

DOI 10.29254/2077-4214-2023-3-170-150-158

UDC 612.13:613.73(045)

*Bakunovsky O. M., Drozdovska S. B., Ilyin V. M., Filippov M. M.,*

*Pastukhova V. A., Skorobogatov A. M., Oliinyk T. M.*

## CHANGES IN THE CIRCULATORY SYSTEM DURING THE PERIOD OF RAPID RECOVERY AFTER STATIC EXERCISE IN PERSONS WITH DIFFERENT BODY MASS INDEX

National University of Ukraine on Physical Education and Sport (Kyiv, Ukraine)

[Pastuhova\\_V@ukr.net](mailto:Pastuhova_V@ukr.net)

*In strength sports, physical activity in an isometric (static) mode is widely used, but the underlying mechanisms that influence the cardiovascular system's parameters have not been fully studied. The relationship between dosed static load and anthropometric parameters attracts even less attention from specialists in sports, physical education and sports medicine. Therefore, our study aimed to investigate reactive changes in the activity of the heart and blood vessels after static exercise in individuals with different body mass index (BMI). We studied 21-year-old men with normal and elevated BMI, changes in the parameters of the circulatory system were recorded using tetrapolar thoracic rheoplethysmography, and the static load was modelled by holding a force of 50% of the maximum force on the DS-200 state dynamometer for 15 seconds. Central haemodynamic parameters were recorded before the load was applied and within 3 minutes after it. Statistical data processing was performed using the computer program IBM SPSS Statistics, version 26, using nonparametric methods of evaluating the results obtained. It has been established that isometric physical activity in young men with different BMI causes the same nature of changes in the parameters of central haemodynamics. Differences in body mass index and body weight affect only the degree of manifestation of reactive changes in the circulatory system. During rapid recovery after static exercise, the Lingard phenomenon was more pronounced in individuals with a high body mass index.*

**Key words:** *circulatory system, haemodynamics, recovery, load.*

### Connection of the publication with planned research works.

The presented work is a fragment of the research work of the Department of Medical and Biological Disciplines of the National University of Ukraine on Physical Education and Sport «Influence of exogenous and endogenous factors on the course of adaptive reactions of the body to physical activity of different intensity» (state registration number 012U108187).

### Introduction.

The vast majority of sports are characterised by muscle activity in a dynamic mode. However, in recent years, the scientific and sports community has shown increasing interest in the underlying mechanisms of static exercise [1, 2]. The static exercise regime, or isometric contraction, is an effective means not only for developing strength, endurance and flexibility. There are programmes in strength fitness and artistic gymnastics based on the predominant use of static exercises [3-5]. It is known that in the process of static loads, as a result of vascular compression by the working muscles, their blood supply decreases, and the acceleration of respiration and blood circulation mainly occurs after its completion. The latter fact contributes to an increased release of metabolic products into the bloodstream, which stimulates the activity of not only the circulatory system but also the respiratory system. The difference between different exercise modes determines the peculiarities of physiological processes and the difference in haemodynamic response. However, in the modern specialised literature, there are not enough scientific works on the study of the effect of static loads on the parameters of the circulatory system [6-8]. In turn, the problem of the relationship between static physical ac-

tivity and anthropometric parameters attracts even less attention from scientists [9, 10]. In the available literature, we could not find scientific publications devoted to the study of the effect of compositional content on the course of rapid recovery after static exercise.

### The aim of the study.

To determine the peculiarities of the effect of dosed static load on the parameters of the circulatory system during the period of early recovery in people with different body composition characteristics.

### Object and research methods.

We examined 42 untrained men (20 years old) without bad habits, acute diseases or chronic pathology during the study. In order to form groups, we used the Martine test, according to which only those with a normotonic response of the circulatory system (36 people) were selected from the examined young men. To study the reaction of the circulatory system to static load, the weight and length of the body were determined (using a floor height meter with mechanical scales RVP 2000), body mass index (BMI) according to the Ketley formula (Ketley index, KI = body weight (kg)/height<sup>2</sup> (cm)), maximum static strength (using a state dynamometer DS-200). In order to analyse the results, the examined young men were divided into two groups according to the criteria of BMI and body weight following WHO recommendations – individuals with normal BMI and body weight (group 1, n=18, BMI from 18.8 to 24.9; mean value in the group – 21.6, mean height 178.2 cm, mean body weight – 68.4 kg), people with high BMI (group 2, n=18, examined with BMI from 27.4 to 30.0; mean value in the group – 28.1, mean height 177.6 cm, mean body weight – 77.9 kg). Individuals with a lower than average BMI and those with a BMI considered obese were not

included in the study. The study was conducted following the bioethical standards of the Declaration of Helsinki, the Council of Europe Convention on Human Rights and Biomedicine (1977), relevant WHO regulations, and the laws of Ukraine.

Static load (SL) was created by holding a force of 50% of the maximum state force on the DS-200 dynamometer for 15 seconds. Before the exercise and at the 1st, 2nd and 3rd minutes after the exercise, blood pressure was measured in young men, and heart rate (HR) was calculated for 10 seconds palpably on the left carotid artery. At the same time, a tetrapolar chest rheoplethysmogram was recorded in a standing position using the Cardio+ computerised diagnostic complex. The following parameters were analysed: heart rate (HR), stroke and minute blood volumes (SV and MBV, respectively), stroke and cardiac indices (SI and CI), total peripheral vascular resistance (TPVR), systolic and diastolic blood pressure (SBP and DBP). We analysed cardiac output and total peripheral vascular resistance by indicators normalised to the body surface area of the subjects (SI, CI) rather than by absolute values of systolic and cardiac output to level anthropometric differences between individuals from different groups. Statistical data processing was performed using the IBM SPSS Statistics computer program (version 26), using nonparametric methods to evaluate the study results.

#### Research results and their discussion.

After preliminary selection and formation of groups using the Martine test, 36 young men participated in the study. Changes in the parameters of central haemodynamics in the examined young men from different groups before static load and during the rapid recovery period are presented in the **table**. According to our study, the parameters of central haemodynamics are characterised by several differences depending on BMI and differ in individuals of different groups both at rest and by the nature of urgent adaptation to static load.

In young men of group 1, the resting heart rate (76.01±3.12 bpm) was significantly lower by 10.27% compared with representatives of group 2 (83.82±3.42 bpm). At rest, both groups' heart rates met the normocardia criteria. SL caused an initial decrease in heart rate in both groups (6.14% and 8.11%, all with  $p<0.05$ ) compared with the baseline. However, within 1 minute after the cessation of SL, both groups showed an increase in heart rate, but to a different extent – by 5.01% in group 1 and 7.48% in group 2 (all with  $p<0.05$ ). Subsequently, there was a tendency to restore the initial heart rate level. It was more effective in young men with normal BMI because, at the last follow-up period, the difference in heart rate from the resting state was 1.46%, while in group 2, it was 3.23%.

