізіолого-біохімічні підходи до його визначення. Виділяють термін "лактатний поріг" (ЛП) та "вентиляційний поріг" (ВП).

При класифікації тренувальних навантажень аеробної спрямованості з метою індивідуалізації їхнього тренувального ефекту необхідно враховувати критичні точки потужності таких навантажень [17]. У першу чергу беруть до уваги точку ПАНО, яка визначається потужністю навантаження на рівні лактатного порогу (4 мМ). Опосередкований критерій визначення ПАНО полягає у визначенні потужності ФН, при якій досягається найнижчий вентиляційний еквівалент O_2 (співвідношення ХОД до V_{O_2}).

Для визначення рівня ПАНО був запропонований також метод експрес-діагностики Душаніна С.А., заснований на реєстрації диференціальної ЕКГ у грудних відведеннях V_2 і V_6 у стані спокою. Величину ПАНО та частоту серцевих скорочень на рівні ПАНО ($ЧСС_{ПАНО}$) визначають за такими формулами:

$$ПАНО = (V_6 / MT) / ((V_6 / MT) + V_2) \cdot 100$$

$$ЧСС_{ПАНО} = ПАНО + V_6 + V_2$$

У цих формулах ПАНО – величина ПАНО (% від МСК, мл/хв·кг), V_6 – співвідношення $R \cdot 100 / (R+S)$ у відведенні V_6 (%), MT – маса тіла (кг), V_2 – співвідношення $R \cdot 100 / R+S$ у відведенні V_2 (%), R - амплітуда зубця R на диференціальній ЕКГ (мм), S - амплітуда зубця S на диференціальній ЕКГ (мм), $ЧСС_{пано}$ – частота серцевих скорочень на рівні ПАНО (уд/хв).

За даними С.А.Душаніна в нормі у дорослої людини величина ПАНО складає близько 50% від МСК, а ЧСС_{ПАНО} - до 150 уд./хв. У спортсменів межа ПАНО вища – відповідно понад 60% МСК та понад 150 уд./хв.

Одним з способів визначення рівня ПАНО є методика, запропонована Н.І.Волковим з співавторами (1975). Метод достатньо репрезентативний, його недоліки полягають у необхідності спеціалізованого обладнання (газоаналізатором), тривалому проведенні тесту, складності розрахунку показників вентиляційного порогу, тощо.

Запропоновані також прості та інформативні методи визначення ПАНО з використанням субмаксимального тесту PWC_{170} з подальшим розрахунком величин алактатної та лактатної анаеробної ємкості (%), МСК та ПАНО [23].

Отже, чим вища величина ПАНО, тим триваліший час людина може працювати в аеробних умовах енергозабезпечення і виконувати фізичну роботу на оптимальному рівні.

Інформація про рівень ПАНО має істотне значення для вирішення діагностичних і прогностичних задач у спортивній фізіології, спортивній медицині і реабілітації.

Аеробну продуктивність можна оцінити за допомогою функціональних тестів із застосуванням ФН різної

потужності. Для визначення МСК використовують *прямі і непрямі* методи.

3.2.1. МЕТОДИКИ ПРЯМОГО ВИЗНАЧЕННЯ МСК

Для *прямого* визначення МСК використовують ФН ступінчасто-зростаючої потужності (до відмови), які забезпечують максимальну мобілізацію киснево-транспортної системи. Під час виконання тесту проводяться вимірювання легеневої вентиляції, а видихуване повітря досліджується за допомогою газоаналізатора. Сучасні автоматичні газоаналізатори (Spirolit та ін.) дозволяють здійснювати безперервну реєстрацію концентрації O_2 і CO_2 у видихуваному повітрі, легеневу вентиляцію, дихальний коефіцієнт та ін. показники. При максимальних навантажувальних тестах інтенсивність навантаження зростає до такого рівня, коли подальше зростання потужності не супроводжується значним підвищенням споживання O_2 (більше, ніж на 100 мл/хв.). Ця величина відповідає МСК. Відносним показником граничного фізичного напруження є максимально допустима величина ЧСС (200-220 уд./хв. у тренуваних молодих осіб). За даними В.Л.Карпмана [13] надійність цього методу не перевищує 50%. Досягнення максимального рівня використання кисню є дуже важкою процедурою, доступною лише для добре тренуваних

спортсменів. У той же час, застосування таких фізичних навантажень з метою діагностики забезпечує максимальну інтенсифікацію фізіологічних систем організму, що дозволяє одержати уявлення про діапазон резервних можливостей організму та виявити приховані прояви недостатності функцій, особливо КРС.

Таким чином, прямий метод визначення МСК дуже складний, вимагає максимального напруження при виконанні ФН граничної потужності та спеціального дорогого обладнання. Цей метод не може бути рекомендованим для широкого застосування і є небезпечним для осіб з латентними формами серцево-судинних захворювань.

3.2.2. МЕТОДИКИ НЕПРЯМОГО ВИЗНАЧЕННЯ МСК

Більше поширення отримали *непрямі методи* визначення МСК, які засновані на залежності рівня МСК від величини ЧСС при виконанні ФН субмаксимальної потужності. Найбільш поширені наступні тестові навантаження: степергометрія (підйом на сходинку різної висоти), велоергометрія (імітація їзди на велосипеді), біг на тредбані (біговій доріжці). Висока інформативність ЧСС пов'язана із лінійним зростанням цього показника (у діапазоні 120-180 уд/хв.) при збільшенні потужності ФН.

Максимальні значення ЧСС досягаються при такій інтенсивності роботи, при якій досягається МСК. Контроль за інтенсивністю ФН за даними ЧСС обмежений специфічним діапазоном навантажень, при яких домінує аеробний метаболізм.

Використовуючи показник ЧСС слід пам'ятати, що лінійність взаємозв'язку між ЧСС та потужністю ФН втрачається у анаеробній зоні (понад 180 уд./хв), показник досягає максимального рівня при навантаженні, яке співпадає по інтенсивності з МСК. Також недостатня надійність використання ЧСС у стані спокою як показника аеробної потужності. Як правило, у стані спокою низькі значення ЧСС опосередковано вказують на великий систолічний об'єм (СО), який асоціюється із великими резервами збільшення хвилинного об'єму крові (ХОК) та високими аеробними можливостями. Проте, не зважаючи на наявність значної кількості досліджень автономної регуляції серця та щільності розташування рецепторів у серці, на сьогодні немає єдиної думки відносно механізмів, які обумовлюють зниження ЧСС в стані спокою під впливом тренування. Окрім того, все ще недостатньо даних для кількісного визначення очікуваного ЧСС при визначенні МСК. За даними Д.Мак-Дугалла та ін. [15] у деяких спортсменів з високим рівнем МСК (70-80

мл·кг⁻¹·хв⁻¹) у стані спокою ЧСС не відрізняється від показника нетренованих осіб (70-75 уд./хв).

Характеристика зміни ЧСС під впливом ФН протягом багатьох років використовувались різними авторами під час розробки методів тестування аеробних можливостей, зокрема непрямого визначення МСК, у наукових та прикладних дослідженнях у сфері фізіології спорту та рухової активності. До таких методів належить визначення МСК за допомогою номограми Астранда-Ріммінга, за формулою Фон Добельна, на основі показників PWC_{170} . Відомі також спроби визначити МСК на основі результатів 12-хвилинного тесту Купера, часу бігу на 3000 м та ін. В останні роки досягнуті значні успіхи у царині фізіологічних, біохімічних, механічних та молекулярних досліджень, які формують основи для більш глибокого розуміння ролі систем транспорту кисню та його використання в забезпеченні високого рівня ЗФП.

Визначення МСК непрямим методом Астранда-Ріммінга (1960).

В практиці масових досліджень серед всіх методів визначення МСК найбільше поширення отримала методика Астранда-Ріммінга (1960). Цей метод дозволяє визначити МСК на основі ЧСС, зареєстрованої в умовах одного субмаксимального навантаження. Потужність ФН при цьому

повинна забезпечувати підвищення ЧСС в діапазоні 120-170 уд./хв.

