

DOI 10.29254/2077-4214-2022-3-166-482-491

UDC 796.015.6:612.824

*Malyuga S. S., Lukyantseva H. V., Bakunovsky O. M.***FEATURES OF CHANGES IN THE WORK OF THE HEART AND CENTRAL HEMODYNAMICS DURING THE PERIOD OF EARLY RECOVERY AFTER STATO-DYNAMIC PHYSICAL EXERCISE**

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

lukjantseva@gmail.com

The cardiovascular system's key role in ensuring an athlete's physical performance is the adaptation of which to various types of physical exertion is one of the leading issues of adaptation in sports of higher achievements and health-improving motor activity. The specifics of changes in the work of the heart and blood vessels under a mixed load mode are not sufficiently covered in the special scientific literature, therefore the purpose of the work was to study the specifics of changes in central hemodynamics during the early recovery period after stato-dynamic exercise.

In the study, 34 male adolescents were examined, divided into three groups – group 1 (11 young bodybuilders), group 2 (11 people engaged in fitness) and group 3 (12 untrained people). The static-dynamic loading mode was modeled by repeatedly alternately holding on to the static dynamometer DS-500 for 15 seconds at the effort level of 50% and 25% of the maximum effort. Registration of indicators of cardiovascular activity was carried out using the computerized diagnostic complex "Cardio+" (Ukraine).

Young bodybuilders in a state of rest differ in a greater degree of training and adaptation of the cardiovascular system than persons engaged in fitness and untrained young men. The circulatory system of bodybuilders and exercisers shows the opposite response to a mixed exercise regimen—in bodybuilders, it responds to static-dynamic exercise as a dynamic exercise regimen, while young exercisers show a response type of response to static mode of exercises. That is, the reaction of the circulatory system to a mixed load regime coincides with the response to the type of exercise for which the body is least trained. The circulatory system of bodybuilders is characterized by a greater degree of efficiency of the heart and blood vessels than that of untrained individuals and young people engaged in fitness.

Key words: stato-dynamic load, circulatory system.

Connection of the publication with planned research works. The work is a fragment of the research work of the Department of Medical and Biological Sciences 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 exertion of various intensities" (state registration number 012U108187).

Introduction. One of the leading systems in implementing and limiting the body's physical capacity is the cardiovascular system, and the peculiarities of its adaptive reactions to various modes of physical exertion are one of the key problematic issues of adaptation in sports [1-3]. Modern directions of health-improving motor activity, as well as sports of higher achievements, are characterized by a significant intensification of the duration, intensity and volume of muscle work [4-6], which can cause the appearance and development of such pre-pathological and pathological changes in the activity of the heart and blood vessels as arrhythmias, hypertrophic cardiomyopathy, myocarditis, myocardial dystrophy, etc. [7, 8]. Without considering the functional aspects of the adaptation of the circulatory system, the above conditions can cause deaths during sports [9, 10].

The regular physical exertion of static, dynamic and mixed regimes leads to specific adaptive changes in executive organs and mechanisms of regulation of the circulatory system, resulting in remodeling of the heart, changes in its pumping function and hemody-

namic indicators [11, 12]. Assessment of the characteristics of changes in heart function and the reaction of central hemodynamics to the combination of a complex of strength loads with endurance exercises (stato-dynamic load) is the optimal approach for determining an adequate type of physical activity. Inadequate coverage of this issue requires modern science to conduct more detailed comparative studies of the impact of various kinds of loads on the indicators of the circulatory system.

The study aims to determine the characteristics of changes in heart function and central hemodynamics during the early recovery period after stato-dynamic physical exertion.

Object and research methods. In the study, 34 practically healthy young men (21 years old) without bad habits were examined, who were divided into 3 groups – group 1 (11 young men engaged in bodybuilding), group 2 (11 people engaged in fitness) and group 3 (12 untrained persons). Young men with a normotonic circulatory system response to physical exertion were included in the examined groups.

The study was conducted by international norms of bioethics and the legislation of Ukraine. Each of the subjects received information about the purpose, means and procedure of conducting the study and gave written consent to participate in the study. The research was conducted in the morning, after at least 15 minutes of passive rest, after the examinee arrived

at the laboratory to eliminate potential stressful effects on the activity of the circulatory system.

In all groups examined, before the test with static-dynamic load (SDL), the maximum arbitrary static force was determined using a static dynamometer DS-500, the level of effort corresponding to the level of 50% and 25% of the maximum static force was noted. The static-dynamic loading mode was modeled by repeatedly holding 50% and 25% effort levels for 15 seconds. Registration of indicators of cardiovascular activity was carried out using the computerized diagnostic complex "Cardio+" (Ukraine). The following indicators of central hemodynamics were evaluated – heart rate (HR), stroke volume (SV), stroke index (SI), cardiac index (CI), cardiac minute index (CMI), capacitive ejection velocity (CEV), volumetric flow rate (VFR) minute blood volume (MBV), specific peripheral resistance (SPR), total peripheral resistance (TPR), as well as blood pressure – systolic (sBP), diastolic (dBP), pulse (pBP), medium-dynamic (mdBP).

Statistical data processing was carried out using the IBM SPSS Statistics program (version 26) using non-parametric methods for evaluating the obtained results.

Research results and their discussion. The average values of indicators of heart function and central hemodynamics of the examined persons before stato-dynamic physical exertion, as well as during the early recovery period after it, are shown in **tables 1-3**. As can be seen from **tables 1-3**, individuals of group 1 have the lowest heart rate (74 bpm) compared to representatives of group 2 (81.17 bpm on average) and group 3 (85.41 bpm on average). The observed phenomenon of physiological bradycardia indicates a greater degree of myocardial training in bodybuilders compared to untrained individuals and those who practice fitness. Immediately after SDL, a slight increase in heart rate was recorded in the examined groups 1 and 3 (by 3.46% in group 1, by 6.63% in group 3, $p < 0.05$), with a gradual return to the initial state.

In contrast to them, immediately after stato-dynamic exercise, a decrease in heart rate by an average of 3.7 bpm (4.58%, $p < 0.05$) was recorded in individuals of group 2, followed by an increase 1 min after the exercise on average by 9 sc/min and a gradual return to the indicators of the initial state after 3 min after stato-dynamic exercises.

The marked trend of changes in the work of the heart is also characteristic of the SV indicator, which increased against SDL in

Table 1 – Changes in indicators of heart function and central hemodynamics during the early recovery period after stato-dynamic exercise in group 1

Indicator	Before SDL	Immediately after the SDL	After 1 min. after SDL	After 2 min. after SDL	After 3 min. after SDL
Heart rate, bp/s	74±0,85	76,6±0,8*	75,4±1,7*	74,8±1,5	74,5±1,0
SV, ml	85,4±3,0	110,7±2,3*	93,4±1,9*	88,7±1,9*	85,8±2,9
SI, ml/m ²	43,8±3,5	56,9±5,6*	48,1±4,6*	45,6±3,8	44,0±3,4
CI, l/min/m ²	3,2±0,3	4,4±0,4*	3,6±0,4*	3,4±0,3	3,3±0,2
CMI, kg*m/m ²	4,2±0,3	6,2±0,5*	5,0±0,4*	4,5±0,3*	4,2±0,3
SWI, g*m/m ²	56,2±3,9	80,4±6,5*	66,4±5,2*	60,4±3,6*	56,7±3,9
VFR, ml/s	329,4±12,9	443,3±14,5*	406,6±16,1*	370,4±15,9*	334,9±13,2
sBP, mmHg. Art.	119,7±2,2	130,4±4,2*	128,1±4,4*	123,6±3,8	120,7±1,9
dBP, mmHg. Art.	77,9±4,9	86,4±3,8*	84,4±4,1*	80,6±5,6	77,9±4,9
pBP, mmHg. Art.	41,7±4,4	44,0±4,5*	43,7±5,7*	43,0±6,2	42,9±3,9
mdBP, mmHg. Art.	91,8±3,6	101,1±3,3*	99±3,2*	94,9±4,1	92,1±3,7
MBV, l/min	6,3±0,24	8,5±0,2*	7,1±0,2*	6,6±0,2*	6,4±0,2
SPR, co	28,5±3,1	23,6±2,9*	27,2±3,2	27,8±3,3	28,3±2,9
TPR, dyn*s/cm ⁵	1163,3±59,2	954,4±31,7*	1125,2±46,1*	1143,9±41,9	1153,7±56,7