The value of the SV in group 1 in the resting state was 66.70±2.89 ml/min, which is 15.10% higher than

**Table – Changes in the parameters of cardiac output and central haemodynamics in response to static load**

| Parameter                    | Group | Before SL      | First minute after SL | Second minute after SL | Third minute after SL |
|------------------------------|-------|----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| HR, bps                      | 1     | 76,01±3,12     | 71,34±3,01*           | 79,82±3,23*            | 77,12±3,09            |
|                              | 2     | 83,82±3,42^    | 77,02±3,38*^          | 90,09±3,54*^           | 86,53±3,41^           |
| SV, ml                       | 1     | 66,70±2,89     | 62,41±2,32*           | 76,17±3,31*            | 69,24±2,91            |
|                              | 2     | 56,63±2,67^    | 51,21±2,81*^          | 67,86±2,81*^           | 58,91±2,85            |
| SI, ml/m <sup>2</sup>        | 1     | 36,05±1,42     | 33,74±1,20*           | 41,17±1,73*            | 37,43±1,50            |
|                              | 2     | 28,89±1,21^    | 26,13±1,10*^          | 34,62±1,40*^           | 30,06±1,35^           |
| CI, l/min/m <sup>2</sup>     | 1     | 2,74±0,23      | 2,42±0,21*            | 3,29±0,26*             | 2,89±0,23             |
|                              | 2     | 2,42±0,17^     | 2,02±0,15*^           | 3,13±0,21*^            | 2,60±0,19^            |
| MBV, l/min                   | 1     | 5,07±0,36      | 4,45±0,31*            | 6,08±0,41*             | 5,34±0,38             |
|                              | 2     | 4,75±0,29^     | 3,94±0,19*^           | 5,93±0,39*^            | 5,10±0,36*^           |
| SBP, mm Hg                   | 1     | 120,02±2,27    | 136,39±4,73*          | 132,94±3,83*           | 123,72±2,61           |
|                              | 2     | 122,47±3,42    | 141,94±4,84*          | 134,71±3,95*           | 126,96±2,83           |
| DBP, mm Hg.                  | 1     | 75,14±2,02     | 88,00±3,14*           | 82,01±3,02*            | 77,45±2,76            |
|                              | 2     | 77,25±2,45     | 92,00±4,05*           | 84,88±3,92*            | 81,88±3,51            |
| TPVR, din*s*cm <sup>-5</sup> | 1     | 1421,03±98,01  | 1871,23±114,09*       | 1302,04±109,42*        | 1391,75±102,94        |
|                              | 2     | 1549,68±104,2^ | 2205,74±183,15*^      | 1329,68±121,57*        | 1519,58±142,37^       |

**Notes:** \* – statistically different from the resting state, ^ – statistically different from the values of group 1 in the same observation period.

the value of the SV in group 2 (56.6±2.67 ml/min). Changes in the value of the SV after SL are characterised by similar dynamics in individuals of both groups – immediately after SL, the SV parameter decreases, and after one minute, it compensatory increases with further gradual recovery to the initial state. Thus, the initial decrease in the SV immediately after SL was 6.43% ( $p<0.05$ ) in group 1 and 9.57% ( $p<0.05$ ) in group 2. In 1 min after the cessation of exercise, a compensatory increase in the SV occurred in both groups – by 14.20% ( $p<0.05$ ) in group 1 and by 19.83% ( $p<0.05$ ) in group 2. As in the case of changes in heart rate, the parameter of SV recovered faster in group 1 because, at the end of the observation period, the difference in SV with the baseline was 3.81%, in contrast to group 2, in which SV differed by 4.03%.

The value of SI in group 1 at baseline was 36.05±1.4 ml/m<sup>2</sup>, which is 19.86% higher than the value of the same parameter in group 2 (28.89±1.2 ml/m<sup>2</sup>). The first minute after SL was characterised in both groups by a decrease in SI – by 6.43% ( $p<0.05$ ) in group 1 and by 9.57% ( $p<0.05$ ) in group 2. The second minute after SL was characterised in both groups by a compensatory significant increase in SI values – in group 1 by 14.20% ( $p<0.05$ ), in group 2 – by 19.83% ( $p<0.05$ ). Similarly to the changes in HR, SV and MBV, the third minute after SL is characterised by the restoration of the SI value to the resting state, but this occurs faster in group 1 patients – in them, at 3 minutes after SL, the difference with the resting state is 3.81%, while in group 2 – 4.03%.

The value of CI in patients of group 1 at rest was 2.74±0.22 l/min/m<sup>2</sup>, which is 11.63% higher than the same parameter in group 2 (2.42±0.17 l/min/m<sup>2</sup>). SL causes a decrease in the value of CI, which was recorded in the first minute after the cessation of SL in both groups – by 12.18% ( $p<0.05$ ) in group 1 and by 16.91% ( $p<0.05$ ) in group 2. The second minute after SL was characterised by a compensatory increase in CI at the level of 19.92% ( $p<0.05$ ) in patients with normal BMI and by 28.79% ( $p<0.05$ ) in group 2. The course of the third minute after a decrease in CI characterises SL, but the achievement of the value of the initial state does

not occur in any of the groups. However, the restoration of CI is more effective in group 1 because the difference with the resting state at 3 minutes is 5.32% and in group 2 – 7.39%. At all periods, the value of CI in people from group 1 was statistically significantly higher than in group 2.

The value of the parameter MBV in group 1 at rest was  $5.07 \pm 0.36$  l/min, which is 6.37% statistically significantly higher than the value of MBV in group 2 ( $4.75 \pm 0.29$  l/min). SL causes the same dynamics as in the case of HR and SV regarding changes in MBV. Thus, in the first minute after SL, a decrease in MBV was recorded in both groups, but to a different extent – in group 1 by 12.81% ( $p < 0.05$ ), in group 2 – by 16.91% ( $p < 0.05$ ). The second minute after SL is characterised by a compensatory increase in MBV, which reverses the initial decrease in this parameter immediately after SL. In group 1, the degree of increase was 19.92% ( $p < 0.05$ ), and in group 2 – 28.79% ( $p < 0.05$ ). The third minute after SL was characterised by a gradual recovery of MBV in both groups, but to varying degrees – more effectively in individuals with normal BMI (the difference with the resting state was 5.32%, while in group 2 – 7.39% ( $p < 0.05$ )). The value of MBV at baseline in individuals with normal BMI exceeded the value of the same parameter in group 2 due to a higher value of SV. This conclusion can be made given the lower value of the heart rate parameter in individuals with normal BMI compared to young men with elevated BMI. They also have higher cardiac and stroke indices at rest values than those in group 2. Against the background of higher values of SV and MBV in young men with normal BMI, this may be evidence of higher functional reserves of the heart and a higher level of tolerance to physical activity (in particular, static) compared to individuals with elevated BMI.

The values of systolic and diastolic pressures at rest in both groups do not differ statistically. The dynamics of SBP and DBP in both groups in response to SL is very similar: the values of both types of pressure increase immediately after SL (to a greater extent in patients from group 2) and gradually return to resting values in the subsequent period. However, the degree of initial increase in SBP and DBP immediately after SL is greater in group 2. Restoration of the initial value of SBP and DBP is more effective in group 1 because the percentage of deviation of both types of pressure at 3 minutes after SL in individuals with normal BMI is less compared with group 2.