Велоергометричний варіант передбачає 5-ти хвилинне субмаксимальне навантаження потужністю 75% МСК з ЧСС до 150-160 уд./хв. Значення ЧСС реєструється на останній хвилині роботи. Навантаження припиняється при досягненні субмаксимальних значень ЧСС [19]. Значення МСК (л/хв¹) визначають з врахуванням потужності роботи, значення ЧСС та поправочного коефіцієнта (табл. 7, 8).

Таблиця 7

Вікові поправочні коефіцієнти для визначення МСК
(Astrand P.O., Ryhming J.J., 1960)

Вік (роки)	Поправочний
15	1,1
25	1,0
35	0,87
40	0,83
45	0,78
50	0,75
55	0,71
60	0,68
65	0,65

Визначення максимального споживання кисню
за даними ЧСС при велоергометричних навантаженнях
(Astrand P.O., Ryhming J.J., 1960)

Чоловіки										
ЧСС	Максимальне споживання кисню, л/хв					ЧСС	Максимальне споживання кисню, л/хв			
	300	600	900	1200	1500		600	900	1200	1500
	кгм/ хв	кгм/ хв	кгм/ хв	кгм/ хв	кгм/ хв		кгм/ хв	кгм/ хв	кгм/ хв	кгм/ хв
120	2,2	3,5	4,8	-	-	148	2,4	3,2	4,3	5,4
121	2,2	3,4	4,7	-	-	149	2,3	3,2	4,3	5,4
122	2,2	3,4	4,6	-	-	150	2,3	3,2	4,2	5,3
123	2,1	3,4	4,6	-	-	151	2,3	3,1	4,2	5,2
124	2,1	3,3	4,5	6,0	-	152	2,3	3,1	4,1	5,2
125	2,0	3,2	4,4	5,9	-	153	2,2	3,0	4,1	5,1
126	2,0	3,2	4,4	5,8	-	154	2,2	3,0	4,0	5,1
127	2,0	3,1	4,3	5,7	-	155	2,2	3,0	4,0	5,0
128	2,0	3,1	4,2	5,6	-	156	2,2	2,9	4,0	5,0
129	1,9	3,0	4,2	5,6	-	157	2,1	2,9	3,9	4,9
130	1,9	3,0	4,1	5,5	-	158	2,1	2,9	3,9	4,9
131	1,9	2,9	4,0	5,4	-	159	2,1	2,8	3,8	4,8
132	1,8	2,9	4,0	5,3	-	160	2,1	2,8	3,8	4,8
133	1,8	2,8	3,9	5,3	-	161	2,0	2,8	3,7	4,7
134	1,8	2,8	3,8	5,2	-	162	2,0	2,8	3,7	4,6
135	1,7	2,8	3,8	5,1	-	163	2,0	2,8	3,7	4,6
136	1,7	2,7	3,7	5,0	-	164	2,0	2,7	3,6	4,5
137	1,7	2,7	3,7	5,0	-	165	2,0	2,7	3,6	4,5
138	1,6	2,7	3,6	4,9	-	166	1,9	2,7	3,6	4,5
139	1,6	2,6	3,6	4,8	-	167	1,9	2,6	3,5	4,4
140	1,6	2,6	3,5	4,8	6,0	168	1,9	2,6	3,5	4,4
141	-	2,6	3,5	4,7	5,9	169	1,9	2,6	3,5	4,3
142	-	2,5	3,4	4,6	5,8	170	1,8	2,6	3,4	4,3
143	-	2,5	3,4	4,6	5,7	-	-	-	-	-
144	-	2,5	3,4	4,5	5,7	-	-	-	-	-
145	-	2,4	3,4	4,5	5,6	-	-	-	-	-
146	-	2,4	3,3	4,4	5,6	-	-	-	-	-
147	-	2,4	3,3	4,4	5,5	-	-	-	-	-

Продовження таблиці 8

Жінки											
ЧСС	Максимальне споживання кисню, л/ хв					ЧСС	Максимальне споживання кисню, л/хв				
	300	450	600	750	900		300	450	600	750	900
	кгм/х в	кгм/х в	кгм/х в	кгм/х в	кгм/х в		кгм/х в	кгм/х в	кгм/х в	кгм/х в	кгм/х в
120	2,6	3,4	4,1	4,8	-	146	1,6	2,2	2,6	3,2	3,7
121	2,5	3,3	4,0	4,8	-	147	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6
122	2,5	3,2	3,9	4,7	-	148	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6
123	2,4	3,1	3,9	4,6	-	149	-	2,1	2,6	3,0	3,5
124	2,4	3,1	3,8	4,5	-	150	-	2,0	2,5	3,0	3,5
125	2,3	3,0	3,7	4,4	-	151	-	2,0	2,5	3,0	3,4
126	2,3	3,0	3,6	4,3	-	152	-	2,0	2,5	2,9	3,4
127	2,2	2,9	3,5	4,2	-	153	-	2,0	2,4	2,9	3,3
128	2,2	2,8	3,5	4,2	4,8	154	-	2,0	2,4	2,8	3,3
129	2,2	2,8	3,4	4,1	4,8	155	-	1,9	2,4	2,8	3,2
130	2,1	2,7	3,4	4,0	4,7	156	-	1,9	2,3	2,8	3,2
131	2,1	2,7	3,4	4,0	4,6	157	-	1,9	2,3	2,7	3,2
132	2,0	2,7	3,3	3,9	4,5	158	-	1,8	2,3	2,7	3,1
133	2,0	2,6	3,2	3,8	4,4	159	-	1,8	2,2	2,7	3,1
134	2,0	2,6	3,2	3,8	4,4	160	-	1,8	2,2	2,6	3,0
135	2,0	2,6	3,1	3,7	4,3	161	-	1,8	2,2	2,6	3,0
136	1,9	2,5	3,1	3,6	4,2	162	-	1,8	2,2	2,6	3,0
137	1,9	2,5	3,0	3,6	4,2	163	-	1,7	2,2	2,6	2,9
138	1,8	2,4	3,0	3,5	4,1	164	-	1,7	2,1	2,5	2,9
139	1,8	2,4	2,9	3,5	4,0	165	-	1,7	2,1	2,5	2,9
140	1,8	2,4	2,8	3,4	4,0	166	-	1,7	2,1	2,5	2,8
141	1,8	2,3	2,8	3,4	3,9	167	-	1,6	2,1	2,4	2,8
142	1,7	2,3	2,8	3,3	3,9	168	-	1,6	2,0	2,4	2,8
143	1,7	2,2	2,7	3,3	3,8	169	-	1,6	2,0	2,4	2,8
144	1,7	2,2	2,7	3,2	3,8	170	-	1,6	2,0	2,4	2,7
145	1,6	2,2	2,7	3,2	3,7	-	-	-	-	-	-

Для визначення МСК за номограмою Астранда-Ріммінга використовується одноразове ФН за допомогою степ-тесту тривалістю 5 хвилин. Величину ЧСС визначають на останніх 10 с виконання тесту. Для чоловіків рекомендується сходження на сходику висотою 40 см, для

жінок – 33 см, частота – 22,5 сходжень за 1 хв. (метроном – 90 уд./хв.). Потужність роботи (W) розраховується за формулою:

$$W = P \cdot h \cdot K \cdot 1,33$$

1,33 – коефіцієнт, який враховує роботу підйому на сходинку;

P – маса тіла в кг;

h – висота сходинки в м;

K – кількість сходжень за 1 хв.;

W – потужність навантаження у Вт.