Notes: Here and then – *reliably compared to the value before the SDL of the own group; ^reliably compared to the similar indicator of group 1; #reliably compared to the similar indicator of group 2.

persons engaged in bodybuilding by 25.4 ml, and in untrained persons by 7.5 ml (all – with $p < 0.05$). As in the case of heart rate, in subjects practicing fitness, SDL led to a decrease in SV by 4.0 ml ($p < 0.05$). The decrease in SV immediately after SDL in people who are engaged in fitness can be explained by the fact that due to the static component of the exercises, there is compression of the veins, followed by a significant decrease in the venous outflow. The further increase of SV is a consequence of the realization of the Anrep phenomenon when compression of the veins disappears, and SV increases compensatory. The absence of an initial decrease in SV in the bodybuilders can be explained by their training for static exercises and, as a result, the presence of many shunting vessels.

Similar changes are also inherent for the SI indicator, which in individuals of group 1 increased reliably by 13.1 ml/m²; an increase in this parameter by 3.8 ml/m² ($p < 0.05$) was recorded in group 3 individuals. On the other hand, in individuals of group 2, SI initially decreased by 2.1 ml ($p < 0.05$) immediately after SDL, and after 1 min increased by 2.96 ml, with a gradual return to initial values. The opposite fluctuations of SV explain

Table 2 – Changes in indicators of heart function and central hemodynamics during the early recovery period after stato-dynamic exercise in group 2

Indicator	Before SDL	Immediately after the SDL	After 1 min. after SDL	After 2 min. after SDL	After 3 min. after SDL
Heart rate, bp/s	81,2±1,5^	77,5±1,0*	86,6±1,4^*	84,4±1,1^*	81,9±0,4^*
SV, ml	68,2±2,0^	64,2±1,7^*	78,2±1,5^*	73,7±1,9^*	69,5±1,6^
SI, ml/m ²	35,8±2,7^	33,7±2,6^	38,8±2,8^*	37,2±2,5^	36,5±2,9^
CI, l/min/m ²	2,9±0,2^	2,61±0,2^	3,6±0,3*	3,3±0,2*	3,0±0,2^
CMI, kg*m/m ²	3,7±0,4^	4,42±0,3^*	5,1±0,4*	4,4±0,4*	3,9±0,4^
SWI, g*m/m ²	45,9±4,3^	50,6±3,7^*	58,9±4,4^*	52,5±4,1^*	47,5±4,3^
VFR, ml/s	293,1±7,1^	275,3±6,6^*	336,2±8,3^*	319,3±7,2^*	301,1±6,9^
sBP, mmHg. Art.	120,3±2,9	142,9±6,4^*	134,3±4,5^*	127,1±2,7^*	121,4±2,4
dBP, mmHg. Art.	77,1±3,9	89,3±3,5*	86,7±2,4*	81,7±3,7*	78,6±2,4
pBP, mmHg. Art.	43,1±3,8	53,6±8,0^*	47,6±4,4*	45,4±3,6	42,9±2,7
mdBP, mmHg. Art.	91,5±3,2	107,1±2,7^*	102,6±2,5^*	96,9±2,9*	92,9±2,9
MBV, l/min	5,5±0,2^	5,0±0,1^	6,8±0,2^*	6,2±0,2^*	5,7±0,2^*
SPR, co	31,7±2,5^	41,3±4,1^*	29,0±2,4*	29,8±2,1^	31,2±2,5^
TPR, dyn*s/cm ⁵	1325,2±62,4^	1724,0±66,1^*	1213,1±35,4^*	1247,4±56,2^*	1305,8±41,1^

Table 3 – Changes in indicators of heart function and central hemodynamics during the early recovery period after stato-dynamic exercise in group 3

Indicator	Before SDL	Immediately after the SDL	After 1 min. after SDL	After 2 min. after SDL	After 3 min. after SDL
Heart rate, bp/s	85,4±3,4 ^{^#}	91,1±3,6 ^{^#*}	88,9±3,8 ^{^*}	87,2±3,6 ^{^#}	86,2±3,3 ^{^#}
SV, ml	56,1±4,6 ^{^#}	63,5±4,6 ^{^*}	60,8±4,8 ^{^#}	58,8±4,8 ^{^#}	56,8±4,6 ^{^#}
SI, ml/m ²	28,6±5,0 ^{^#}	32,4±5,4 ^{^*}	31,0±5,2 ^{^#}	29,9±5,2 ^{^#}	28,9±5,1 ^{^#}
CI, l/min/m ²	2,4±0,5 ^{^#}	2,9±0,5 ^{^*}	2,8±0,5 ^{^#}	2,6±0,5 ^{^#}	2,5±0,5 ^{^#}
CMI, kg*m/m ²	3,1±0,5 ^{^#}	4,2±0,7 ^{^*}	3,8±0,7 ^{^#*}	3,5±0,6 ^{^#*}	3,2±0,5 ^{^#}
SWI, g*m/m ²	36,2±5,3 ^{^#}	46,3±7,1 ^{^#*}	42,8±6,9 ^{^#*}	40,1±6,3 ^{^#}	37,6±5,7 ^{^#}
VFR, ml/s	267,7±5,1 ^{^#}	318,2±18,1 ^{^#*}	302,3±14,2 ^{^#*}	287,4±10,8 ^{^#*}	272,1±8,6 ^{^#}
sBP, mmHg. Art.	120,3±2,8	135,4±5,7 [*]	131,1±4,9 [*]	128,1±5,3 [*]	124,4±3,2
dBp, mmHg. Art.	76,4±6,8	86,0±5,7 [*]	82,5±4,6 [*]	79,8±5,8	77,5±6,6
pBP, mmHg. Art.	43,9±7,6	49,4±9,8 [*]	48,6±8,6 ^{^*}	48,4±9,5	46,9±7,0
mdBP, mmHg. Art.	91,0±4,6	102,5±3,4 ^{^#*}	98,7±2,4 ^{^#*}	95,9±3,4 [*]	93,1±4,6
MBV, l/min	4,8±0,4 ^{^#}	5,8±0,5 ^{^*}	5,4±0,5 ^{^#*}	5,1±0,5 ^{^#}	4,9±0,5 ^{^#}
SPR, co	38,5±7,7 ^{^#}	35,8±6,3 ^{^*}	36,9±6,9 ^{^#}	37,8±7,5 ^{^#}	38,5±7,7 ^{^#}
TPR, dyn*s/cm ⁵	1534,1±180,5 ^{^#}	1425,7±134,8 ^{^#*}	1469,8±136,9 ^{^#}	1507,2±161,1 ^{^#}	1536,3±176,5 ^{^#}

the noted features of SI changes in different groups immediately after the SNL – it increases in bodybuilders and untrained individuals, and in people engaged in fitness – it decreases due to a decrease in the venous return of blood to the heart caused by compression of the large veins during the static component of the SNL.