The value of the TPVR in individuals with normal BMI is  $1421.59 \pm 98.03$   $\text{din} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-5}$ , which is 8.97% less than the value of this parameter in group 2 ( $1549.09 \pm 104.63$   $\text{din} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^{-5}$ ). SL leads to the opposite changes compared to the previously considered parameters. There is a strong increase in the TPR in both groups, to a lesser extent in group 1 (by 31.64%,  $p < 0.05$ ) and a greater degree in individuals from group 2 (by 42.38%,  $p < 0.05$ ). The second minute after the cessation of SL is characterised, on the contrary, by a decrease in the value of the TPVR compared with the baseline – by 8.41% ( $p < 0.05$ ) in group 1 and by 14.21% ( $p < 0.05$ ) in group 2. In the future, a tendency to restore the TPVR was recorded in both groups, but to a different extent. A higher value of total peripheral resistance in patients from group 2 indicates an increased tone of pre- and

postcapillary resistance vessels, most likely caused by increased basal sympathetic influences [11, 12].

Static load leads to the exact nature of changes in the cardiovascular system regardless of BMI and body weight. The difference in BMI determined only the degree of manifestation of a particular circulatory system response. Thus, a greater manifestation of the Lingard phenomenon (static effort phenomenon) was recorded in young men from group 2. The initial decrease in HR, SV, and MBV immediately after SL in both groups was due to the effect of exertion. It is caused by the maintenance of a powerful tonic effort, an increase in intrathoracic and intrapulmonary pressures, and, as a result, an increase in heart compression [1, 6]. Under conditions of blood vessel compression within skeletal muscles during static effort, the volume of venous blood return to the heart decreases [13-15]. Due to the implementation of myogenic mechanisms of the heart, this leads to a decrease in the value of the main parameters of its work, which we recorded immediately after SL. The subsequent increase in the heart's pumping function is compensatory in nature and is characterised by the desire to restore blood circulation to the vessels compressed by static stress [16, 17]. The increase in both types of blood pressure under the influence of SL can be explained by the rise in pressure inside the aorta during static tension, which, according to the logic of the Anrep phenomenon (cardiac outflow loading), leads to an increase in cardiac contraction force, and as a consequence, to an increase in SBP and DBP [18, 19].

Considering the greater degree of reactivity of the circulatory system in the early period of adaptation to static load in individuals with increased BMI, as well as the fact that at the last follow-up period, the difference between the values of the measured parameters was less in group 1, it can be argued that a more balanced and effective course of recovery from SL occurred in individuals with normal body mass index.

Summarising all of the above, it is worth noting that a greater degree of manifestation of the Lingard phenomenon in our study was recorded in young men with an increased body mass index. It can be assumed that this is due to an increased volume of circulating blood, a greater load on the heart and stronger sympathetic effects on the heart's and blood vessels' activity. Such differences can also be explained not only by the mechanical impact on the blood vessels of muscles working in a static mode but also by the inhibition of central mechanisms that regulate circulatory function during exercise. Given that static tension is maintained by impulses from the centre of excitation in the cerebral hemispheres, according to the mechanism of simultaneous differential induction, this centre of excitation suppresses the activity of other nerve centres, including those that regulate the supply of oxygen to tissues. When the excitement ends, and the muscles relax, excitatory signals are sent from them to these centres, which determine the activity of the circulatory system [20]. It can also be assumed that a higher percentage of body fat and the associated differences in the capillary bed of tissues impede peripheral blood flow and thus contribute to the inhibition of regulatory processes and an increase in TPVR.

### Conclusions.

Dosed static load leads to the same nature of changes in the parameters of the circulatory system in all subjects, regardless of body mass index, but the degree of their manifestation is different. A more significant manifestation of the Lingard phenomenon was recorded in young men with a high body mass index, as evidenced by statistically more significant deviations in the measured parameters of the circulatory system. Our results allow us to predict the response of the circulatory system to static load depending on the value of body mass index; however, they should be supplemented by

studies taking into account other parameters of body composition (percentage of fat and muscle mass, etc.).

### Prospects for further research.

More thorough conclusions about changes in central haemodynamics during static exercise depending on BMI can be obtained by studying the response of the circulatory system to SL, considering the fat and muscle components of the body composition. It will allow us to more accurately reveal the underlying mechanisms of the peculiarities of reactive changes in central haemodynamics in individuals with different BMIs to different modes of physical activity.

DOI 10.29254/2077-4214-2023-3-170-150-158

УДК 612.13:613.73(045)

Бакуновський О. М., Дроздовська С. Б., Ільїн В. М., Філіппов М. М.,  
Пастухова В. А., Скоробогатов А. М., Олійник Т. М.

## ЗМІНИ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ В ПЕРІОД ШВИДКОГО ВІДНОВЛЕННЯ ПІСЛЯ СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ У ОСІБ З РІЗНИМ ІНДЕКСОМ МАСИ ТІЛА

Національний університет фізичного виховання і спорту України (м. Київ, Україна)

Pastuhova\_V@ukr.net

В силових видах спорту широко застосовують фізичні навантаження в ізометричному (статичному) режимі, глибинні механізми впливу яких на параметри серцево-судинної системи не вивчені остаточно. Питання взаємозв'язку дозованого статичного навантаження і антропометричних параметрів привертає ще меншу увагу фахівців сфери спорту, фізичної культури і спортивної медицини. Тому метою нашого дослідження було вивчення реактивних змін діяльності серця і кровоносних судин після статичного навантаження у осіб з різним індексом маси тіла (ІМТ). Досліджували юнаків 21 р., з нормальним і підвищеним ІМТ, зміну параметри системи кровообігу реєстрували за допомогою тетраполярої грудної реоплетизмографії, статичне навантаження моделювали шляхом утримання на становому динамометрі ДС-200 протягом 15 секунд зусилля потужністю 50% від максимальної сили. Реєстрацію параметрів центральної гемодинаміки проводили перед створенням навантаження і протягом 3 хвилин після нього. Статистичну обробку даних було проведено за допомогою комп'ютерної програми IBM SPSS Statistics, версія 26, з використанням непараметричних методів оцінки одержаних результатів. Встановлено, що ізометричне фізичне навантаження у юнаків з різним ІМТ спричинює однаковий характер змін параметрів центральної гемодинаміки. Відмінності в індексі маси тіла і величині маси тіла відбиваються лише на ступені прояву реактивних змін системи кровообігу. У періоді швидкого відновлення після статичного навантаження більш значно феномен Лінгарда проявлявся у осіб з підвищеним індексом маси тіла.

**Ключові слова:** система кровообігу, гемодинаміка, відновлення, навантаження.

### Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Представлена робота є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри медико-біологічних дисциплін Національного університету фізичного виховання і спорту України "Вплив екзогенних та ендогенних факторів на перебіг адаптаційних реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності" (державний реєстраційний номер 012U108187).