МСК визначається за номограмою (рис. 3) шляхом екстраполяції прямої залежності "навантаження – ЧСС". Для цього з'єднують лінією точку на лівій шкалі, яка відповідає ЧСС у кінці навантаження, із відповідним рівнем потужності виконаної роботи в кгм/хв. на правій шкалі. У точці перетину з центральною шкалою знаходять величину МСК. Наприклад, у досліджуваного при потужності роботи 1200 кгм/хв. в кінці тесту ЧСС досягає рівня 160 уд./хв. В точці перетину цієї лінії з центральною шкалою величина МСК дорівнює – 3,6 л /хв. (див. рис. 3).

Розрахунок МСК непрямим методом має невелику похибку, якою можна знехтувати. Точність методу коливається в межах 6,0%. У цілому метод є доступним і достатньо інформативним для оцінки можливостей систем аеробного енергозабезпечення та фізичного здоров'я людини.

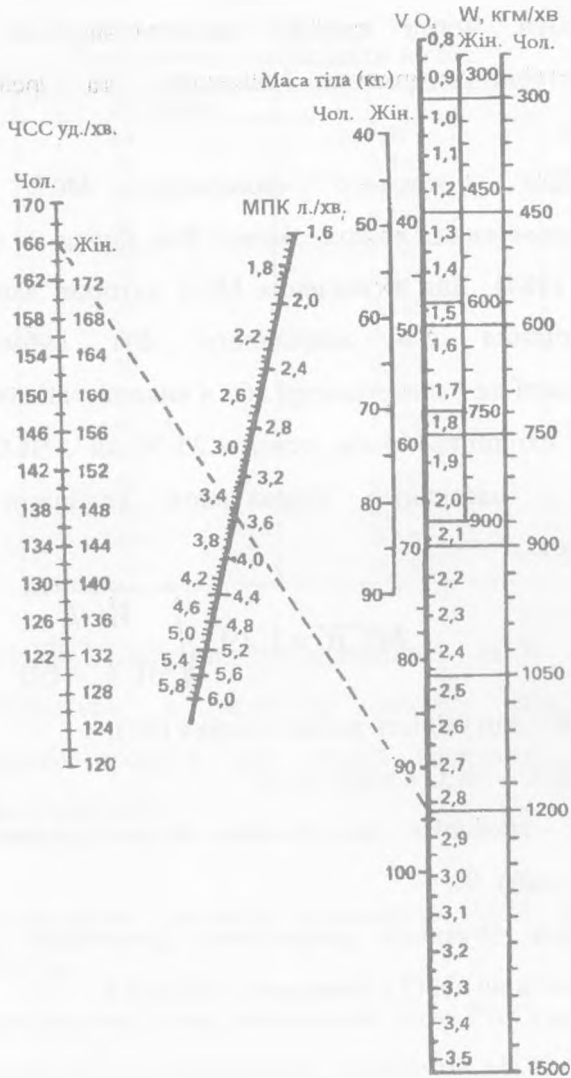


Рис. 3. Номограма І. Астранда для непрямого визначення МПК за ЧСС досягнутої під час стандартного навантаження (W , кг/хв).

Цей метод широко використовується в різних фізкультурно-оздоровчих закладах та реабілітаційних центрах.

Для *непрямого визначення МСК за ЧСС* використовується також метод Фон Добельна (Von Döbeln et al., 1984). Для визначення МСК автором запропоновано використання 5-и хвилинного ФН субмаксимальної потужності на велоергометрі або з використанням степ-тесту (висота сходинки 40 см, темп – 25-30 хв⁻¹, ЧСС – 120-140 уд/хв) з наступним розрахунком величини МСК за формулою:

$$МСК = 1,29 \cdot \sqrt{\frac{W \cdot k}{ЧСС - 60}}$$

W – потужність навантаження (Вт);

ЧСС – ЧСС в кінці тесту;

k – коефіцієнт, що враховує вік досліджуваного ($k = e^{0,00884 \cdot T}$, табл. 9);

Для зручності розрахунку розроблені поправочні коефіцієнти на вік (T), наведені у таблиці 9.

Поправочні коефіцієнти на вік.

Вік (роки)	k
18	0,853
19	0,845
20	0,838
21	0,831
22	0,823
23	0,816
24	0,809
25	0,802
30	0,773
35	0,733
40	0,708
45	0,678
50	0,643
55	0,615
60	0,583
70	0,538

Непрямі методи визначення МСК широко використовуються в практиці спорту для аналізу тренувального процесу, для оцінки фізичного стану та соматичного здоров'я.

Розрахункові методи визначення МСК на основі PWC_{170} .

Враховуючи тісну кореляцію між PWC_{170} та МСК, В.Л.Карпман [13] запропонував визначати МСК за такими формулами:

$$MCK = 1,7 \cdot PWC_{170} + 1240$$

(для представників швидкісно-силових видів спорту)

$$MCK = 2,2 \cdot PWC_{170} + 1070$$

(для представників видів спорту, що тренуються на витривалість)

PWC_{170} – кгм/хв

MCK – мл/хв

Співвідношення між PWC_{170} і MCK можна представити у вигляді таблиці 10.

Таблиця 10

Співвідношення між PWC_{170} і MCK

PWC_{170} (Вт)	MCK (л/хв)	PWC_{170} (Вт)	MCK (л/хв.)
83	2,62	250	4,37
100	2,66	267	4,62
117	2,72	283	4,83
133	2,82	300	5,16
150	2,97	317	5,19
167	3,15	333	5,32
183	3,38	350	5,43
200	3,60	367	5,57
217	3,88	383	5,66
233	4,13	400	5,72

В основу деяких розрахункових методів визначення MCK закладена залежність між MCK , показниками фізичної підготовленості та рівнем функціонального стану КРС.

С.А.Душанін із співавт. (1980) розробив експрес-метод розрахунку МСК за формулою:

$$\text{МСК} = 26 \cdot \sum X_{1-4} + 532$$

X_1 – визначають за віком (за кожний рік життя нараховується 1 бал);

X_2 – визначають на основі ЧСС в стані спокою (за кожне скорочення серця нижче 95 уд./хв. нараховується 1 бал);

X_3 – визначають за ЧСС через 2 хв. після 20-ти присідань за 40 с (відповідність ЧСС вихідній величині – 30 балів; перевищення на 10 уд./хв. – 10 балів, на 20 уд./хв. – 5 балів, більше 20 уд./хв. – з набраної суми віднімають 10 балів);

X_4 – визначають на основі об'єму серця (за кожні 10 см³ вище 270 см³ нараховують 5 балів).

Об'єм серця можна розрахувати за формулою:

$$V = 20 \sqrt{\frac{P}{l}}, \text{ де}$$

V – об'єм серця (см³);

P – маса тіла (г);

l – довжина тіла (см).

Середня похибка розрахунку МСК за методом С.А.Душаніна складає 10%.

С.А.Душаніним запропонована ще одна методика визначення МСК на основі диференціальної ЕКГ. Згідно із цією методикою МСК (мл/хв·кг) розраховуємо за формулою:

$$\text{МСК} = R \cdot 100 / (R+S)$$

У даній формулі: R – амплітуда зубця R' на диференціальній ЕКГ у відведенні V₆ (мм), S - амплітуда зубця S на диференціальній ЕКГ у відведенні V₆ (мм).

Визначення МСК на основі *тесту К.Купера* [14]. Одним з найбільш поширених методів непрямого визначення МСК є розрахунок на основі тесту Купера – 12-хвилинного бігового тесту, за який необхідно подолати максимальну дистанцію. Результати 12-хвилинного тесту тісно корелюють з МСК ($r = 0,897$). Співвідношення між довжиною дистанції та МСК представлені в табл. 11 та 12.