One of the criteria for dividing people according to the type of hemodynamics is the cardiac index, according to which the hypokinetic type with low cardiac index values ($CI < 2.75$ l/min/m²) is distinguished, in contrast to the hyperkinetic type, which is characterized by CI values higher than 3.49 l/min/m². With average values, the kind of blood circulation is interpreted as eukinetic. According to the initial CI values of the persons examined by us, we can state that untrained persons belong to the hypokinetic type of hemodynamics (average value of CI 2.44 l/min/m²), and persons engaged in bodybuilding and fitness, respectively, to the eukinetic type (average values CI 3.24 and 2.91 l/min/m², respectively). Immediately after SDL, the cardiac index was characterized by a significant increase in individuals of group 1, which amounted to 1.12 l/min/m² ($p < 0.05$), to a lesser extent, but also a reliably determined parameter increased in untrained individuals by 0.51 l/min/m². As in the case of the previous indicators, the value of CI in persons engaged in fitness decreased compared to the value of the initial state – from 2.9 to 2.6 l/min/m² ($p < 0.05$), with a subsequent increase to the level of 3.6 l/min/m² ($p < 0.05$) and a gradual return to the initial state.

Indicators such as the index of minute work of the heart and the index of the heart's percussive work show a tendency to a reliable increase immediately after SDL with a gradual return to the initial parameters in individuals of all three examined groups. CMI immediately after SDL significantly increased in bodybuilders (by 47.8%), least in fitness (by 18.8%), and in untrained individuals by 36.5%. The SWI indicator is characterized by the same trend, which immediately after SDL increased to the greatest extent in people of group 1 – by 43.1%, in people of group 2 – by 10.1%, in representatives of group 3 – by 27.9% (all from < 0.05). After an initial SDL-induced increase, CMI and SWI gradually returned to baseline values in all subjects by 3 min post-exercise.

The same trend characterizes the dynamics of the VFR indicator as in the case of changes in HR, SV, CI and CI parameters, i.e., in individuals of groups 1 and 3, VFR increases reliably immediately after SDL (by 113.9 ml/s in group 1), to a lesser extent – in group 3 (by 50.6 ml/s) with a gradual return to initial values. The marked increase in VFR is due to an increase in SV immediately after SDL and a decrease in ejection

time due to an increase in HR. In contrast to groups 1 and 3, in people of group 2, on the contrary, the VFR parameter decreases by 17.8 ml/s ($p < 0.05$), followed by an increase after 1 min and a gradual return to initial values within 3 min. The reported decrease in VFR in exercisers is due to an initial decrease in SV and an increase in ejection time. In general, the VFR indicator in people of group 2, as in the case of the HR, SV, SI, and CI parameters, shows tendencies towards changes characteristic of the reaction of the blood circulation system of the mentioned persons to the physical load of a static nature, shown by us earlier.

All measured blood pressure indicators (sBP, dBp, pBP, mdBP) in the subjects of all three groups were characterized by a unidirectional nature of changes – immediately after SDL, they showed a tendency to increase, followed by restoration of the initial state values within 3 minutes. Only the degree of marked pressure fluctuations differed depending on the group. Although all the examined individuals are characterized by a normotonic reaction of the circulatory system, in the case of SDL, no group recorded a decrease in dBp immediately after SDL, which indicates the predominant influence of the static component of the specified load regime on the reaction of blood vessels.

The analysis of central hemodynamic indicators showed that the MBV parameter experienced the most significant fluctuations in individuals of group 1, which immediately after SDL increased by 2.16 l/min (by 34.2%, $p < 0.05$), the parameter that was determined to a lesser extent increased in individuals of group 3 and amounted to 1.0 l (increase immediately after SDL by 20.9%, $p < 0.05$). A significant increase in MBV in bodybuilders is explained by a significant rise in SV immediately after SDL and, in general, resembles the reaction of the circulatory system of these individuals to dynamic load, which was shown by us earlier. In Group 2 subjects, MBV decreased by 0.56 l/min immediately after SDL and then increased significantly to 6.77 l/min, followed by a return to baseline. The reduction in MBV in exercisers is a consequence of the decrease in HR and SV caused by the static component of SDL. The subsequent increase in MBV is compensatory and is explained by the increase in both HR and SV after cessation of exercise.

The peculiarities of SPR and TPR parameters are the fact that they are also distinguished by opposite trends in individuals of groups 1 and 3 (significant decrease immediately after SDL followed by recovery within 3 min), in contrast to representatives of group 2 (significant increase immediately after exercise, followed by falling below baseline 1 min after SDL, followed by a gradual return to baseline. The recorded features of SPR and TPR changes are consequences of SV changes caused by static or dynamic components of SDL.

Summing up all of the above, it is worth noting that the persons examined by us, who are engaged in bodybuilding, are distinguished by a greater degree of training, the adaptation of the cardiovascular system, as evidenced by the presence of physiological bradycardia, increased SV, VFR, CMI, SWI, etc. The circulatory response of group 1 individuals to SDL generally resembles that in response to dynamic loading, to which bodybuilders are less adapted than exercisers. In turn, the representatives of group 2 occupy an intermediate position regarding the indicators of the cardiovascular system in the initial state, which indicates that they are more adapted to physical exercises than untrained individuals but less adapted than bodybuilders. The circulatory system of persons engaged in fitness to SDL is generally reminiscent of that in response to a static load, to which these individuals are less adapted than to a load in a dynamic mode.

Conclusions.

1. In their initial state, representatives of group 1 (who are engaged in bodybuilding) differ in a greater degree of training and adaptation of the cardiovascular system than persons involved in fitness and untrained young men.

2. The circulatory system of the examined persons reacts to the stato-dynamic (mixed) load regime in the same way as to the type of exercises to which the representatives of the specified groups are the least adapted – the cardiovascular system of young bodybuilders and untrained persons reacts to the stato-dynamic loads as to a dynamic mode of exercise, while young men engaged in fitness demonstrate a response to mixed training as a static mode of practice.

3. Untrained individuals are characterized by a hypokinetic type of hemodynamics, in contrast to young bodybuilders and people of the same age engaged in fitness, who have a eukinetic type of blood circulation.

4. The reaction of the cardiovascular system of young bodybuilders to a mixed regimen of exercises indicates a greater degree of efficiency of the heart and central hemodynamics than in untrained individuals and young men engaged in fitness.

Prospects for further research. It is planned to investigate the peculiarities of changes in peripheral hemodynamics of persons of different qualifications of sports representatives with a predominant manifestation of endurance.

References

1. Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Front Physiol.* 2017;4(8):447.
2. Schoenfeld B, Grgic J. Evidence-based guidelines for resistance training volume to maximize muscle hypertrophy. *Strength Cond J.* 2018;40(4):107-12.
3. Fluck M, Kramer M, Fitze DP, Kasper S, Franchi MV, Valdivieso P. Cellular Aspects of Muscle Specialization demonstrate genotype – phenotype interaction effects in athletes. *Front Physiol.* 2018;8(10):526.
4. Vinnichuk YuD, Polischchuk AO, Goshovska YV, Sokolova OS, Sagach VF, Drozdovska SB. Changes in biochemical parameters and mitochondrial factor in blood of amateur athletes under influence of marathon running. *Fiziol Zh.* 2019;65(5):20-7. [in Ukrainian].
5. Longstrom JM, Colenso-Semple LM, Waddell BJ, Mastrofini G, Trexler ET, Campbell BI. Physiological, psychological and performance-related changes following physique competition: A Case-Ser. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2020;5(2):27-35.
6. 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.
7. Pelliccia A, Sharma S, Gati S, Back M, Borjesson M, Caselli S, et al. Corrigendum to: 2020 ESC Guidelines on Sports Cardiology and Exercise in Patients with Cardiovascular Disease. *Eur Heart J.* 2021;42(5):548-9.
8. Marrakchi S, Kammoun I, Bennour E, Laroussi L, Ben Miled M, Kachboura S. Inherited primary arrhythmia disorders: cardiac channelopathies and sports activity. *Herz.* 2020;45(2):142-57.
9. Mont L, Pelliccia A, Sharma S, Biffi A, Borjesson M, Terradellas JB, et al. Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. *Eur J Prev Cardiol.* 2017;24:41-69.
10. Doleeb S, Kratz A, Salter M, Thohan V. Strong muscles, weak heart: testosterone-induced cardiomyopathy. *ESC Heart Fail.* 2019;6(5):1000-4.
11. Fagerberg P. Negative consequences of low energy availability in natural male bodybuilding: A Review. *Int J Sport Nutr Exe Metab.* 2018;28(4):385-402.
12. Radmilovic J, D'Andrea A, D'Amato A, Tagliamonte E, Sperlongano S, Riegler L, et al. Echocardiography in Athletes in Primary Prevention of 2 Sudden Death. *J Cardiovascul Echogr.* 2019;29(4):139-48.