### Вступ.

Переважає більшість видів спорту характеризується м'язовою діяльністю у динамічному режимі, втім, останнім часом в науковому і спортивному суспільстві зростає інтерес до глибинних механізмів впливу на організм статичних вправ [1, 2]. Статичний режим вправ, або ізометричне скорочення, є ефективним засобом не тільки для розвитку сили, витривалості та гнучкості. В програмах силового фітнесу і атлетичної гімнастики існують програми, які ґрунтуються на переважному застосуванні статичних вправ [3-5]. Відомо, що в процесі статичних навантажень в результаті стиснення судин працюючими м'язами їх

кровопостачання зменшується, а прискорення дихання і кровообігу в основному відбувається після його закінчення. Останній факт сприяє збільшеному викиду продуктів обміну в кров, що стимулює діяльність не тільки системи кровообігу, але і системи дихання. Різниця між різними режимами навантаження визначає особливості фізіологічних процесів і відмінність гемодинамічної відповіді. Втім, в сучасній спеціальній літературі недостатньо наукових робіт щодо дослідження впливу статичних навантажень на параметри системи кровообігу [6-8]. В свою чергу, проблематика взаємозв'язку статичних фізичних навантажень і антропометричних параметрів привертає ще менше уваги науковців [9, 10]. Наукових публікацій, присвячених дослідженню впливу композиційного складу на перебіг швидкого відновлення після статичного навантаження, нам виявити в доступній літературі не вдалось.

### Мета дослідження.

Встановлення особливостей впливу дозованого статичного навантаження на параметри системи кро-

вообігу в період раннього відновлення у осіб з різними характеристиками складу тіла.

#### Об'єкт і методи дослідження.

Протягом дослідження нами було обстежено 42 нетренованих осіб чоловічої статі (20 р.) без шкідливих звичок, гострих захворювань чи хронічної патології. З метою формування груп застосовували пробу Мартіне, згідно з результатами якої з обстежених юнаків відбирали лише осіб з нормотонічною реакцією системи кровообігу (36 осіб). Для дослідження реакції системи кровообігу на статичне навантаження визначали масу і довжину тіла (за допомогою ростоміру підлогового з механічними вагами РПВ 2000), індекс маси тіла (ІМТ) за формулою Кетле, (індекс Кетле,  $IK = \text{маса тіла(кг)} / \text{зріст}^2(\text{см})$ , максимальну станову силу (з застосуванням станового динамометра ДС-200). З метою аналізу отриманих результатів обстежені юнаки були розподілені на 2 групи за критеріями ІМТ і маси тіла відповідно до рекомендацій ВООЗ – особи з нормальним ІМТ і масою тіла (група 1,  $n=18$ , ІМТ від 18,8 до 24,9; середнє значення в групі – 21,6, середній зріст 178,2 см, середня маса тіла – 68,4 кг), особи з підвищеним ІМТ (група 2,  $n=18$ , обстежені з ІМТ від 27,4 до 30,0; середнє значення в групі – 28,1, середній зріст 177,6 см, середня маса тіла – 77,9 кг). Особи з ІМТ, нижчим за норму, та з ІМТ, який розглядається як ожиріння, у дослідженні участі не приймали. Проведене дослідження проведено згідно з біоетичними стандартами Гельсінської декларації, Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (1977 р.), відповідними постановами ВООЗ та законами України.

Статичне навантаження (СН) створювали шляхом утримання на становому динамометрі ДС-200 протягом 15 секунд зусилля, що складало 50% від максимальної станової сили. Перед навантаженням і на 1-й, 2-й і 3-й хвилини після завершення навантаження у юнаків вимірювали артеріальний тиск, підраховували частоту серцевих скорочень (ЧСС) протягом 10 секунд пальпаторно на лівій сонній артерії. Одночасно з цим записували в положенні стоячи тетраполярну грудну реоплетизмограму за допомогою комп'ютеризованого діагностичного комплексу «Кардіо+». Аналізували наступні параметри – частоту серцевих скорочень (ЧСС), ударний і хвилинний об'єми крові (УО і ХОК відповідно), ударний і серцевий індекси (УІ і СІ), загальний периферійний опір судин руху крові (ЗПОК), систолічний і діастолічний артеріальний тиск (САТ і ДАТ). Нагнітальну функцію серця і ЗПОК ми аналізували за показниками, нормованими до площі поверхні тіла обстежуваних (УІ, СІ), а не за абсолютними значеннями систолічного і серцевого викиду, з метою нівелювання антропометричних відмінностей між особами з різних груп. Статистичну обробку даних проведено за допомогою комп'ютерної програми IBM SPSS Statistics (версія 26), із використанням непараметричних методів оцінки отриманих результатів дослідження.

#### Результати дослідження та їх обговорення.

Після попереднього відбору і формування груп за допомогою проби Мартіне в дослідженні взяли участь 36 юнаків. Зміну параметрів центральної гемодинаміки в обстежених юнаків з різних груп перед статичним навантаженням та в періоді швидкого відновлення після нього представлено у таблиці. За

даними нашого дослідження, параметри центральної гемодинаміки характеризуються низкою відмінностей залежно від ІМТ і відрізняються у осіб різних груп як в стані спокою, так і за характером термінової адаптації до статичного навантаження.

У юнаків 1 групи ЧСС в стані спокою ( $76,01 \pm 3,12$  уд/хв) є на 10,27% достовірно меншою порівняно з представниками групи 2 ( $83,82 \pm 3,42$  уд/хв). В стані спокою величина ЧСС в обох групах відповідала критеріям нормокардії. СН спричинює початкове зниження ЧСС в обох групах (на 6,14% і 8,11%, усе – з  $p < 0,05$ ) порівняно з вихідним станом. Втім, вже через 1 хвилину після припинення СН в обох групах відбувається зростання ЧСС, але різною мірою – на 5,01% в групі 1, і на 7,48% в групі 2 (усе – з  $p < 0,05$ ). У подальшому зафіксована тенденція до відновлення вихідного рівня ЧСС. Більш ефективно це відбувалося у юнаків з нормальним ІМТ тому, що на останньому терміні спостереження різниця ЧСС зі станом спокою складала в них 1,46%, в той час як у осіб з групи 2 – 3,23%.

Величина УО в осіб групи 1 в стані спокою складала  $66,70 \pm 2,89$  мл/хв, що на 15,10% більше за величину УО в групі 2 ( $56,6 \pm 2,67$  мл/хв). Зміни величини УО після СН характеризуються схожою динамікою в осіб обох груп – одразу після СН параметр УО зменшується, а через одну хвилину компенсаторно зростає з подальшим поступовим відновленням до вихідного стану. Так, початкове зниження УО одразу після СН склало 6,43% ( $p < 0,05$ ) в групі 1, і 9,57% ( $p < 0,05$ ) в групі 2. Через 1 хв. після припинення навантаження відбувається компенсаторне зростання УО в осіб обох груп – на 14,20% ( $p < 0,05$ ) в групі 1 і на 19,83% ( $p < 0,05$ ) в групі 2. Як і у випадку змін ЧСС, параметр УО швидше відновився у осіб групи 1 тому, що наприкінці терміну спостереження різниця УО з вихідним станом складала в них 3,81%, на відміну від групи 2, УО в якій відрізнявся на 4,03%.

