

METABOLIC AND HORMONAL RESPONSES OF HANDBALL PLAYERS TO THE STANDARD TRAINING EFFORT

Metabolic and hormonal responses to the training

BENEDYKT H. OPASZOWSKI^{1,2}, ANDRZEJ KRAWCZYK³,
ZBIGNIEW OBMIŃSKI¹, JOLANTA ROJEK¹

¹ *Institute of Sport in Warsaw, Department of Endocrinology*

² *Faculty of Physical Education in Biała Podlaska, Department of Physiology*

³ *The Josef Pilsudski University of Physical Education in Warsaw*

Mailing address: Benedykt H. Opaszowski, Institute of Sport, 2/16 Trylogii Street, 01-982 Warszawa, tel.: +48 22 8340812, fax: +48 22 8350977, e-mail: benopa@wp.pl

Abstract

Introduction. The aim of this study was to evaluate the metabolic and hormonal responses to the standard physical training of general development nature of the handball players differentiated by the players position on the field. **Material and methods.** The blood samples were examined for lactate concentration (LA) in whole blood, and cortisol (C), testosterone (T) and growth hormone (GH) in plasma before and after 1-hour training session. **Results.** It was found that the effort did not affect the concentration of C and T, whereas GH levels increased on average by 375%. Only in the case of the goalkeepers an increase in cortisol levels and the largest in comparison with other post-effort GH level were observed. In the case of the remaining players post-effort changes in concentrations of GH were significantly lower. Minor hormonal reactions of renal cortex and pituitary may be explained by better adaptation to the effort of active formations players (backcourt and pivot), as well as a relatively low intensity of the efforts carried out during the training session. Post-effort LA average level of 1.7 ± 0.39 mmol/L indicates a dominant share of aerobic processes in the metabolic workout energy security. **Conclusions.** The study revealed the usefulness of hormonal-metabolic indicators in monitoring to the physiological reaction of players undergoing a standard training session and its variation due to the positioning of a player on the field.

Key words: handball, training effort, lactate, cortisol, testosterone, GH

Introduction

Proper selection of the physical burdens of training sessions is vital in shaping the physiological adaptation to the start-up effort. Both, too small and too large, a biological cost incurred by the athlete's organism during training makes it difficult to achieve the expected results of training and reduces the chance of a good result in the sporting competitions. This situation requires monitoring of physiological responses during training sessions and taking into account the results obtained in observation in subsequent plans of training.

Physiological classification of intensity of physical effort takes into account, inter alia, balance between aerobic and anaerobic processes in the energy security of the effort. Participation of aerobic processes is determined by the size of oxygen consumption during effort, while the contribution of anaerobic processes can be assessed on the basis of the size of the oxygen debt after its completion. Oxygen uptake during exercise depends on many factors, such as intensity of effort, the degree of adaptation to the efforts and quantitative composition of fibre types in the working muscles [1, 2, 3, 4]. Also, heart rate from the period of physiological balance during exercise may affect intensity of organism transformations securing the effort metabolism and indicate, in respect of

maximum heart rate (HR_{max}) the exertion tolerance, similarly as the current ratio of oxygen consumption for the "aerobic ceiling" identifies physiological margin of safety for the individual.

One of the systems regulating the metabolism of effort is a hormonal system and its impact through the humoral chemical transmitters on the mobilization and utilization of energy substrates during muscle work related to the physical exercise of different structure/format and different power. Physical training has an impact on the processes of adaptation to physical effort, appearing regularly as a result of repeated physical efforts. The functional status of the organism and response to start-up or training load may be inferred from measurements and analysis of changes in many indicators - physiological, biochemical, hormonal. Physical effort is a potent physiological stimulus for the burst of hormones including cortisol, but mainly growth hormone (GH) [5, 6, 7, 8]. Hormone secretion is increased when the duration of the effort and its intensity reaches a certain threshold value [9, 10, 11]. Higher levels of hormones in the blood are observed when the energy effort anaerobic processes predominate, leading to a significant metabolic acidosis [6, 11, 12, 13]. Efforts less intense, in which the energy source is aerobic processes, stimulate more active endocrine system only if their duration is sufficiently

long, which induces a state of physical exhaustion. In the case of growth hormone also increased body temperature, induced by exercise is one of the factors increasing its secretion, while the low outdoor temperature and, consequently, lower body temperature after exercise inhibit the activity of pituitary hormones during exercise [14, 15, 16]. In addition to the above-mentioned factors, the phase of the training cycle plays a significant impact on the size of hormonal response. Increased adaptation to the anaerobic efforts in the post-training period manifests itself in reduced secretion of hormones in spite of more work done [7, 13].