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН РОБОТИ СЕРЦЯ І ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ У ПЕРІОД РАНЬОГО ВІДНОВЛЕННЯ ПІСЛЯ СТАТО-ДИНАМІЧНОГО ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Малюга С. С., Лук'янцева Г. В., Бакуновський О. М.

Резюме. Сучасний спорт вищих досягнень, так само як і оздоровча рухова активність, характеризуються значною інтенсифікацією тривалості, інтенсивності та обсягів м'язової роботи, що може спричинити появу та розвиток передпатологічних і патологічних змін діяльності серця та судин. Вони, в свою чергу, можуть стати причиною смертельних випадків при неоптимальних навантаженнях в спорті. Регулярні фізичні навантаження призводять до специфічних адаптивних перебудов в системі кровообігу, наслідком чого є зміни нагнітальної функції серця і функціонування кровонесних судин.

Мета дослідження – визначення особливостей змін роботи серця та центральної гемодинаміки в період раннього відновлення після stato-динамічного фізичного навантаження. Нами було обстежено 3 групи юнаків- бодібілдери (1 група), ті, які займаються фітнесом (2 група), нетреновані особи (3 група). Ре-

естрацію показників діяльності ССС до та після стато-динамічного навантаження проводили за допомогою комп'ютеризованого діагностичного комплексу «Кардіо+» (Україна).

Обстежені нами особи-бодіблдери відрізняються більшим ступенем тренуваності, адаптації серцево-судинної системи, про що свідчать наявність фізіологічної брадикардії, збільшений ударний об'єм, об'ємна швидкість вигнання, а також індекси ударної та хвилинної роботи серця. Реакція системи кровообігу бодіблдерів на змішаний тип вправ нагадує таку у відповідь на динамічне навантаження, до якого бодіблдери адаптовані меншою мірою, ніж особи, які займаються фітнесом. В свою чергу, система кровообігу осіб, які займаються фітнесом, відповідає на змішаний режим навантаження ідентично до такової на статичне навантаження, до якого означені особи менш адаптовані, ніж до динамічних вправ. Також представники 2 групи займають проміжне положення щодо показників серцево-судинної системи у вихідному стані, що свідчить про те, що вони є більш адаптованими до фізичних вправ, ніж нетреновані особи, але менш адаптовані, ніж бодіблдери.

Ключові слова: стато-динамічне навантаження, система кровообігу.

FEATURES OF CHANGES IN THE WORK OF THE HEART AND CENTRAL HEMODYNAMICS DURING THE PERIOD OF EARLY RECOVERY AFTER STATO-DYNAMIC PHYSICAL EXERCISE

Malyuga S. S., Lukyantseva H. V., Bakunovsky O. M.

Abstract. Modern high-achieving sports, as well as recreational motor activities, are characterized by a significant intensification of the duration, intensity and volume of muscle work, which can cause the appearance and development of pre-pathological and pathological changes in the activity of the heart and blood vessels. They, in turn, can become the cause of fatal accidents with suboptimal loads in sports. Regular physical exertion leads to specific adaptive changes in the circulatory system, resulting in changes in the pumping function of the heart and the functioning of blood vessels.

The purpose of the study is to study the characteristics of changes in heart function and central hemodynamics in the period of early recovery after stato-dynamic physical exertion. We examined 3 groups of young bodybuilders (group 1), those engaged in fitness (group 2), untrained individuals (group 3). Registration of indicators of cardiovascular activity before and after static-dynamic exercise was carried out using the computerized diagnostic complex "Cardio+" (Ukraine).

The bodybuilders examined by us are distinguished by a greater degree of training and adaptation of the cardiovascular system, which is evidenced by the presence of physiological bradycardia, increased stroke volume, volumetric ejection velocity, as well as indexes of the heart's stroke and minute work. The response of the circulatory system of bodybuilders to a mixed type of exercise resembles that in response to a dynamic load, to which bodybuilders are less adapted than individuals engaged in fitness. In turn, the circulatory system of people engaged in fitness responds to a mixed load mode identically to that of a static load, to which these individuals are less adapted than to dynamic exercises. Also, the representatives of the 2nd group occupy an intermediate position regarding the indicators of the cardiovascular system in the initial state, which indicates that they are more adapted to physical exercises than untrained individuals, but less adapted than bodybuilders.

Key words: stato-dynamic load, circulatory system.

ORCID and contributionship:

Malyuga S. S.: 0000-0002-8833-3269 ^{BCD}

Lukyantseva H. V.: 0000-0002-8054-0108 ^{ADEF}

Bakunovsky O. M.: 0000-0001-6546-1025 ^{AEF}

Conflict of interest:

The Authors declare no conflict of interest.

Corresponding author

Lukyantseva Halyna Volodymyrivna

National University of Ukraine on Physical Education and Sport

Ukraine, 02000, Kyiv, 1 Fizkultury str.

Tel.: 0975777765

E-mail: lukjantseva@gmail.com

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.

Received 06.03.2022

Accepted 15.09.2022

**ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН РОБОТИ СЕРЦЯ І ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ
У ПЕРІОД РАНЬОГО ВІДНОВЛЕННЯ****ПІСЛЯ СТАТО-ДИНАМІЧНОГО ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

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

lukjantseva@gmail.com

Ключову роль у забезпеченні фізичної працездатності спортсмена є серцево-судинна система, пристосування якої до різних видів фізичних навантажень є одним з провідних питань адаптації у спорті вищих досягнень та оздоровчій руховій активності. Особливості змін роботи серця та кровоносних судин на змішаний режим навантаження недостатньо висвітлено у спеціальній науковій літературі, тому метою роботи було дослідження особливостей змін центральної гемодинаміки в період раннього відновлення після стато-динамічного фізичного навантаження.

В дослідженні було обстежено 34 особи чоловічої статі юнацького віку, розподілені на 3 групи – група 1 (11 юнаків-бодібілдерів), група 2 (11 осіб, які займаються фітнесом) і група 3 (12 нетренованих осіб). Стато-динамічний режим навантаження моделювали кількаразовим почерговим утриманням на становому динамометрі ДС-500 протягом 15 секунд рівня зусиль 50% та 25% від максимального зусілля. Реєстрацію показників діяльності ССС проводили за допомогою комп'ютеризованого діагностичного комплексу «Кардіо+» (Україна).

Юнаки-бодібілдери у стані спокою відрізняються більшим ступенем тренуваності і адаптації серцево-судинної системи, ніж особи, які займаються фітнесом та нетреновані юнаки. Система кровообігу бодібілдерів та осіб, які займаються фітнесом, демонструє протилежний тип відповіді на змішаний режим навантаження – у бодібілдерів вона реагує на стато-динамічні навантаження як на динамічний режим вправ, в той час як юнаки, які займаються фітнесом, демонструють відповідь за типом реакції на статичний режим вправ. Тобто, реакція системи кровообігу на змішаний режим навантаження збігається з відповіддю на той вид вправ, до якого організм найменш тренований. Система кровообігу бодібілдерів відрізняється більшим ступенем ефективності роботи серця та кровоносних судин, ніж у нетренованих осіб та юнаків, які займаються фітнесом.