Таблиця 11

Співвідношення між довжиною дистанції у тесті Купера та МСК

Дистанції (км) за 12-хвилинним тестом	МСК мл · хв ⁻¹ кг ⁻¹
<1,6	<25,0
1,6 – 2,0	25,0 – 33,7
2,01 – 2,4	33,8 – 42,5
2,41 – 2,8	42,6 – 51,5
>2,8	> 51,6

Відповідність максимального споживання кисню за
результатами 12-хвилинного бігу (Сергієнко Л.П., 2001)

Біг 12 хв., м	МСК мл хв. ⁻¹ кг ⁻¹	Біг 12 хв., м	МСК мл хв. ⁻¹ кг ⁻¹	Біг 12 хв., м	МСК мл хв. ⁻¹ кг ⁻¹	Біг 12 хв., м	МСК мл хв. ⁻¹ кг ⁻¹
900	18,0	1700	31,6	2500	45,1	3300	58,9
950	18,9	1750	32,4	2550	46,0	3350	59,7
1000	19,7	1800	33,3	2600	46,9	3400	60,6
1050	20,6	1850	34,1	2650	47,8	3450	61,4
1100	21,4	1900	35,0	2700	48,6	3500	62,3
1150	22,3	1950	35,8	2750	49,5	3550	63,1
1200	23,1	2000	36,7	2800	50,4	3600	64,0
1250	24,0	2050	37,5	2850	51,2	3650	64,8
1300	24,8	2100	38,4	2900	52,1	3700	65,7
1350	25,7	2150	39,3	2950	52,9	3750	66,5
1400	26,4	2200	40,1	3000	53,8	3800	67,4
1450	27,4	2250	41,0	3050	54,6	3850	68,2
1500	28,2	2300	41,7	3100	55,5	3900	69,1
1550	29,0	2350	42,5	3150	56,3	3950	69,9
1600	29,9	2400	43,4	3200	57,2	4000	70,8
1650	30,7	2450	44,3	3250	58,0	4050	71,6

Запропонований 12-хвилинний тест супроводжується досить інтенсивним ФН, тому рекомендується його застосовувати тільки для фізично підготовлених осіб. Його можна використовувати лише після 6-8 тижневого фізичного тренування.

Тест Купера має низку недоліків. У зв'язку з цим у Тартуському університеті розроблена модифікація тесту Купера, яка передбачає розрахунок індексу модифікованого тесту Купера (ІМТК) за формулою:

$$\text{ІМТК} = (100 \cdot I) / 2 (\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3)$$

ІМГК – індекс модифікованого тесту Купера (од.)

l – довжина подоланої дистанції (м)

П₁, П₂, П₃ – значення пульсу після 1, 2, 3-ої хвилини відновлення (уд./хв.).

Існують також інші моделі, які дозволяють розрахувати значення МСК за результатами бігу або ходьби на дистанції від 600 до 3000 м [13, 20]

Зі збільшенням довжини дистанції вклад аеробного енергозабезпечення зростає. Непрямі розрахункові визначення МСК прості, зручні, але менш точні і суб'єктивні, тому що результати бігу залежать від мотивації та вольових якостей особи.

3.2.3. ВЗАЄМЗВ'ЯЗОК МІЖ АЕРОБНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ ОРГАНІЗМУ ТА РІВНЕМ СОМАТИЧНОГО ЗДОРОВ'Я

Кількісна оцінка рівня фізичного стану (ФС), загальної фізичної працездатності та аеробних можливостей дає важливі відомості про рівень соматичного здоров'я, що дозволяє вжити необхідних заходів для профілактики захворювань та зміцнення здоров'я. Адже відомо, що розвиток хронічних захворювань відбувається, як правило, на фоні зниження ЗФП та МСК до критичної величини. Зокрема, за даними Г.А.Апанасенка, у групі досліджуваних з високим

рівнем аеробних можливостей (100% належного максимального споживання кисню (НМСК) хронічних захворювань не виявлено. У групі з 91-100% НМСК захворювання виявлені тільки у 6% всіх досліджуваних, у групі з середнім НМСК на рівні 75-90% хронічні захворювання були виявлені уже в 25% досліджуваних [2]. Подібні дані отримані в дослідженнях Е.А.Пирогової [18].

Показник НМСК використовують не лише для характеристики фізичного стану та здоров'я, а також як важливий критерій дозування ФН. Зокрема, Б.П.Преварський та співавтори, (1991) запропонували метод дозування навантажень по відношенню до належної МСК (НМСК) з врахуванням віку, маси тіла та статі. Потужність роботи визначається у відсотках від МСК. Для оцінки ФН рекомендують навантаження з потужністю ступенів 35, 45, 60, 75, 90 і 100% НМСК. Для розрахунку потужностей ФН ними запропонована формула:

$$W = (\text{НМСК} \cdot K) - 250/12$$

W – потужність роботи (Вт);

K – коефіцієнт перерахунку (%НМСК/100). При навантаженні 50% НМСК коефіцієнт K дорівнює 0,50;

250 – рівень основного обміну;

12 – коефіцієнт перерахунку у вати.

Розрахунок НМСК у залежності від віку і статі ведеться за такими формулами:

$$\text{для чоловіків: НМСК} = 52 - (0,25 \cdot \text{вік})$$

$$\text{для жінок: НМСК} = 44 - (0,20 \cdot \text{вік})$$

Для оцінки рівня фізичного стану використовують величину % НМСК, яку розраховують на основі НМСК та фактичного значення МСК за формулою:

$$\% \text{ НМСК} = \text{МСК} / \text{НМСК} \cdot 100\%$$

Оцінка рівня фізичного стану здійснюється згідно запропонованих авторами критеріїв (табл. 13).

Таблиця 13

Визначення рівня фізичного стану по відношенню до належних величин МСК (НМСК)

Рівень фізичного здоров'я	% НМСК
Низький	50-60
Нижче середнього	61-74
Середній	75-90
Вище середнього	91-100
Високий	101 та вище

Отже, "безпечний" рівень здоров'я мають люди з високим рівнем фізичного стану та аеробних можливостей. Зниження рівня ФС, ФП чи МСК супроводжується зменшенням функціональних резервів до рівня, який межує з

патологією. Нами [26] відмічений тісний зв'язок рівня соматичного здоров'я із величиною МСК, рівнем фізичного стану та резервними можливостями організму. Результати дослідження представлені в таблиці 14.

Таблиця 14

Оцінка рівня соматичного здоров'я за рівнем МСК та основними показниками функціонального стану організму (20-24 р.)

Рівень здоров'я (20-24 роки)	МСК (мл/кг/хв.)	PWC ₁₇₀ (кгм/кг/хв.)	ХОК _{макс} (л/хв.)	Коефіцієнт резерву ХОК (в порівнянні зі станом спокою)
Чоловіки				
низький	25,0 < 30	12,2-16,0	8-11	< 2
задовільний	30,5-40,0	16,1-20,3	12-15	3-4
добрий	40,1-50,0	20,4-21,4	16-20	4-5
відмінний	> 50	> 21,4	> 20	> 5
Жінки				
низький	< 25,0	9,8-12,2	7-10	< 2
задовільний	25,1-30,5	12,9-15,1	11-14	3
добрий	30,6-46,0	15,2- 19,1	15-18	4-4,5
відмінний	> 46,0	> 19,1	> 18	> 4,5

Проведеними дослідженнями встановлені порогові (граничні) величини МСК і ФП (за даними PWC₁₇₀) для чоловіків (відповідно 40,0 мл кг⁻¹ хв⁻¹ і 20,3 кгм кг⁻¹ хв⁻¹), та жінок (30,5 мл·кг⁻¹·хв⁻¹ і 19,1 кгм кг⁻¹ хв⁻¹), які забезпечують

відносно безпечний рівень соматичного здоров'я. Аеробна потужність є однією з найважливіших показників фізичного стану. Наближена оцінка ЗФП з врахуванням результатів непрямого визначення МСК представлена в таблиці 15 [4].