Величина УІ в групі 1 у вихідному стані складала  $36,05 \pm 1,4$  мл/м<sup>2</sup>, що на 19,86% більше за величину цього ж самого параметру в групі 2 ( $28,89 \pm 1,2$  мл/м<sup>2</sup>). Перша хвилина після СН характеризується в обох групах зниженням УІ – на 6,43% ( $p < 0,05$ ) в групі 1, і на 9,57% ( $p < 0,05$ ) в групі 2. Друга хвилина після СН характеризується в обох групах компенсаторним значним зростанням величин УІ – в групі 1 на 14,20% ( $p < 0,05$ ), в групі 2 – на 19,83% ( $p < 0,05$ ). Так само, як і у випадку змін ЧСС, УО і ХОК, третя хвилина після СН характеризується відновленням величини УІ до значень стану спокою, але швидше це відбувається у осіб групи 1 – в них на 3 хв. після СН різниця зі станом спокою складає 3,81%, в той час як в групі 2 – 4,03%.

Значення СІ в осіб групи 1 в стані спокою складає  $2,74 \pm 0,22$  л/хв/м<sup>2</sup>, що на 11,63% перевищує аналогічний параметр в групі 2 ( $2,42 \pm 0,17$  л/хв/м<sup>2</sup>). СН спричинює зменшення величини СІ, яке було зафіксоване на першій хвилині після припинення СН в обох групах – на 12,18% ( $p < 0,05$ ) в групі 1, і на 16,91% ( $p < 0,05$ ) в групі 2. Друга хвилина після СН характеризується компенсаторним зростанням СІ на рівні 19,92% ( $p < 0,05$ ) у осіб з нормальним ІМТ, і на 28,79% ( $p < 0,05$ ) в групі 2. Перебіг третьої хвилини після СН характеризується зниженням СІ, але досягнення значення вихідного стану не відбувається в жодній з груп. Втім, більш ефективнішим є відновлення СІ в групі 1

тому, що відмінність зі станом спокою в них на 3 хв. складає 5,32%, а у групі 2 – 7,39%. На всіх термінах величина СІ у осіб з групи 1 була статистично вірогідно більшою за таку в групі 2.

Величина параметру ХОК в групі 1 в стані спокою складала 5,07±0,36 л/хв, що на 6,37% статистично достовірно перевищує величину ХОК в групі 2 (4,75±0,29 л/хв). СН щодо змін ХОК спричиняє ту саму динаміку, що і у випадку ЧСС і УО. Так, на першій хвилині після СН зафіксовано зниження ХОК в обох групах, але різною мірою – у групі 1 на 12,81% (p<0,05), в групі 2 – на 16,91% (p<0,05). Друга хвилина після СН характеризується компенсаторним зростанням ХОК, яке змінює початкове зниження цього параметру одразу після СН. В групі 1 ступінь зростання складав 19,92% (p<0,05), у групі 2 – 28,79% (p<0,05). Третя хв. після СН характеризується поступовим відновленням величини ХОК в обох групах, але різною мірою – більш ефективно у осіб з нормальним ІМТ (різниця зі станом спокою склала 5,32%, в той час як в групі 2 – 7,39% (p<0,05). Величина ХОК у вихідному стані у осіб з нормальним ІМТ перевищувала значення аналогічного параметру в групі 2 за рахунок більшого значення УО. Такий висновок можна зробити з огляду на меншу величину параметру ЧСС у осіб з нормальним ІМТ порівняно з юнаками, в яких ІМТ є підвищеним. Також в них є вищими порівняно з особами групи 2 величини параметрів серцевого і ударного індексів в стані спокою. На тлі вищих значень УО і ХОК у юнаків з нормальним ІМТ це може бути свідченням вищих функціональних резервів серця і більшого рівня толерантності до фізичних навантажень (зокрема, статичних) порівняно з особами, які мають підвищений ІМТ.

Величини систолічного і діастолічного тисків в стані спокою в осіб обох груп статистично вірогідно не відрізняються. Динаміка сАТ і дАТ в обох групах у відповідь на СН є дуже схожою – величини обох видів тиску одразу після СН зростають (більшою мірою в осіб з групи 2), у подальші терміни поступово повертаються до значень стану спокою. Втім, ступінь початкового зростання сАТ і дАТ одразу після СН є більшим в групі 2. Відновлення вихідної величини сАТ і дАТ відбувається ефективніше в групі 1 тому, що відсоток відхилення величин обох видів тиску на 3 хвилині після СН у осіб з нормальним ІМТ є меншим порівняно з групою 2.

Величина ЗПОРК у осіб з нормальним ІМТ складає 1421,59±98,03 дин\*с\*см<sup>-5</sup>, що на 8,97% менше за величину цього параметру в групі 2 (1549,09±104,63 дин\*с\*см<sup>-5</sup>). СН призводить до протилежних змін порівняно з попередньо розглянутими параметрами – відбувається потужне зростання ЗПО в обох групах, меншою мірою – в групі 1 (на 31,64%, p<0,05), більшою мірою – в осіб з групи 2 (на 42,38%, p<0,05).

**Таблиця – Зміни параметрів нагнітальної функції серця і центральної гемодинаміки у відповідь на статичне навантаження**

| Параметр                      | Група | До СН          | Перша хвилина після СН | Друга хвилина після СН | Третя хвилина після СН |
|-------------------------------|-------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| ЧСС, уд/с                     | 1     | 76,01±3,12     | 71,34±3,01*            | 79,82±3,23*            | 77,12±3,09             |
|                               | 2     | 83,82±3,42^    | 77,02±3,38*^           | 90,09±3,54*^           | 86,53±3,41^            |
| УО, мл                        | 1     | 66,70±2,89     | 62,41±2,32*            | 76,17±3,31*            | 69,24±2,91             |
|                               | 2     | 56,63±2,67^    | 51,21±2,81*^           | 67,86±2,81*^           | 58,91±2,85             |
| УІ, мл/м <sup>2</sup>         | 1     | 36,05±1,42     | 33,74±1,20*            | 41,17±1,73*            | 37,43±1,50             |
|                               | 2     | 28,89±1,21^    | 26,13±1,10*^           | 34,62±1,40*^           | 30,06±1,35^            |
| СІ, л/хв/м <sup>2</sup>       | 1     | 2,74±0,23      | 2,42±0,21*             | 3,29±0,26*             | 2,89±0,23              |
|                               | 2     | 2,42±0,17^     | 2,02±0,15*^            | 3,13±0,21*^            | 2,60±0,19^             |
| ХОК, л/хв                     | 1     | 5,07±0,36      | 4,45±0,31*             | 6,08±0,41*             | 5,34±0,38              |
|                               | 2     | 4,75±0,29^     | 3,94±0,19*^            | 5,93±0,39*^            | 5,10±0,36*^            |
| сАТ, мм рт. ст.               | 1     | 120,02±2,27    | 136,39±4,73*           | 132,94±3,83*           | 123,72±2,61            |
|                               | 2     | 122,47±3,42    | 141,94±4,84*           | 134,71±3,95*           | 126,96±2,83            |
| дАТ, мм рт. ст.               | 1     | 75,14±2,02     | 88,00±3,14*            | 82,01±3,02*            | 77,45±2,76             |
|                               | 2     | 77,25±2,45     | 92,00±4,05*            | 84,88±3,92*            | 81,88±3,51             |
| ЗПОРК, дин*с*см <sup>-5</sup> | 1     | 1421,03±98,01  | 1871,23±114,09*        | 1302,04±109,42*        | 1391,75±102,94         |
|                               | 2     | 1549,68±104,2^ | 2205,74±183,15*^       | 1329,68±121,57*        | 1519,58±142,37^        |

**Примітки:** \* – статистично відмінно порівняно зі станом спокою, ^ – статистично відмінно від значень групи 1 у тому ж періоді спостереження.