Ключові слова: стато-динамічне навантаження, система кровообігу.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами. 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. Однією з найбільш провідних систем у реалізації та лімітуванні фізичної працездатності організму є серцево-судинна система, а особливості її пристосувальних реакцій до різних режимів фізичних навантажень представляють собою одне з ключових проблемних питань адаптації у спорті [1-3]. Сучасні напрями оздоровчої рухової активності, так само, як і спорт вищих досягнень, характеризуються значною інтенсифікацією тривалості, інтенсивності та обсягів м'язової роботи [4-6], що може спричинити появу та розвиток таких передпатологічних і патологічних змін діяльності серця та судин, як аритмії, гіпертрофічна кардіоміопатія, міокардити, дистрофія міокарда тощо [7, 8]. Без врахування функціональних аспектів адаптації системи кровообігу вищенаведені стани можуть стати причиною смертельних випадків при заняттях спортом [9, 10].

Регулярні фізичні навантаження статичного, динамічного та змішаного режимів призводять до специфічних адаптивних змін виконавчих органів і меха-

нізмів регуляції системи кровообігу, наслідком чого є ремоделювання серця, зміни його насосної функції та показників гемодинаміки [11, 12]. Оцінка особливостей змін роботи серця та реакції центральної гемодинаміки на поєднання комплексу силових навантажень з вправами на витривалість (стато-динамічне навантаження) є оптимальним підходом для визначення адекватного різновиду фізичної активності. Недостатнє висвітлення означеної проблематики вимагає від сучасної науки більш докладних порівняльних досліджень впливу різних видів навантажень на показники діяльності системи кровообігу.

Мета дослідження – визначення особливостей змін роботи серця та центральної гемодинаміки в період раннього відновлення після стато-динамічного фізичного навантаження.

Об'єкт і методи дослідження. В дослідженні було обстежено 34 практично здорових осіб чоловічої статі юнацького віку (21 рік) без шкідливих звичок, які були розподілені на 3 групи – група 1 (11 юнаків, які займаються бодібілдингом), група 2 (11 осіб, які займаються фітнесом) і група 3 (12 нетренованих осіб). До груп обстежених були включені юнаки з нормотонічним типом реакції системи кровообігу на фізичне навантаження.

Дослідження проведено відповідно до міжнародних норм біоетики і законодавства України. Кожен з обстежуваних отримав інформацію стосовно мети, засобів та порядку проведення дослідження і надав

Таблиця 1 – Зміна показників роботи серця і центральної гемодинаміки в період раннього відновлення після статодинамічного навантаження в групі 1

показник	До СДН	Одразу після СДН	Через 1хв. після СДН	Через 2 хв. після СДН	Через 3 хв. після СДН
ЧСС, уд/с	74±0,85	76,6±0,8*	75,4±1,7*	74,8±1,5	74,5±1,0
УО, мл	85,4±3,0	110,7±2,3*	93,4±1,9*	88,7±1,9*	85,8±2,9
УІ, мл/м ²	43,8±3,5	56,9±5,6*	48,1±4,6*	45,6±3,8	44,0±3,4
СІ, л/хв/м ²	3,2±0,3	4,4±0,4*	3,6±0,4*	3,4±0,3	3,3±0,2
ІХРС, кг*м/м ²	4,2±0,3	6,2±0,5*	5,0±0,4*	4,5±0,3*	4,2±0,3
ІУРС, г*м/м ²	56,2±3,9	80,4±6,5*	66,4±5,2*	60,4±3,6*	56,7±3,9
ОШВ, мл/с	329,4±12,9	443,3±14,5*	406,6±16,1*	370,4±15,9*	334,9±13,2
сАТ, мм рт. ст.	119,7±2,2	130,4±4,2*	128,1±4,4*	123,6±3,8	120,7±1,9
дАТ, мм рт. ст.	77,9±4,9	86,4±3,8*	84,4±4,1*	80,6±5,6	77,9±4,9
пАТ, мм рт. ст.	41,7±4,4	44,0±4,5*	43,7±5,7*	43,0±6,2	42,9±3,9
сдАТ, мм рт. ст.	91,8±3,6	101,1±3,3*	99,3±2*	94,9±4,1	92,1±3,7
ХОК, л/хв	6,3±0,24	8,5±0,2*	7,1±0,2*	6,6±0,2*	6,4±0,2
ППО, уо	28,5±3,1	23,6±2,9*	27,2±3,2	27,8±3,3	28,3±2,9
ЗПО, дін*с/см ⁵	1163,3±59,2	954,4±31,7*	1125,2±46,1*	1143,9±41,9	1153,7±56,7

Примітки: Тут і надалі – *достовірно порівняно з значенням до СДН власної групи; [^]дост порівняно з аналогічним показником групи 1; # дост порівняно з аналогічним показником групи 2.

письмову згоду на участь у дослідженні. Дослідження проводили вранці, мінімум через 15 хвилин пасивного відпочинку після прибуття обстежуваного до лабораторії з метою нівелювання потенційних стресових впливів на діяльність системи кровообігу.

У обстежених всіх груп до проведення проби з статодинамічним навантаженням (СДН) визначали максимальну довільну станову силу за допомогою станового динамометра ДС-500, відмічали рівень зусилля, яке відповідало рівню 50% та 25% від максимальної станової сили. Статодинамічний режим навантаження моделювали кількарізним почерговим утриманням протягом 15 секунд рівня зусиль 50% та 25%. Реєстрацію показників діяльності ССС проводили за допомогою комп'ютеризованого діагностичного комплексу «Кардіо+» (Україна). Оцінювали наступні показники центральної гемодинаміки – частоту серцевих скорочень (ЧСС), ударний об'єм (УО), ударний індекс (УІ), серцевий індекс (СІ), індекс хвилинної роботи серця (ІХРС), індекс ударної роботи серця (ІУРС), об'ємну швидкість вигнання (ОШВ), хвилинний об'єм крові (ХОК), питомий периферич-

Таблиця 2 – Зміна показників роботи серця і центральної гемодинаміки в період раннього відновлення після статодинамічного навантаження в групі 2