Таблиця 15

Наближена оцінка працездатності за даними МСК

Стать	Вік	$V_{O_2 \max}$ (л/хв.)				
		низька	знижена	середня	висока	дуже висока
Жінки	20-29	1,69 (28)	1,70-1,99 (29-34)	2,00-2,49 (35-43)	2,50-2,79 (44-48)	2,80 (49)
	30-39	1,59 (27)	1,60-1,89 (28-33)	1,90-2,39 (34-41)	2,40-2,69 (42-47)	2,70 (48)
	40-49	1,49 (25)	1,50-1,79 (26-31)	1,80-2,29 (32-40)	2,30-2,59 (41-45)	2,60 (46)
	50-65	1,29 (21)	1,30-1,59 (22-28)	1,60-2,09 (29-36)	2,10-2,39 (37-41)	2,40 (42)
Чоловіки	20-29	2,79 (38)	2,80-3,09 (39-43)	3,10-3,69 (44-51)	3,70-3,99 (52-56)	4,00 (57)
	30-39	2,49 (34)	2,50-2,79 (35-39)	2,80-3,39 (40-47)	3,40-3,69 (48-51)	3,70 (52)
	40-49	2,19 (30)	2,20-2,49 (31-35)	2,50-3,09 (36-43)	3,10-3,39 (44-47)	3,40 (48)
	50-59	1,89 (25)	1,90-2,19 (26-31)	2,20-2,79 (32-39)	2,80-3,09 (40-43)	3,10 (44)
	60-69	1,59 (21)	1,60-1,89 (22-26)	1,90-2,49 (27-35)	2,50-2,79 (36-39)	2,80 (40)

Примітка: в дужках – МСК в $\text{мл кг}^{-1} \text{ хв}^{-1}$.

Висока інформативність показника МСК для оцінки рівня ЗФП та соматичного здоров'я організму зумовила

необхідність розробки оціночних таблиць МСК у спортсменів та нетренованих осіб різних вікових груп. Водночас різниця в методології тестування та оцінки МСК у людей різних вікових, статевих, професійних груп, створюють труднощі у розробці достатньо універсальних та надійних стандартів його оцінки. Зокрема, на сьогодні опубліковані лише поодинокі роботи, присвячені оцінці МСК для нетренованих осіб різного віку (табл. 16-19).

Таблиця 16

МСК та його оцінки у нетренованих здорових людей [13]

Стать	Вік (роки)	МСК (мл кг ⁻¹ ·хв ⁻¹)				
		дуже високе	Високе	середнє	низьке	дуже низьке
Чоловіки	<25	>55	49-54	39-48	33-38	<33
	25-34	>52	45-52	38-44	32-37	<32
	35-44 /	>50	43-50	36-42	30-35	<30
	45-54	>47	40-47	32-39	27-31	<27
	55-64	>45	37-45	29-36	23-28	<23
	>64	>43	33-43	27-32	20-26	<20
Жінки	<20	>44	38-44	31-37	24-30	<24
	20-29	>41	36-41	30-35	23-29	<23
	30-39	>39	35-39	28-34	22-27	<22
	40-49	>36	31-36	25-30	20-24	<20
	50-59	>34	29-34	23-28	18-22	<18
	>59	>32	27-32	21-26	16-20	<16

Оцінка МСК у нетренованих чоловіків і жінок
в залежності від віку [20]

Вік, роки	МСК чоловіків		Вік, роки	МСК жінок	
	л/хв.	мл кг ⁻¹ хв ⁻¹		л/хв.	мл кг ⁻¹ хв ⁻¹
10-11	1,10	35,0	10-11	0,95	27,5
	1,50	43,0		1,35	35,5
	2,00	51,0		1,75	43,5
12-13	1,40	37,0	12-13	1,20	26,5
	1,90	44,5		1,55	33,5
	2,40	52,0		1,90	40,5
14-15	1,65	37,0	14-15	1,40	26,6
	2,30	45,0		1,80	32,5
	2,95	53,0		2,20	38,5
16-17	2,35	37,5	16-17	1,40	25,0
	3,00	46,0		1,80	30,5
	3,65	54,5		2,20	36,0
18-19	2,35	37,5	18-19	1,40	25,0
	3,00	46,0		1,80	30,5
	3,65	54,5		2,20	36,0
20-29	2,65	38,5	20-28	1,35	23,0
	3,40	46,5		1,80	28,5
	5,15	54,5		2,25	34,0
30-39	2,45	31,5	29-34	1,20	18,5
	3,10	40,0		1,60	23,5
	3,75	48,5		2,00	28,5
40-49	2,00	24,5	35-44	0,95	14,0
	2,55	31,5		1,40	21,0
	3,10	38,5		1,85	28,0
50-59	1,90	24,0	45-55	0,80	11,8
	2,20	29,0		1,20	17,6
	2,50	34,0		1,60	23,4
60-69	1,60	22,0	56-65	0,75	10,7
	1,90	27,0		1,10	15,7
	2,20	32,0		1,45	20,7

Примітка: у таблиці наведені три рівні МСК – низький (верхній рядок), середній (другий рядок) та високий (третій рядок)

Таблиця 18

Показники МСК у дітей різного віку [13]

Вік, роки	Стать	Показники МСК (мл кг ⁻¹ хв ⁻¹)			
		середні	вище середніх	високі	дуже високі
10	Хлопчики	46, 3±5,2	49,8-54,1	54, 1-58, 4	58,4
11		44, 8±6,9	49,4-55,1	55,1-60,9	60,9
12		44,9±5,3	48,5-52,8	52,8-57,2	57,2
13		46,9±4,4	49,9-53,5	53,5-57,1	57,1
14		42,1±7,1	46,9-52,7	52,7-58,6	58,6
15		42,8±6,1	46,9-51,9	51,9-57,0	57,0
16		42,0±5,4	45,6-50,1	50,1-54,6	54,6
17	42,7±6,5	45,1-52,4	52,4-57,8	57,8	
10	Дівчата	48,0±4,6	51,1-54,9	54,9-58,7	58,7
11		51,1±5,6	54,8-59,5	59,5-64,1	64,1
12		51,2±4,8	54,4-58,4	58,4-62,3	62,3
13		52,8±5,1	56,3-60,5	60,5-64,8	64,8
14		53,3±6,2	57,7-62,7	62,7-67,9	67,9
15		54,3±5,4	57,9-62,4	62,4-66,9	66,9
16		55,2±6,3	59,5-64,7	64,7-70,0	70,0
17	54,4±5,2	57,9-62,2	62,2-66,5	66,5	

Таблиця 19

Оцінка аеробних можливостей за величиною МСК (мл·кг⁻¹·хв⁻¹) у дітей та підлітків [24]

Вік/ роки	Стать	Оцінка			
		відмінна	добра	Задовільна	незадовільна
6-7	Х	47,1 і вище	42-46	37-41	36 і нижче
	Д	42,1 і вище	36-41	32-35	31 і нижче
8-11	Х	48 і вище	43-47	38-43	37 і нижче
	Д	43 і вище	38-42	34-37	33 і нижче
12-15	Х	56 і вище	50-53	42-49	41 і нижче
	Д	45 і вище	41-44	38-41	37 і нижче
16-17	Х	57 і вище	52-56	44-51	43 і нижче
	Д	49 і вище	44-48	37-43	36 і нижче
18-22	Х	58 і вище	55-57	40-56	40 і нижче
	Д	48 і вище	45-48	47-48	37 і нижче

Примітка: Х – хлопчики, Д – дівчатка

Представляють інтерес дані про рівень МСК у населення країн з різним рівнем рухової активності (табл. 20).

Таблиця 20

Максимальна аеробна потужність у нетренованих осіб різних країн (за даними закордонних авторів)

Країни	Вік (роки)	МСК (мл кг ⁻¹ ·хв ⁻¹)	Рік
США	10-17	49,0	1949
Швеція	12-20	57,8	1960
НДР	10-19	46,0	1961
США	18-30	43,5	1955
Норвегія	18-30	44,0	1973
Швеція	18-30	58,0	1970
Великобританія	18-30	41,0	1972
Нігерія	18-30	46,0	1972
Канада	18-30	44,5	1941
Японія	18-30	45,0-55,0	1967
Індія	17-25	36,8	1974

Найбільші значення МСК виявлені у мешканців Швеції (58 мл·кг⁻¹·хв⁻¹) – країни з традиційно високим рівнем розвитку масової ФК. На другому місці – американці (49 мл·кг⁻¹·хв⁻¹). Найнижчий показник аеробних можливостей у населення Індії (36,8 мл·кг⁻¹·хв⁻¹), що може бути пов'язано як з особливостями способу життя (споглядальний світогляд, неповноцінний харчовий раціон, відсутність можливостей для регулярних занять ФК).