Друга хвилина після припинення СН характеризується, навпаки, зниженням величини ЗПОРК порівняно з вихідним станом – на 8,41% (p<0,05) в групі 1, і на 14,21% (p<0,05) в осіб з групи 2. Надалі зафіксована тенденція до відновлення ЗПОРК в обох групах, але різною мірою. Більша величина загального периферичного опору у осіб з групи 2 свідчить про підвищений тонус пре- і посткапілярних судин опору, який спричинюється, скоріше за все, посиленнями базальними симпатичними впливами [11, 12].

Статичне навантаження призводить до однакового характеру змін у серцево-судинній системі незалежно від ІМТ і маси тіла. Різниця в ІМТ визначала лише ступінь прояву тієї чи іншої реакції системи кровообігу. Таким чином, більший прояв феномену Лінгарда (феномен статичних зусиль) було зафіксовано у юнаків з 2 групи. Початкове зниження величин ЧСС, УО і ХОК одразу після СН, наявне в обох групах, спричинене ефектом натужування. Воно викликане підтриманням потужного тонічного зусилля, збільшенням внутрішньогрудного, внутрішньолегеневого тисків, і як наслідок – збільшенням компресії на серце [1, 6]. В умовах стискання кровоносних судин всередині скелетних м'язів під час статичного зусилля обсяг венозного повернення крові до серця знижується [13-15]. Внаслідок реалізації міогенних механізмів діяльності серця це призводить до зменшення величини основних параметрів його роботи, що було зафіксовано нами одразу після СН. Подальше зростання нагнітальної функції серця в осіб обох груп має компенсаторний характер і характеризується прагненням відновити кровообіг у судиннах, які були перетиснуті під час статичного напруження [16, 17]. Підвищення обох видів артеріального тиску під впливом СН може пояснюватися зростанням тиску всередині аорти під час підтримання статичного напруження, що за логікою феномена Анрепа (навантаження серця відтоком) призводить до зростання сили скорочення серця, і як наслідок – до збільшення сАТ і дАТ [18, 19].

З огляду на більший ступінь реактивності системи кровообігу в ранньому періоді адаптації до статично-

го навантаження у осіб з підвищеним ІМТ, а також на той факт, що на останньому терміні спостереження різниця між величинами вимірних параметрів була меншою у групі 1, можна стверджувати, що більш збалансований і ефективний перебіг відновлення після СН відбувався в осіб з нормальним індексом маси тіла.

Підсумовуючи усе вищезазначене, варто зауважити, що більший ступінь прояву феномену Лінгарда в нашому дослідженні зафіксовано у юнаків з підвищеним індексом маси тіла. Можна припустити, що це пов'язане в них зі збільшеним об'ємом циркулюючої крові, більш значним навантаженням на серце і сильнішими симпатичними впливами на діяльність серця і судин. Також можна пояснити такі відмінності не тільки механічним впливом на кровоносні судини м'язів, які працюють в статичному режимі, но і пригніченням під час виконання вправи центральних механізмів, які регулюють функцію кровообігу. Враховуючи, що статичне напруження підтримується імпульсами з осередку збудження у великих півкулях головного мозку, згідно з механізмом одночасної відмінної індукції цей осередок збудження пригнічує діяльність інших нервових центрів, у тому числі і тих, які регулюють постачання тканин киснем. Коли збудження закінчується і м'язи розслаблюються, від них до цих центрів надходять збуджуючі сигнали, які зумовлюють діяльність системи кровообігу [20]. Також можна припустити, що більший відсоток жирової

маси тіла і зв'язані з цим відмінності капілярного русла тканин ускладнюють периферійний кровоток і, таким чином, сприяють гальмуванню регуляторних процесів і підвищенню ЗПОРК.

#### Висновки.

Дозоване статичне навантаження призводить до однакового характеру змін параметрів системи кровообігу у всіх обстежених осіб, незалежно від індексу маси тіла, але ступінь їх прояву є різною. Більш значний прояв феномену Лінгарда був зафіксований у юнаків з підвищеним індексом маси тіла, про що свідчать статистично більш значущі відхилення вимірних параметрів системи кровообігу. Отримані нами результати дозволяють прогнозувати реакцію системи кровообігу на статичне навантаження залежно від величини індексу маси тіла; втім, вони мають бути доповнені дослідженнями з урахуванням інших параметрів композиційного складу тіла (відсоток жирової і м'язової маси тощо).

#### Перспективи подальших досліджень.

Більш ґрунтовні висновки щодо змін центральної гемодинаміки при статичному навантаженні залежно від ІМТ можна буде отримати шляхом вивчення реакції системи кровообігу на СН з врахуванням жирової і м'язової компонент в складі тіла. Це дозволить більш точно розкрити глибинні механізми особливостей реактивних змін центральної гемодинаміки осіб з різним ІМТ на різні режими фізичного навантаження.