показник	До СДН	Одразу після СДН	Через 1хв. після СДН	Через 2 хв. після СДН	Через 3 хв. після СДН
ЧСС, уд/с	81,2±1,5 [^]	77,5±1,0*	86,6±1,4 ^{^*}	84,4±1,1 ^{^*}	81,9±0,4 ^{^*}
УО, мл	68,2±2,0 [^]	64,2±1,7 ^{^*}	78,2±1,5 ^{^*}	73,7±1,9 ^{^*}	69,5±1,6 [^]
УІ, мл/м ²	35,8±2,7 [^]	33,7±2,6 [^]	38,8±2,8 ^{^*}	37,2±2,5 [^]	36,5±2,9 [^]
СІ, л/хв/м ²	2,9±0,2 [^]	2,61±0,2 [^]	3,6±0,3*	3,3±0,2*	3,0±0,2 [^]
ІХРС, кг*м/м ²	3,7±0,4 [^]	4,42±0,3 ^{^*}	5,1±0,4*	4,4±0,4*	3,9±0,4 [^]
ІУРС, г*м/м ²	45,9±4,3 [^]	50,6±3,7 ^{^*}	58,9±4,4 ^{^*}	52,5±4,1 ^{^*}	47,5±4,3 [^]
ОШВ, мл/с	293,1±7,1 [^]	275,3±6,6 ^{^*}	336,2±8,3 ^{^*}	319,3±7,2 ^{^*}	301,1±6,9 [^]
сАТ, мм рт. ст.	120,3±2,9	142,9±6,4 ^{^*}	134,3±4,5 ^{^*}	127,1±2,7 ^{^*}	121,4±2,4
дАТ, мм рт. ст.	77,1±3,9	89,3±3,5*	86,7±2,4*	81,7±3,7*	78,6±2,4
пАТ, мм рт. ст.	43,1±3,8	53,6±8,0 ^{^*}	47,6±4,4*	45,4±3,6	42,9±2,7
сдАТ, мм рт. ст.	91,5±3,2	107,1±2,7 ^{^*}	102,6±2,5 ^{^*}	96,9±2,9*	92,9±2,9
ХОК, л/хв	5,5±0,2 [^]	5,0±0,1 [^]	6,8±0,2 ^{^*}	6,2±0,2 ^{^*}	5,7±0,2 ^{^*}
ППО, уо	31,7±2,5 [^]	41,3±4,1 ^{^*}	29,0±2,4*	29,8±2,1 [^]	31,2±2,5 [^]
ЗПО, дін*с/см	1325,2±62,4 [^]	1724,0±66,1 ^{^*}	1213,1±35,4 ^{^*}	1247,4±56,2 ^{^*}	1305,8±41,1 [^]

ний опір (ППО), загальний периферичний опір (ЗПО), а також артеріальний тиск – систолічний (сАТ), діастолічний (дАТ), пульсовий (пАТ), середньо-динамічний (сдАТ).

Статистичну обробку даних проведено за допомогою програми IBM SPSS Statistics (версія 26) з використанням непараметричних методів оцінки отриманих результатів.

Результати дослідження та їх обговорення. Середні значення показників роботи серця і центральної гемодинаміки обстежених осіб до статодинамічного фізичного навантаження, а також в період раннього відновлення після нього наведені у **таблицях 1-3**. Як видно з **таблиць 1-3**, у осіб 1 групи зареєстровано найменше значення ЧСС (74 ск/хв) порівняно з представниками групи 2 (в середньому 81,17 ск/хв) та групи 3 (в середньому 85,41 ск/хв). Означене явище фізіологічної брадикардії

свідчить про більший ступінь тренуваності міокарду у осіб, які займаються бодібілдингом, порівняно з нетренованими особами та тими, хто практикує заняття фітнесом. Одразу після СДН у обстежених 1 та 3 груп було зафіксовано незначне зростання ЧСС (на 3,46% в групі 1, на 6,63% в групі 3, $p < 0,05$), з поступовим поверненням до вихідного стану. На відміну від них, в осіб групи 2 одразу після статодинамічного навантаження зафіксовано зменшення ЧСС в середньому на 3,7 ск/хв (4,58%, $p < 0,05$), з наступним зростанням через 1 хв після навантаження в середньому на 9 ск/хв і поступовим поверненням до показників вихідного стану через 3 хв після статодинамічних вправ.

Означена тенденція змін у роботі серця є характерною також для показника УО, який зріс на тлі СДН у осіб, які займаються бодібілдингом, на 25,4 мл, а у нетренованих осіб – на 7,5 мл (усе – з $p < 0,05$). Так само, як і у випадку ЧСС, у осіб, які практикують заняття фітнесом, СДН призвело до зменшення УО на 4,0 мл ($p < 0,05$). Зменшення УО одразу після СДН у осіб, які займаються фітнесом, може пояснюватися тим фактом, що внаслідок статичного компоненту вправ спостерігається перетискання вен з наступним суттєвим зниженням венозного відтоку. Подальше зростання УО є наслідком реалізації феномена Анрепа, коли перетискання вен зникає і УО компенсаторно збільшується. Відсутність початкового зменшення УО в групі бодібілдерів може пояснюватися їх тренуваністю до статичних вправ, і, як наслідок – наявністю великої кількості шунтуючих судин.

Аналогічний характер змін є притаманним також для показника УІ, який у осіб 1 групи достовірно зріс на 13,1 мл/м²; у осіб 3 групи зафіксовано збільшення цього параметра на 3,8 мл/м² (p<0,05). Натомість, у осіб 2 групи УІ спочатку зменшився на 2,1 мл (p<0,05) одразу після СДН, а через 1 хв збільшився на 2,96 мл, з поступовим поверненням до вихідних значень. Означені особливості змін УІ в різних групах пояснюються протилежними коливаннями УО одразу після СДН – у бодіблдерів і нетренованих осіб він зростає, а у осіб, які займаються фітнесом – знижується внаслідок зменшення венозного повернення крові до серця, спричиненого перетисканням великих вен при виконанні статичного компоненту СДН.

Одним з критеріїв розподілу людей відповідно до типу гемодинаміки є серцевий індекс, згідно з яким виділяють гіпокінетичний тип з низькими значеннями серцевого індексу (СІ<2,75 л/хв/м²), на відміну від гіперкінетичного, який характеризується значеннями СІ вище за 3,49 л/хв/м². При середніх значеннях тип кровообігу трактують як еукінетичний. Згідно з вихідними значеннями СІ обстежених нами осіб дозволяють стверджувати, що нетреновані особи належать до гіпокінетичного типу гемодинаміки (середнє значення СІ 2,44 л/хв/м²), а особи, які займаються бодіблдингом та фітнесом, відповідно – до еукінетичного типу (середні значення СІ 3,24 та 2,91 л/хв/м² відповідно). Одразу після СДН показник серцевого індексу характеризується суттєвим зростанням в осіб групи 1, яке склало 1,12 л/хв/м² (p<0,05), в меншому ступені, але також достовірно означений параметр зріс у нетренованих осіб – на 0,51 л/хв/м². Так само, як у випадку попередніх показників, значення СІ у осіб, які займаються фітнесом, знизилася порівняно зі значенням вихідного стану – з 2,9 до 2,6 л/хв/м² (p<0,05), з наступним збільшенням до рівня 3,6 л/хв/м² (p<0,05) і поступовим поверненням до вихідного стану.

Такі показники, як індекс хвилинної роботи серця та індекс ударної роботи серця, демонструють тенденцію до достовірного зростання одразу після СДН з поступовим поверненням до вихідних параметрів у осіб всіх трьох обстежених груп. Найбільшою мірою ІХРС одразу після СДН достовірно збільшився у осіб, які займаються бодіблдингом (на 47,8%), найменшою мірою – у осіб, які займаються фітнесом (на 18,8%), у нетренованих осіб – на 36,5%. Такою самою тенденцією характеризується показник ІУРС, який одразу після СДН найбільшою мірою зріс у осіб групи 1 – на 43,1%, у осіб групи 2 – на 10,1%, у представників групи 3 – 27,9% (усе – з p<0,05). Після початкового зростання, яке було спричинено СДН, показники ІХРС

Таблиця 3 – Зміна показників роботи серця і центральної гемодинаміки в період раннього відновлення після стато-динамічного навантаження в групі 3