Тренувальні навантаження впливають на рівень МСК по-різному в залежності від виду спорту та спрямованості ФН. Найвищі показники МСК у спортсменів циклічних видів спорту з акцентом на витривалість. Адаптація кисневотранспортної системи до тривалих ФН залежить від спадкових факторів. Зокрема, адаптаційні реакції аеробного енергозабезпечення на 69-79% визначені спадковими факторами. Спадкові чинники у значно меншій мірі впливають на анаеробну систему енергозабезпечення (Сергієнко, 2004).

Проведені нами дослідження [12, 24] дозволили вивчити аеробні можливості легкоатлетів-бігунів на різні дистанції (табл. 21).

Таблиця 21

Середні дані рівня МСК і ФП (за тестом PWC_{170}) у легкоатлетів-бігунів різних вікових груп (I-II розряди)

Бігові дистанції	14-16 років		18-22 років	
	МСК (мл $kg^{-1} \cdot хв^{-1}$)	PWC_{170} (кгм/хв.)	МСК (мл $kg^{-1} \cdot хв^{-1}$)	PWC_{170} (кгм/хв.)
спринт	68,3 ± 0,4	1100 ± 47	61,8 ± 0,2	1290 ± 71
середні	76,1 ± 14,2	1510 ± 41	70,4 ± 18,1	1760 ± 14
довгі	78,4 ± 6,2	1590 ± 27	80,6 ± 9,4	1810 ± 46
нетреновані	46,1 ± 2,8	900 ± 36	49,4 ± 9,1	1050 ± 40

Виявлений тісний взаємозв'язок між ФП та аеробними можливостями організму. Найвищий рівень МСК у бігунів на

довгі дистанції. В цілому досліджувані показники значно вищі у спортсменів у порівнянні з нетренованими.

Різні відхилення в стані здоров'я впливають на функціональний стан киснево-транспортної і системи утилізації кисню організмом, знижуючи рівень МСК. Зниження МСК може досягати 40-80% від рівня здорових нетренованих осіб (табл. 22).

Таблиця 22

Рівень МСК у людей з відхиленням у стані здоров'я [13]

Стать	Вік	МСК (мл·кг ⁻¹ ·хв ⁻¹)				
		незначно знижене	помірно знижене	значно знижене	Сильно знижене	Дуже сильно знижене
Чоловіки	<25	>30	24-30	17-23	8-16	<8
	25-34	>29	23-29	15-22	8-14	<8
	35-44	>27	22-27	14-21	8-13	<8
	45-54	>24	20-24	13-19	8-12	<8
	55-64	>21	17-21	12-16	8-11	<8
	>64	>18	15-18	11-14	8-10	<8
Жінки	<20	>22	17-22	12-16	7-11	<7
	20-29	>21	17-21	11-16	7-10	<7
	30-39	>20	16-20	11-15	7-10	<7
	40-49	>18	15-18	10-14	7-9	<7
	50-59	>16	14-16	10-13	7-9	<7
	>59	>14	12-14	9-11	7-8	<7
Примітки: ФП при різній ступені зниження МСК		Практично обмежена	Помірно обмежена	Значно обмежена	Цілковита непрацездатність	Цілковита непрацездатність

Зв'язок між аеробними можливостями організму та станом здоров'я був описаний К.Купером [14]. Зокрема, було

встановлено, що 12-хвилинний тест Купера може бути використаний не лише для визначення ЗФП, як це було вказано вище. Результати цього тесту можуть бути використані у якості критеріїв соматичного здоров'я та у значній мірі визначаються аеробними можливостями індивіда (V_{O_2}). Автор виділив 5 рівнів фізичного стану організму за рівнем споживання кисню під час виконання тесту (табл. 23).

Таблиця 23

Показники і оцінка результатів 12-хв тесту
для чоловіків до 30 років [14]

Відстань (км)	V_{O_2} під час бігу (мл $кг^{-1}$ хв $^{-1}$)	Оцінка результатів
< 1,5	< 25,0	дуже погано
1,50-1,84	25,0-33,7	погано
1,85-2,15	33,8-42,5	задовільно
2,16-2,64	43,6-51,5	добре
2,65 і дальше	51,6 та більше	відмінно

У добре фізично підготовлених осіб споживання кисню під час 12-хвилинного бігового тесту знаходиться в межах 43,6-51,6 мл $кг^{-1}$ хв $^{-1}$, у погано підготовлених – лише 25,0-33,0 мл $кг^{-1}$ хв $^{-1}$. К.Купер виявив також досить чітку відповідність між величинами МСК і факторами ризику ішемічної хвороби серця (ІХС), зокрема вмістом холестерину та ліпопротеїдів високої щільності (табл. 24).

Відношення загального вмісту холестерину крові до ліпопротеїдів високої щільності (ЛПВЩ, HDL) та стан здоров'я [14]

Стан фізичного здоров'я	Відношення холестерину до ліпопротеїдів високої щільності (HDL)	
	732 чоловіків (середній вік 44,6 років)	346 жінок (середній Вік 39,4 років)
дуже поганий	6,1	4,0
поганий	5,7	3,9
задовільний	5,1	3,9
добрий	4,9	3,3
відмінний	4,3	3,2

Примітка: середній вік чоловіків – 44,6 р., жінок – 39,4 роки

За даними, наведеними в табл. 24, у чоловіків відношення вмісту загального холестерину (ХТ) до вмісту ліпопротеїдів високої щільності (HDL) не повинно перевищувати 4,3-4,9; для жінок – 3,2-3,3.

4. ОСНОВНІ ФАКТОРИ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ ПОРУШЕНЬ СОМАТИЧНОГО ЗДОРОВ'Я

Важливою передумовою високого рівня соматичного здоров'я виступає підтримання належного рівня функціонування кисневотранспортних систем організму, зокрема системи крові та серцево-судинної системи. З огляду на це для оцінки соматичного здоров'я важливе значення має рівень холестерину (ХТ) в крові, який є нормальним компонентом нашого тіла і неминучим компонентом харчового раціону. ХТ абсолютно необхідний для функціонування основних систем організму, включаючи ефективну діяльність головного мозку. Нормальний вміст ХТ <5,0 мМ, помірно підвищений 5-6,4 мМ, високий рівень – 6,5-10,0 і більше мМ. Але несприятливий вплив на рівень здоров'я має не тільки підвищений, але й дещо понижений рівень ХТ в крові [28, 33, 34].

При відсутності генетичних передумов серцево-судинних захворювань підвищений рівень ХТ не завжди є фактором ризику. Вміст ХТ в крові може коливатися в широких межах в залежності від віку, статі, етнічних і расових відмінностей. Окремі дослідження свідчать про те, що підвищений рівень ХТ у людей літнього віку не завжди є фактором ризику кардіопатології.

Отже, для оцінки рівня здоров'я людини важливий не лише загальний холестерин, але й холестерин з ліпопротеїдних фракцій з низькою (LDL) та високою щільністю (HDL). Такі аналізи непрості та вимагають складних процедур і реактивів. Нормальний рівень LDL <3,0 ммоль/л, HDL – >1,0 ммоль/л, загальний ХТ <5,0 ммоль/л. Чим вищий вміст ліпопротеїдів (HDL) та менший вміст LDL, тим менша небезпека розвитку патологічного процесу і навпаки.

Важливим показником здоров'я та ризику виникнення серцево-судинних захворювань є також індекс атерогенності (ІА), який розраховують з урахуванням вмісту ліпопротеїдів низької та високої щільності (ЛПНЩ, ЛПВЩ) за формулою :

$$ІА = (ХТ - ЛПВЩ) / ЛПНЩ$$

Зростання ІА приводить до загрози розвитку атеросклерозу.