### References / Література

1. Bracamonte JH, Saunders SK, Wilson JS, Truong UT, Soares JS. Patient-Specific Inverse Modeling of In Vivo Cardiovascular Mechanics with Medical Image-Derived Kinematics as Input Data: Concepts, Methods, and Applications. *Appl Sci (Basel)*. 2022 Apr 2;12(8):3954. DOI: [10.3390/app12083954](https://doi.org/10.3390/app12083954).
2. Joshi H, Edgell H. Sex differences in the ventilatory and cardiovascular response to supine and tilted metaboreflex activation. *Physiol Rep*. 2019;7(6):e14041. DOI: [10.14814/phy2.14041](https://doi.org/10.14814/phy2.14041).
3. Evaristo S, Moreira C, Lopes L. Muscular fitness and cardiorespiratory fitness are associated with health-related quality of life: Results from labmed physical activity study. *Exerc Sci Fit*. 2019;20(2):55-61.
4. Howe L, Read P, Waldron M. Muscle Hypertrophy: A Narrative Review on Training Principles for Increasing Muscle Mass. *Strength and Condit J*. 2017;39(5):72-81. DOI: [10.1519/SSC.0000000000000330](https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000330).
5. Liokaftos D. Natural bodybuilding: An account of its emergence and development as competition sport. *Int Review Sociol Sport*. 2019;54(6):753-70.
6. Bracamonte JH, Wilson JS, Soares JS. Quantification of the heterogeneous effect of static and dynamic perivascular structures on patient-specific local aortic wall mechanics using inverse finite element modeling and DENSE MRI. *J Biomech*. 2020;138:111-9.
7. Figueroa A, Hooshmand S, Figueroa M, Bada AM. Cardiovascular baroreflex and aortic hemodynamic responses to isometric exercise and post-exercise muscle ischemia in resistance trained men. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(2):305-9. DOI: [10.1111/j.1600-0838.2009.00927.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00927.x).
8. Larson-Meyer DE, Woolf K, Burke L. Assessment of Nutrient Status in Athletes and the Need for Supplementation. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2018;28(2):139-58. DOI: [10.1123/ijisnem.2017-0338](https://doi.org/10.1123/ijisnem.2017-0338).
9. Aragon A, Brad J, Schoenfeld R, Wildman A. International society of sports nutrition position stand: diets and body composition. *J Int Soc Sports Nutr*. 2017;14:14-16. DOI: [10.1186/s12970-017-0174-y](https://doi.org/10.1186/s12970-017-0174-y).
10. James LJ, Funnell MP, James RM, Mears SA. Does Hypohydration Really Impair Endurance Performance? Methodological Considerations for Interpreting Hydration Research. *Sports Med*. 2019;49(2):103-14.
11. Longstrom JM, Colenso-Semple LM, Waddell BJ, Mastrofini G, Trexler ET, Campbell BI. Physiological, Psychological and Performance-Related Changes Following Physique Competition: A Case-Series. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2020;25(5):2-27. DOI: [10.3390/jfkm5020027](https://doi.org/10.3390/jfkm5020027).
12. Notarius CF, Millar PJ, Floras JS. Muscle sympathetic activity in resting and exercising humans with and without heart failure. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2019;40(11):1107-15. DOI: [10.1139/apnm-2015-0289](https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0289).
13. Beaumont A, Grace F, Richards J, Hough J, Oxborough D, Sculthorpe N. Left ventricular speckle tracking-derived cardiac strain and cardiac twist mechanics in athletes: a systematic review and meta-analysis of controlled studies. *Sports Med*. 2017;47(6):1145-70. DOI: [10.1007/s40279-016-0644-4](https://doi.org/10.1007/s40279-016-0644-4).
14. Maden-Wilkinson TM, Balshaw TG, Massey GJ, Folland JP. What makes long-term resistance-trained individuals so strong? A comparison of skeletal muscle morphology, architecture, and joint mechanics. *J. Appl. Physiol*. 2020;128(4):1000-11. DOI: [10.1152/japplphysiol.00224.2019](https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00224.2019).
15. Moore JP, Simpson LL, Drinkhill MJ. Differential contributions of cardiac, coronary and pulmonary artery vagal mechanoreceptors to reflex control of the circulation. *J Physiol*. 2022;600(18):4069-87.
16. Chen H, Chen C, Spanos M, Li G, Lu R, Bei Y, et al. Exercise training maintains cardiovascular health: signaling pathways involved and potential therapeutics. *Signal Transduct Target Ther*. 2022;7(1):1-18.
17. Schuttler D, Clauss S, Weckbach LT, Brunner S. Molecular mechanisms of cardiac remodeling and regeneration in physical exercise. *Cells*. 2019;8(10):11-28. DOI: [10.3390/cells8101128](https://doi.org/10.3390/cells8101128).
18. D'Andrea A, Formisano T, Riegler L, Scarafie R, America R, Martone F, di Maio M, et al. Acute and Chronic Response to Exercise in Athletes: The «Supernormal Heart». *Adv Exp Med Biol*. 2017;999:21-41.
19. DeLorey DS, Clifford PS. Does sympathetic vasoconstriction contribute to metabolism: Perfusion matching in exercising skeletal muscle? *Front Physiol*. 2022;13:980524.
20. Zemtsova II. Sportywna fiziologiya. K.: Olymp. Lit; 2019. 207 s.

# ЗМІНИ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ В ПЕРІОД ШВИДКОГО ВІДНОВЛЕННЯ ПІСЛЯ СТАТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ У ОСІБ З РІЗНИМ ІНДЕКСОМ МАСИ ТІЛА

Бакуновський О. М., Дроздовська С. Б., Ільїн В. М., Філіппов М. М., Пастухова В. А., Скоробогатов А. М., Олійник Т. М.

**Резюме.** У 2020 році минуло 100 років від моменту відкриття Лінгардом феномену статичного зусилля. Глибинну природу феномена, названого іменем відкривача, науковці досліджували і в наступні десятиліття. Останніми роками активно вивчаються глибинні механізми феномену статичних зусиль, в розмінні якого до сих пір лишається багато лакун. Саме тому метою нашої роботи було вивчення реакції серцево-судинної системи в період швидкого відновлення після дозованого статичного навантаження у осіб з різним індексом маси тіла і різною масою тіла. В дослідженні взяли участь 36 осіб чоловічої статі (21 р.), з нормотонічною реакцією системи кровообігу на фізичне навантаження. Залежно від величини індексу маси тіла (ІМТ) юнаків розподілили на 2 групи – особи з нормальним ІМТ (група 1, n=18, ІМТ від 18,8 до 24,9; середнє значення в групі – 21,6, середній зріст 178,2 см, середня маса тіла – 68,4 кг), особи з підвищеним ІМТ (група 2, n=18, обстежені з ІМТ від 27,4 до 30,0; середнє значення в групі – 28,1, середній зріст 177,6 см, середня маса тіла – 77,9 кг). Статичне навантаження створювали 15-секундним утриманням на становому динамометрі ДС-200 зусилля потужністю у 50% від максимальної станової сили. Перед моделюванням навантаження і протягом 3 хвилин після його завершення у всіх обстежених осіб вимірювали основні параметри функціонування системи кровообігу з використанням тетраполярої грудної реоплетизмографії, на діагностичному комплексі «Кардіо+» (Україна). Статистичну обробку одержаних протягом дослідження результатів проводили за допомогою комп'ютерної програми IBM SPSS Statistics (версія 26), з використанням непараметричних методів оцінки отриманих даних.

Нами встановлено особливості реактивних змін і відмінності у гемодинамічній відповіді обстежених юнаків залежно від індексу маси тіла. Статичне навантаження у період швидкого відновлення призводить до однакового характеру змін параметрів серцево-судинної системи у всіх обстежених юнаків, незалежно від індексу маси тіла і маси тіла. Відмінності у величині ІМТ впливають лише на ступінь прояву реактивних змін системи кровообігу. Більш виразний прояв феномену Лінгарда був зафіксований у осіб з підвищеним індексом маси тіла.

**Ключові слова:** система кровообігу, гемодинаміка, відновлення, навантаження.

## CHANGES IN THE CIRCULATORY SYSTEM DURING THE PERIOD OF RAPID RECOVERY AFTER STATIC EXERCISE IN PERSONS WITH DIFFERENT BODY MASS INDEX

Bakunovsky O. M., Drozdovska S. B., Ilyin V. M., Filippov M. M., Pastukhova V. A., Skorobogatov A. M., Oliynyk T. M.