показник	До СДН	Одразу після СДН	Через 1хв. після СДН	Через 2 хв. після СДН	Через 3 хв. після СДН
ЧСС, уд/с	85,4±3,4 ^{^#}	91,1±3,6 ^{^#*}	88,9±3,8 ^{^*}	87,2±3,6 ^{^#}	86,2±3,3 ^{^#}
УО, мл	56,1±4,6 ^{^#}	63,5±4,6 ^{^*}	60,8±4,8 ^{^#}	58,8±4,8 ^{^#}	56,8±4,6 ^{^#}
УІ, мл/м ²	28,6±5,0 ^{^#}	32,4±5,4 ^{^*}	31,0±5,2 ^{^#}	29,9±5,2 ^{^#}	28,9±5,1 ^{^#}
СІ, л/хв/м ²	2,4±0,5 [^]	2,9±0,5 ^{^*}	2,8±0,5 ^{^#}	2,6±0,5 ^{^#}	2,5±0,5 ^{^#}
ІХРС, кг*м/м ²	3,1±0,5 ^{^#}	4,2±0,7 ^{^*}	3,8±0,7 ^{^#*}	3,5±0,6 ^{^#*}	3,2±0,5 ^{^#}
ІУРС, г*м/м ²	36,2±5,3 ^{^#}	46,3±7,1 ^{^#*}	42,8±6,9 ^{^#*}	40,1±6,3 ^{^#}	37,6±5,7 ^{^#}
ОШВ, мл/с	267,7±5,1 ^{^#}	318,2±18,1 ^{^#*}	302,3±14,2 ^{^#*}	287,4±10,8 ^{^#*}	272,1±8,6 ^{^#}
сАТ, мм рт. ст.	120,3±2,8	135,4±5,7 [*]	131,1±4,9 [*]	128,1±5,3 [*]	124,4±3,2
дАТ, мм рт. ст.	76,4±6,8	86,0±5,7 [*]	82,5±4,6 [*]	79,8±5,8	77,5±6,6
пАТ, мм рт. ст.	43,9±7,6	49,4±9,8 [*]	48,6±8,6 ^{^*}	48,4±9,5	46,9±7,0
сдАТ, мм рт. ст.	91,0±4,6	102,5±3,4 ^{^#}	98,7±2,4 ^{^#}	95,9±3,4 [*]	93,1±4,6
ХОК, л/хв	4,8±0,4 ^{^#}	5,8±0,5 ^{^*}	5,4±0,5 ^{^#*}	5,1±0,5 ^{^#}	4,9±0,5 ^{^#}
ППО, уо	38,5±7,7 ^{^#}	35,8±6,3 ^{^*}	36,9±6,9 ^{^#}	37,8±7,5 ^{^#}	38,5±7,7 ^{^#}
ЗПО, дін*с/см	1534,1±180,5 ^{^#}	1425,7±134,8 ^{^#*}	1469,8±136,9 ^{^#}	1507,2±161,1 ^{^#}	1536,3±176,5 ^{^#}

та УІРС поступово поверталися до вихідних значень у всіх обстежених осіб через 3 хв після навантаження.

Динаміка показника ОШВ характеризується такою самою тенденцією, як у випадку змін параметрів ЧСС, УО, УІ та СІ, тобто, у осіб 1 та 3 груп ОШВ достовірно зростає одразу після СДН (на 113,9 мл/с в групі 1), меншою мірою – у групі 3 (на 50,6 мл/с) з поступовим поверненням до вихідних значень. Означене збільшення ОШВ пояснюється зростанням УО одразу після СДН, а також зменшенням часу вигнання внаслідок зростання ЧСС. На відміну від груп 1 та 3, у осіб групи 2 параметр ОШВ навпаки, зменшується на 17,8 мл/с (p<0,05), з наступним зростанням через 1 хв та поступовим поверненням до вихідних значень протягом 3 хв. Зафіксоване зниження ОШВ у осіб, які займаються фітнесом, пояснюється початковим зменшенням УО і зростанням часу вигнання крові. В цілому, показник ОШВ у осіб 2 групи, як і випадку параметрів ЧСС, УО, УІ та СІ, демонструє тенденції до змін, властивих реакції системи кровообігу означених осіб на фізичне навантаження статичного характеру, показане нами раніше.

Усі виміряні показники артеріального тиску (сАТ, дАТ, пАТ, сдАТ) у обстежених осіб всіх трьох груп відзначалися однонаправленим характером змін – одразу після СДН демонстрували тенденцію до зростання з наступним відновленням значень вихідного стану протягом 3 хв. Відрізнялися лише ступінь означених коливань тиску залежно від групи. Не дивлячись на той факт, що усі обстежені особи характеризуються нормотонічною реакцією системи кровообігу, у випадку СДН в жодній групі не зафіксовано зменшення дАТ одразу після СДН, що вказує на переважний вплив статичного компоненту означеного режиму навантаження на реакцію кровоносних судин.

Аналіз показників центральної гемодинаміки засвідчив, що найбільших коливань зазнав параметр ХОК у осіб групи 1, який одразу після СДН зріс на 2,16 л/хв (на 34,2%, p<0,05), меншою мірою означений параметр збільшився у осіб групи 3 і склав 1,0 л (зростання одразу після СДН на 20,9%, p<0,05). Значне зростання ХОК у бодіблдерів пояснюється суттєвим збільшенням УО одразу після СДН і в цілому, нагадує реакцію системи кровообігу означених осіб

на динамічне навантаження, яке було показано нами раніше. У осіб групи 2 ХОК знизився на 0,56 л/хв одразу після СДН, а потім значно зріс до рівня 6,77 л/хв із наступним поверненням до вихідного стану. Зменшення ХОК у осіб, які займаються фітнесом, є наслідком зменшення ЧСС та УО, викликаним статичним компонентом СДН. Подальше зростання ХОК має компенсаторний характер і пояснюється зростанням як ЧСС, так і УО після припинення навантаження.

Особливостями параметрів ППО та ЗПО є той факт, що вони також вирізняються протилежними тенденціями у осіб 1 і 3 групи (достовірно зменшення одразу після СДН з наступним відновленням протягом 3 хв), на відміну від представників групи 2 (значне зростання одразу після навантаження, з наступним падінням нижче вихідного стану через 1 хв після СДН, потім – поступове повернення до вихідного стану). Зареєстровані особливості змін ППО і ЗПО є наслідками змін УО, спричинених статичним або динамічним компонентами СДН.

Підводячи підсумок усьому вищенаведеному, варто зазначити, що обстежені нами особи, які займаються бодібілдингом, відрізняються більшим ступенем тренуваності, адаптації серцево-судинної системи, про що свідчать наявність фізіологічної брадикардії, збільшений УО, ОШВ, ІХРС, ІУРС тощо. Реакція системи кровообігу осіб групи 1 на СДН в цілому нагадує таку у відповідь на динамічне навантаження, до якого бодібілдери адаптовані меншою мірою, ніж особи, які займаються фітнесом. В свою чергу, представники групи 2 займають проміжне положення щодо показників серцево-судинної системи у вихідному стані, що свідчить про те, що вони є більш адаптованими до фізичних вправ, ніж нетреновані

особи, але менш адаптовані, ніж бодібілдери. Реакція системи кровообігу осіб, які займаються фітнесом на СДН, в цілому нагадує таку у відповідь на статичне навантаження, до якого означені особи менш адаптовані, ніж до навантаження у динамічному режимі.

Висновки.

1. Представники 1 групи (які займаються бодібілдингом), у вихідному стані відрізняються більшим ступенем тренуваності і адаптації серцево-судинної системи, ніж особи, які займаються фітнесом та нетреновані юнаки.

2. Система кровообігу обстежених осіб реагує на стато-динамічний (змішаний) режим навантаження так само, як на той тип вправ, до якого представники означених груп найменш адаптовані – серцево-судинна система юнаків-бодібілдерів та нетренованих осіб реагує на стато-динамічні навантаження як на динамічний режим вправ, в той час як юнаки, які займаються фітнесом, демонструють реакцію на змішані вправи як на статичний режим фізичного навантаження.

3. Нетреновані особи характеризуються гіпокінетичним типом гемодинаміки, на відміну від юнаків-бодібілдерів та осіб того ж віку, які займаються фітнесом, в яких зафіксовано еукінетичний тип кровообігу.