Загалом на сьогодні виявлено понад 100 різних факторів ризику розвитку серцево-судинних захворювань [29]. В патогенезі захворювань серцево-судинної системи провідне місце займає атеросклероз та його ускладнення (ішемічна хвороба серця – ІХС, інфаркт міокарду, порушення мозкового кровообігу та ін.). Ймовірність розвитку цих захворювань зростає при наявності інших факторів ризику різного походження (гіпертонія, гіперхолістеринемія,

зростання тригліцеридів і цукру крові, надмірна вага тіла, низька фізична активність, психологічні особливості, паління, надмірне вживання алкоголю та ін.). Корекція факторів ризику є важливою соціально-економічною проблемою, пов'язаною зі зміцненням здоров'я населення.

Холестеринова теорія атеросклерозу була вперше запропонована М.Анічковим. Проведені тисячі досліджень про можливий зв'язок рівня холестерину в їжі з його рівнем в крові. Результати дуже суперечливі. "Холестеринову" теорію не розділяє багато біохіміків, кардіологів, геронтологів. Атеросклероз може виникати і при низькому вмісті ХТ і, навпаки, може бути відсутній при високому вмісті холестерину [34]. Отже, атеросклероз не тільки "холестеринова", але й соціально-стресова хвороба.

В останні роки особлива увага приділяється так званому "метаболічному синдрому", який вклучає зниження рівня HDL і підвищення рівня LDL, відкладання жирової тканини в черевній ділянці, жирове переродження печінки, а також підвищення рівня цукру в крові. Вказані порушення є передумовою для розвитку цукрового діабету II типу та атеросклерозу, що в свою чергу пов'язано з ризиком серцево-судинної патології.

Між захворюваністю та факторами ризику відмічений певний лінійний зв'язок. Це може бути основою для

формування рекомендацій для здорового способу життя та профілактики захворювань серцево-судинної системи. У "безпечній" зоні здоров'я практично не реєструються ендогенні фактори ризику та різні форми хронічних захворювань КРС.

Фактори ризику серцево-судинної патології формуються в основному при зниженні аеробних можливостей до певного порогу. Зниження аеробних можливостей супроводжується прогресуючим ростом захворювань та ослабленням функціональних резервів до "небезпечного" рівня. Між ними виявлена досить висока кореляція ($0,70 < r < 0,84$).

5. Висновки

Протягом останніх років відбувається активне формування науки про здоров'я та пошук об'єктивних критеріїв оцінки стану здоров'я людини. Нами проаналізовані існуючі методи оцінки рівня здоров'я з врахуванням адаптаційних та резервних можливостей організму. На наш погляд, на сьогодні залишаються недостатньо дослідженими фізіологічні критерії контролю за станом здоров'я, питання мінімізації факторів ризику захворювань КРС та ряд інших важливих питань збереження соматичного здоров'я людини.

Порівняльний аналіз публікацій [2, 4, 6-7, 12, 13, 18, 29, 30] свідчить про деякі відмінності у критеріях оцінювання рівня соматичного здоров'я за даними різних авторів. Причинами таких відмінностей може бути використання різних ергометричних тестів, тестування осіб різного віку, статі, спортивної кваліфікації, рівня фізичної підготовленості та ін.

Отримані нами результати свідчать про те, що рівень соматичного здоров'я необхідно кількісно визначати за величиною функціональних резервів КРС, рівнем фізичної працездатності та аеробними можливостями організму (МСК). У свою чергу аеробні можливості тісно пов'язані з окремими морфологічними і фізіологічними показниками

організму людини (склад маси тіла, розвиток мускулатури, ЧСС, систолічний об'єм крові, ЖЄЛ, ХОК та ін.). Між ними виявлена досить висока кореляція ($0,70 < r < 0,84$).

Аналіз багатьох публікацій та власні дані дозволяють стверджувати, що аеробні можливості організму, показником яких виступає МСК, є основними критеріями фізичного здоров'я людини. Концепція можливості використання аеробних можливостей в якості індикатора рівня функціональних резервів і рівня здоров'я відповідає нашим уявленням про біологічну сутність здоров'я.

Отже, основним фізіологічним критерієм здоров'я належить вважати МСК даної особи, як кількісне вираження рівня здоров'я. Киснево-транспортна система включає систему зовнішнього дихання, систему крові і кровообігу. Високий рівень МСК передбачає також достатній розвиток мускулатури, капілярної сітки м'язів. Кожна з цих ланок вносить свій вклад у формування величини МСК. Будь-яке порушення якоїсь ланки може негативно позначитися на аеробних можливостях та стані соматичного здоров'я. Включення в інтегральну оцінку здоров'я МСК та оцінки факторів ризику збільшують ймовірність об'єктивної діагностики стану здоров'я.

Встановлений тісний зв'язок величини МСК і факторів ризику ішемічної хвороби серця (ІХС). Вищий рівень

аеробних можливостей, поєднується з кращими показниками артеріального тиску, маси тіла і холестеринового обміну. Зокрема, чим вища аеробна продуктивність організму, тим більша концентрація ЛПВЩ і менша ЛПНЩ. Найбільш небезпечною для формування атерогенних змін в судинах є дисліпідопротеїнемія, яка проявляється високим рівнем ЛПНЩ і низьким рівнем ЛПВЩ. Отже, ризик розвитку ІХС під впливом ендогенних факторів зростає при зниженні аеробних можливостей індивіда до певного рівня.

Рівень МСК залежить також від маси тіла та його складу. Індекс маси тіла ($\text{кг}/\text{м}^2$) корелює з показником вмісту ліпідів в організмі і є більш достовірним показником оцінки рівня ожиріння, ніж показник відносної ваги тіла, що корелює з високим рівнем здоров'я і МСК. Фізіологічна норма індексу маси (ВМІ) коливається в межах 20.0-24,9 $\text{кг}/\text{м}^2$. Надмірний індекс створює додаткові навантаження на серцево-судинну систему та приводить до патологічних змін.

Регулярні фізичні вправи аеробної спрямованості покращують енергозабезпечення фізіологічних процесів та постачання тканин киснем, вирівнюють диспропорцію між фракціями ліпопротеїдів, виявляють стимулюючий вплив на організм, знижують ризик смертності [7, 18]. Аеробні вправи мають важливе значення в профілактиці атеросклерозу і

зменшенні факторів ризику в кардіопатології (зменшення АТ і рівня холестерину, збільшення антиоксидантної активності).

Фактори ризику серцево-судинної патології формуються лише при зниженні аеробних можливостей до певного порогу. Зниження функціонального стану супроводжується прогресуючим ростом захворювань та ослабленням мобілізації резервних можливостей до "небезпечного" рівня. Між ними виявлена досить висока кореляція ($0,70 < r < 0,84$). Встановлено, що хронічні захворювання КРС практично відсутні у осіб, рівень МСК яких вищий за 45 чи 40 мл/хв кг (для чоловіків і жінок, відповідно). Отже, величина МСК може визначати "безпечний" рівень соматичного здоров'я.

У осіб, що регулярно займаються аеробними ФН, зокрема у легкоатлетів-бігунів виявлений значно вищий рівень МСК.

З огляду на наведені факти важливим питанням залишається також вибір методик визначення МСК. На сьогодні для оцінки аеробних можливостей організму використовуються різні прямі і непрямі методи визначення МСК. Методи детально висвітлені у різноманітних посібниках та проаналізовані вище [3, 4, 13, 15, 19, 20, 25, 33].

За останні роки для оцінки здоров'я використовуються також різні програмно-діагностичні апаратні комплекси

(Valeo Test, "Аполон", та ін.). Наявні програми дозволяють визначити не тільки рівень здоров'я та фізичну підготовленість за п'ятибальною шкалою оцінок, але й "ідеальну" масу тіла та сформувати індивідуальну програму оздоровчого тренування.