**Abstract.** In 2020, 100 years have passed since Lingard discovered the phenomenon of static effort. The deep nature of the phenomenon, named after the discoverer, was studied by scientists in the following decades. In recent years, the deep mechanisms of the phenomenon of static forces have been actively studied, in the exchange of which there are still many gaps. That is why the purpose of our work was to study the reaction of the cardiovascular system during the period of rapid recovery after dosed static exercise in people with different body mass index and different body weight. 36 men (21 years old) with a normotonic reaction of the circulatory system to physical exertion took part in the study. Depending on the value of the body mass index (BMI), the young men were divided into 2 groups – persons with a normal BMI (group 1, n=18; BMI from 18,8 to 24,9; average value in the group – 21,6; average height 178,2 cm; average body weight – 68,4 kg), individuals with increased BMI (group 2, n=18; examined with BMI from 27,4 to 30,0; average value in the group – 28,1; average height 177,6 cm; average body weight – 77,9 kg). Static load was created by holding for 15 seconds on a static dynamometer DS-200 force with a power of 50% of the maximum static force. Before the simulation of the load and within 3 minutes after its completion, the main parameters of the functioning of the circulatory system were measured in all examined persons using tetrapolar thoracic rheoplethysmography, on the computerized diagnostic complex «Cardio+» (Ukraine). Statistical processing of the results obtained during the research was carried out using the computer program IBM SPSS Statistics (version 26), using non-parametric methods of evaluating the obtained data.

We established the peculiarities of reactive changes and differences in the hemodynamic response of the examined young men depending on the body mass index. Static load during the period of rapid recovery leads to the same nature of changes in the parameters of the cardiovascular system in all examined young men, regardless of body mass index and body weight. Differences in BMI affect only the degree of manifestation of reactive changes in the circulatory system. A more pronounced manifestation of the Lingard phenomenon was recorded in persons with an increased body mass index.

**Key words:** circulatory system, hemodynamics, recovery, load.

### ORCID and contributionship / ORCID автора та його внесок до статті:

Bakunovsky O. M.: [0000-0001-6546-1025](https://orcid.org/0000-0001-6546-1025)<sup>ABDE</sup>  
 Drozdovska S. B.: [0000-0002-6211-5204](https://orcid.org/0000-0002-6211-5204)<sup>DEF</sup>  
 Ilyin V. M.: [0000-0001-7140-0659](https://orcid.org/0000-0001-7140-0659)<sup>DEF</sup>  
 Filippov M. M.: [0000-0001-5096-7445](https://orcid.org/0000-0001-5096-7445)<sup>DEF</sup>  
 Pastukhova V. A.: [0000-0002-4091-913X](https://orcid.org/0000-0002-4091-913X)<sup>AEF</sup>  
 Skorobogatov A. M.: [0009-0001-4368-0451](https://orcid.org/0009-0001-4368-0451)<sup>CDE</sup>  
 Oliynyk T. M.: [0000-0003-4685-1479](https://orcid.org/0000-0003-4685-1479)<sup>DC</sup>

**Conflict of interest / Конфлікт інтересів:**

The authors of the article confirm that they have no conflict of interest. / Автори статті підтверджують відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Pastukhova Viktoriia Anatoliivna / Пастухова Вікторія Анатоліївна

National University of Ukraine on Physical Education and Sport / Національний університет фізичного виховання і спорту України

Ukraine, 02000, Kyiv, 1 Fizkultury str. / Адреса: Україна, 02000, м. Київ, вул. Фізкультури 1

Tel.: +380986714958 / Тел.: +380986714958

E-mail: [Pastuhova\\_V@ukr.net](mailto:Pastuhova_V@ukr.net)

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

**Received 14.03.2023 / Стаття надійшла 14.03.2023 року**

**Accepted 25.08.2023 / Стаття прийнята до друку 25.08.2023 року**

DOI 10.29254/2077-4214-2023-3-170-158-167

UDC 612.74.,612.886.,612.776.1.,612.1:796

**Komolafe D. O., Filippov M. M.**

## **THE VALUE OF BLOOD OXYGEN CAPACITY FOR THE DEVELOPMENT OF EXERCISE HYPOXIA**

**National University of Ukraine on Physical Education and Sport (Kyiv, Ukraine)**

[ll.komolafe@gmail.com](mailto:ll.komolafe@gmail.com)

*The article discusses the factors that can limit oxygen consumption and performance during moderate power work. This study aimed to identify how changes in the oxygen-binding properties of blood affect its oxygen transport function and modes of oxygen mass transfer during exercise hypoxia. We examined 12 adolescent girls aged 14-16 who suffered secondary anaemia due to juvenile bleeding (Hb concentration -  $10.9 \pm 0.76$  g%). For control, 14 healthy girls of the same age were examined (Hb -  $12.2 \pm 0.14$  g%). The girls performed stair climbing for 5 minutes (power of such work  $\approx 50$  W, intensity  $\approx 35$ -45% of maximum oxygen consumption). As a result of the present study, we analysed various variants of changes in certain indicators of oxygen mass transfer modes. We were able to investigate the role of one of the regulators of the oxygen transport function of the blood, which significantly affects the supply of oxygen to working tissues. It was the oxygen-carrying capacity of the blood, which is determined by the haemoglobin content in the blood. It was found that a decrease in the oxygen capacity of the blood contributes to an increase in the oxygen cost of work and oxygen debt. At the same time, the functions of external respiration and haemodynamics are intensified to a greater extent than in healthy individuals, but their efficiency in supplying tissues and organs with oxygen is sharply reduced, and the degree of exercise hypoxia increases, which is confirmed by the development of venous hypoxaemia.*

**Key words:** oxygen capacity of the blood, mass transfer of oxygen in the body and its consumption, muscle activity, physical performance.

### **Connection of the publication with planned research works.**

The authors obtained the results of these studies in the course of the research work of the National University of Ukraine on Physical Education and Sport (Department of Medical and Biological Disciplines) on the topic: "Features of somatic, visceral and sensory systems in qualified athletes at different stages of training" (state registration number 0116U001614).

#### **Introduction.**

The study of the mechanisms of development and compensation of oxygen deficiency of various genesis is one of the most pressing problems of modern physiology, pathophysiology, and medicine [1]. Unlike other hypoxic states, the anaemic form of hemic hypoxia is characterised by several specific conditions of occurrence and mechanisms of development, course and compensation of impaired functions [2]. It is known that at rest, a 20% decrease in blood oxygen capacity com-

pared to the norm is almost completely compensated for by increased cardiac activity, which ensures the necessary oxygen supply to organs and tissues, and secondary tissue hypoxia does not develop [3]. The literature has limited and fragmentary data on what changes in the mass transfer process and oxygen utilisation cause such a decrease in muscle activity.

#### **The aim of the study.**

To conduct a study to determine how changes in the oxygen-binding properties of blood affect its oxygen transport function and modes of oxygen mass transfer during exercise hypoxia

#### **Object and research methods.**

We studied the modes of oxygen mass transfer in the body (OMT) of 12 adolescent girls aged 14-16 years suffering from secondary anaemia due to juvenile bleeding (Hb concentration -  $10.9 \pm 0.76$  g%). For control, 14 healthy girls of the same age were examined (Hb -  $12.2 \pm 0.14$  g%). Girls of both groups performed the