4. Реакція серцево-судинної системи юнаків-бодібілдерів на змішаний режим вправ свідчить про більший ступінь ефективності роботи серця та центральної гемодинаміки, ніж у нетренованих осіб та юнаків, які займаються фітнесом.

Перспективи подальших досліджень. Планується дослідити особливості змін периферичної гемодинаміки осіб різної кваліфікації представників видів спорту з переважним проявом витривалості.

Література

1. Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Front Physiol.* 2017;4(8):447.
2. Schoenfeld B, Grgic J. Evidence-based guidelines for resistance training volume to maximize muscle hypertrophy. *Strength Cond J.* 2018;40(4):107-12.
3. Fluck M, Kramer M, Fitze DP, Kasper S, Franchi MV, Valdivieso P. Cellular Aspects of Muscle Specialization demonstrate genotype – phenotype interaction effects in athletes. *Front Physiol.* 2018;8(10):526.
4. Vinnichuk YuD, Polischchuk AO, Goshovska YV, Sokolova OS, Sagach VF, Drozdovska SB. Changes in biochemical parameters and mitochondrial factor in blood of amateur athletes under influence of marathon running. *Fiziol Zh.* 2019;65(5):20-7. [in Ukrainian].
5. Longstrom JM, Colenso-Semple LM, Waddell BJ, Mastrofini G, Trexler ET, Campbell BI. Physiological, psychological and performance-related changes following physique competition: A Case-Ser. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2020;5(2):27-35.
6. 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.
7. Pelliccia A, Sharma S, Gati S, Back M, Borjesson M, Caselli S, et al. Corrigendum to: 2020 ESC Guidelines on Sports Cardiology and Exercise in Patients with Cardiovascular Disease. *Eur Heart J.* 2021;42(5):548-9.
8. Marrakchi S, Kammoun I, Bennour E, Laroussi L, Ben Miled M, Kachboura S. Inherited primary arrhythmia disorders: cardiac channelopathies and sports activity. *Herz.* 2020;45(2):142-57.
9. Mont L, Pelliccia A, Sharma S, Biffi A, Borjesson M, Terradellas JB, et al. Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. *Eur J Prev Cardiol.* 2017;24:41-69.
10. Doleeb S, Kratz A, Salter M, Thohan V. Strong muscles, weak heart: testosterone-induced cardiomyopathy. *ESC Heart Fail.* 2019;6(5):1000-4.
11. Fagerberg P. Negative consequences of low energy availability in natural male bodybuilding: A Review. *Int J Sport Nutr Exe Metab.* 2018;28(4):385-402.
12. Radmilovic J, D'Andrea A, D'Amato A, Tagliamonte E, Sperlongano S, Riegler L, et al. Echocardiography in Athletes in Primary Prevention of 2 Sudden Death. *J Cardiovascul Echogr.* 2019;29(4):139-48.

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН РОБОТИ СЕРЦЯ І ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ У ПЕРІОД РАНЬОГО ВІДНОВЛЕННЯ ПІСЛЯ СТАТО-ДИНАМІЧНОГО ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Малюга С. С., Лук'янцева Г. В., Бакуновський О. М.

Резюме. Сучасний спорт вищих досягнень, так само як і оздоровча рухова активність, характеризуються значною інтенсифікацією тривалості, інтенсивності та обсягів м'язової роботи, що може спричинити появу та розвиток передпатологічних і патологічних змін діяльності серця та судин. Вони, в свою чергу, можуть стати причиною смертельних випадків при неоптимальних навантаженнях в спорті. Регулярні фізичні навантажен-

ня призводять до специфічних адаптивних перебудов в системі кровообігу, наслідком чого є зміни нагнітальної функції серця і функціонування кровонесних судин.

Мета дослідження – визначення особливостей змін роботи серця та центральної гемодинаміки в період раннього відновлення після стато-динамічного фізичного навантаження. Нами було обстежено 3 групи юнаків- бодібілдери (1 група), ті, які займаються фітнесом (2 група), нетреновані особи (3 група). Реєстрацію показників діяльності ССС до та після стато-динамічного навантаження проводили за допомогою комп'ютеризованого діагностичного комплексу «Кардіо+» (Україна).

Обстежені нами особи-бодібілдери відрізняються більшим ступенем тренуваності, адаптації серцево-судинної системи, про що свідчать наявність фізіологічної брадикардії, збільшений ударний об'єм, об'ємна швидкість вигнання, а також індекси ударної та хвилинної роботи серця. Реакція системи кровообігу бодібілдерів на змішаний тип вправ нагадує таку у відповідь на динамічне навантаження, до якого бодібілдери адаптовані меншою мірою, ніж особи, які займаються фітнесом. В свою чергу, система кровообігу осіб, які займаються фітнесом, відповідає на змішаний режим навантаження ідентично до такової на статичне навантаження, до якого означені особи менш адаптовані, ніж до динамічних вправ. Також представники 2 групи займають проміжне положення щодо показників серцево-судинної системи у вихідному стані, що свідчить про те, що вони є більш адаптованими до фізичних вправ, ніж нетреновані особи, але менш адаптовані, ніж бодібілдери.

Ключові слова: стато-динамічне навантаження, система кровообігу.

FEATURES OF CHANGES IN THE WORK OF THE HEART AND CENTRAL HEMODYNAMICS DURING THE PERIOD OF EARLY RECOVERY AFTER STATO-DYNAMIC PHYSICAL EXERCISE

Malyuga S. S., Lukyantseva H. V., Bakunovsky O. M.

Abstract. Modern high-achieving sports, as well as recreational motor activities, are characterized by a significant intensification of the duration, intensity and volume of muscle work, which can cause the appearance and development of pre-pathological and pathological changes in the activity of the heart and blood vessels. They, in turn, can become the cause of fatal accidents with suboptimal loads in sports. Regular physical exertion leads to specific adaptive changes in the circulatory system, resulting in changes in the pumping function of the heart and the functioning of blood vessels.

The purpose of the study is to study the characteristics of changes in heart function and central hemodynamics in the period of early recovery after stato-dynamic physical exertion. We examined 3 groups of young bodybuilders (group 1), those engaged in fitness (group 2), untrained individuals (group 3). Registration of indicators of cardiovascular activity before and after static-dynamic exercise was carried out using the computerized diagnostic complex "Cardio+" (Ukraine).

The bodybuilders examined by us are distinguished by a greater degree of training and adaptation of the cardiovascular system, which is evidenced by the presence of physiological bradycardia, increased stroke volume, volumetric ejection velocity, as well as indexes of the heart's stroke and minute work. The response of the circulatory system of bodybuilders to a mixed type of exercise resembles that in response to a dynamic load, to which bodybuilders are less adapted than individuals engaged in fitness. In turn, the circulatory system of people engaged in fitness responds to a mixed load mode identically to that of a static load, to which these individuals are less adapted than to dynamic exercises. Also, the representatives of the 2nd group occupy an intermediate position regarding the indicators of the cardiovascular system in the initial state, which indicates that they are more adapted to physical exercises than untrained individuals, but less adapted than bodybuilders.

Key words: stato-dynamic load, circulatory system.

ORCID кожного автора та їх внесок до статті.

Malyuga S. S.: 0000-0002-8833-3269 ^{BCD}

Lukyantseva H. V.: 0000-0002-8054-0108 ^{ADEF}

Bakunovsky O. M.: 0000-0001-6546-1025 ^{AEF}

Конфлікт інтересів:

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Адреса для кореспонденції

Лук'янцева Галина Володимирівна

Національний університет фізичного виховання і спорту України

Адреса: Україна, 02000, м. Київ, вул. Фізкультури 1

Тел.: 0975777765

E-mail: lukjantseva@gmail.com

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.

Стаття надійшла 06.03.2022 року
Стаття прийнята до друку 15.09.2022 року