Кількісний підхід по рівню споживання кисню (МСК) є дуже перспективним не тільки для оцінки стану здоров'я, але й для комплексного контролю за рівнем натренованості та оздоровлення. Стан здоров'я визначається величиною аеробних можливостей. МСК є інтегральним показником стану здоров'я, найвищого рівня транспорту і використання O_2 та стану КРС. МСК є фізіологічною основою фізичної працездатності та функціональних резервів організму.

6. ЛІТЕРАТУРА

1. Амосов Н.М., Бендет Я.А. Физическая активность и сердце / Н.М.Амосов, Я.А.Бендет. – К.: Здоровье, 1984. – 232 с. – ISBN 5-311-00360-X.
2. Апанасенко Г.А. Физическое здоровье индивида: методические аспекты / Г.А.Апанасенко // Бюл. АМН. – 1988, №2. – С. 32-40.
3. Апанасенко Г.А. Избранные статьи о здоровье / Г.А.Апанасенко – Киев, 2005. – 48 с.
4. Аулик И.В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте / И.В.Аулик – М.: Медицина, 1990. – 192 с. – ISBN 5-225-01022-9.
5. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М.Баевский, А.П.Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 240 с.
6. Баевский Р.М. Проблема здоровья и нормы: точка зрения физиолога / Р.М.Баевский // Клин. мед.. – 2000, № 4. – С. 59-64.
7. Брехман И.И. Валеология – наука о здоровье / И.И.Брехман – М.: ФКиС, 1990. – 208 с. – ISBN 527800214X

8. Булич Е.Г., Муравов Н.В. Здоровье человека. Биологическая основа жизнедеятельности и двигательная активность в ее стимуляции / Е.Г.Булич, Н.В.Муравов – К.: Олимп. литер., 2003 – 424 с. – ISBN 966-7133-63-Х.
9. Виру А.А. Аэробные упражнения / А.А.Виру, Г.А.Юримяз, Т.А.Смирнова – М.: ФиС, 1988. – 142 с. – ISBN 5-278-00046-5.
10. Вовканич Л.С., Гриньків М.Я. Методичні вказівки до оцінки стану здоров'я школярів (антропометричні та фізіологічні методи) / Л.С.Вовканич, М.Я.Гриньків – Львів, 2003. – 13 с.
11. Волков Н.И. Биохимический контроль в спорте / Н.И.Волков // Теория и практи. ФК. – 1975, № 11. С. 28-37.
12. Дацків П.П. Оцінка адаптаційних можливостей кардіогемодинаміки легкоатлетів-бігунів на довгі дистанції / П.П.Дацків // Молода спортивна наука України, Львів, 2004. – Вип. 8, Т. 2. – С. 448-452.
13. Карпман В.Л. Тестирование в спортивной медицине / В.Л.Карпман, Г.В.Белоцерковский, И.А.Гудков – М.: ФКиС, 1988. – 208 с. – ISBN 5-278-0004-Х.
14. Купер К. Аэробика для хорошего самочувствия / К.Купер – М.: ФКиС, 1989. – 224 с. – ISBN 5-278-00116-Х.

15. Мак-Дугалл Д.Д., Уэнгер Г.Э., Грин Г.Д. Физиологическое тестирование спортсмена высокого класса / Д.Д.Мак-Дугалл (ред.) – Киев: Олимпийская л-ра, 1998. – 431 с – ISBN 966-7133-07-9.
16. Мильнер Е.Г. Формула жизни / Е.Г.Мильнер – М.: ФКиС, 1991. – 112 с. – ISBN 5-278-00337-5.
17. Мищенко В.Г. Функциональные возможности спортсменов / В.Г.Мищенко. – К.: Здоров'я, 1990. – 200 с.
18. Пирогова Е.А. Совершенствование физического состояния человека / Е.А.Пирогова – К.: Здоров'я, 1989. – 168 с. – ISBN 5-311-00283-2.
19. Муравов Н.В. Оздоровительные эффекты физической культуры и спорта / Н.В.Муравов – К.: Здоровье, 1989. – 272 с.
20. Романенко В.А. Диагностика двигательных способностей / Романенко В.А. – Донецк, ДОННУ, 2005. – 290 с. – ISBN 966.639.239.9.
21. Ткачук В.Г. Чоловік в цифрах / В.Г.Ткачук, А.Г.Кубраченко, В.Н.Миленький – Київ, 2007. – 239 с.
22. Фізіологія фізичних вправ: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів заочної форми

навчання / М.В.Маліков, Н.В.Богдановська. – Запоріжжя: ЗДУ, 2005. – 85 с. – ISBN 966–599–235-X

23. Шаповалова В.А., Маліков Н.А., Сватъев А.В. Компьютерная программа комплексной оценки функционального состояния и функциональной подготовленности организма / В.А.Шаповалова, Н.А.Маліков, А.В.Сватъев // ШВСМ. – Запорожье, 2003. – 75 с.
24. Яремко Є.О. Медико-біологічна модель оцінки фізичних можливостей юних спортсменів: матеріали міжнародної наук.-практ. конференції "Адаптаційні можливості дітей та молоді" / Південноукраїнський державний пед. універ. ім. К.Д.Ушинського; Босенко А.І. (ред.) – Одеса, 1998. С. 158-160.
25. Яремко Є.О. Спортивна фізіологія / Є.О.Яремко – Львів "Сполом", 2006. – 159 с.
26. Яремко Є.О. Фізіологічні принципи оцінки статусу здоров'я людини / Є.О.Яремко, Л.С.Вовканич, П.П.Данків // Молода спортивна наука України, 2007. – Вип. 12. – 1-4 – 48-53.pdf
27. Garabed E. Adolphe Quetelet (1796-1874) – the average man and indices of obesity / E.Garabed // Nephrology Dialysis Transplantation. – 2008. – 23 (1). – P. 47-51.

28. Kozłowski S., Nazar K. Wprowadzenie do fizjologii klinicznej / S.Kozłowski, K.Nazar – Warszawa, PZWL, 1999. – 650 p. – ISBN 83-200-2328-9.
29. McCormick J.S., Skrabanek P. Coronary disease is not preventable by population interventions. / J.S.McCormick, P.Skrabanek // *Lancet*. – 1988, 2(8615). – P. 839-841.
30. Nowacki P.E. Bedeutung der modernen kardiorespiratorischen Funktionsdiagnostik für jugendliche Leistungssportler und ihre Trainer / P.E.Nowacki // *Sportärztliche und Sportpädagogische Rundschau*. – 1978, Bd. 8. – P. 153-178.
31. Physical Status: The Use and Interpretation of Anthropometry // WHO Technical Report Series, #854. – Режим доступа: http://www.who.int/trs/WHO_TRS_854.pdf
32. Ravussin E. Relatively low plasma leptin concentrations precede weight gain in Pima Indians / E.Ravussin, R.E.Pratley, M.Maffei, H.Wang, J.M.Friedman, P.H.Bennett, C.Bogardus // *Nature Med.* – 1997, 3(2). – P. 238-240.
33. Shepard R.J. Test of maximal oxygen intake. A critical review / R.J.Shepard // *Sport medicine*. – 1984, № 1. – P. 99-124.
34. Waaler H.T. Height, weight and mortality / H.T.Waaler // WHO-Report № 4, 1984. – 60 p.

Науково-методичне видання

Яремко Є. О.

Вовканич Л. С.

**Фізіологічні проблеми діагностики
рівня соматичного здоров'я**

Підписано до друку 12.02.09

Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк офсетний. Зам. № 78/22

Ум. друк. арк. 4,42. Наклад 100 прим.

Видавництво "СПОЛОМ"

79008 Україна, м. Львів, вул. Краківська, 9

Тел./факс: (380-32) 297-55-47.. E-mail: spolom@mail.lviv.ua

Свідоцтво держреєстру: серія ДК, № 2038 від 02.02.2005 р.