Changes in concentrations of selected hormones in the blood can provide objective information about the biological effects of applied physical loads [17, 18, 19]. Adaptation under the influence of training to the physical effort decides on a biological substrate, and general physical fitness resulting from a specific type/kind of sport practiced, it is one of the factors determining the sports result. In addition, the image of hormonal responses may provide valuable information about the player body's response to the applied load in terms of its training level, or may signal the symptoms of fatigue, over-training, or indicate a low efficiency of training stimuli used in the process of increasing exercise tolerance.

The aim of this study was to evaluate the metabolic and hormonal responses to the standard general physical training of handball players, and to answer the question whether there is a diversity of biological responses associated with the position players on the field.

Material and methods

The study covered 13 players of 1st-league club (age 21.5 ± 3.09 years; body height 184.4 ± 5.69 cm; weight 84.5 ± 10.23 kg; BMI 24.8 ± 2.31), differentiated by the positions on the field during a game (5 wing, 3 pivot, 3 backcourt and 2 goalkeepers). All subjects between 7:00-8:00 p.m. have undergone the same general training in the sports hall, the structure adapted to the phase of the training cycle. Training regimen included: warm-up run – 5 min; stretching exercises – 5 min; complementary games (soccer) – 10 min; various forms of 1 kg medicine ball passes – 6 x 1 min; 10 min of soccer; jumping exercises; soccer game – 10 min; 6 x 40 m with 15 s intervals; 10 minutes of soccer; 10 x 8 hurdles (80 cm in height); stretching and relaxing. Total training time was 60 minutes. The study report was approved by the ethics committee, and the players after being informed about potential threats have agreed to participate in the study.

Before and after the training the measurements were made: of body weight and heart rate (HR) by palpation method at the radial artery. Capillary blood samples were taken from subjects' earlobes before training and after its completion. In the blood, the concentrations of the LA were measured by the DR LANGE (GERMANY) set. In the same sample of plasma, the cortisol (C) concentrations were determined, testosterone (T) and growth hormone (GH) by immunoassay method (ELISA) by DRG (GERMANY) kits. The value of anabolic-catabolic balance was determined using the concentration ratio expressing the ratio T/C by the formula:

$$T/C = \frac{\text{testosterone (nmol/l)}}{\text{cortisol (nmol/l)}} \times 100.$$

Additionally, in the 30th minute of the training the heart rate (HR) was checked by the palpation method on the radial artery. After the training, the players individually assessed the burden of one hour training unit according to the scale adopted by the trainer to assess the severity of training (from 1 to 5 points).

Statistical analysis was performed using the statistical package STATISTICA version 8.0. The analysis included average \pm SD, coefficients of simple correlation, t-Student's test for dependent characteristics. The confidence level $P < 0.05$ was accepted as statistically significant difference between the averages.

Results

Table 1 shows the basic test players' anthropometric data. During the training, the athletes' weight decreased by an average of about 0.6 kg. Figure 1 presents the variation in body weight due to the position of a player on the field and its decline after an hour of training. The greatest reduction in body weight was found in the case of goalkeepers, which averaged around 1.6 kg.

Table 1. Anthropometric data of tested competitors with regard to changes in body weight under the influence of training (average \pm SD)

n	Age (years)	Body height (cm)	BMI	Body weight (kg)	
				Before training	After training
13	21.5 ± 3.09	184.4 ± 5.69	24.8 ± 2.31	84.5 ± 10.23	$83.9 \pm 10.00^*$

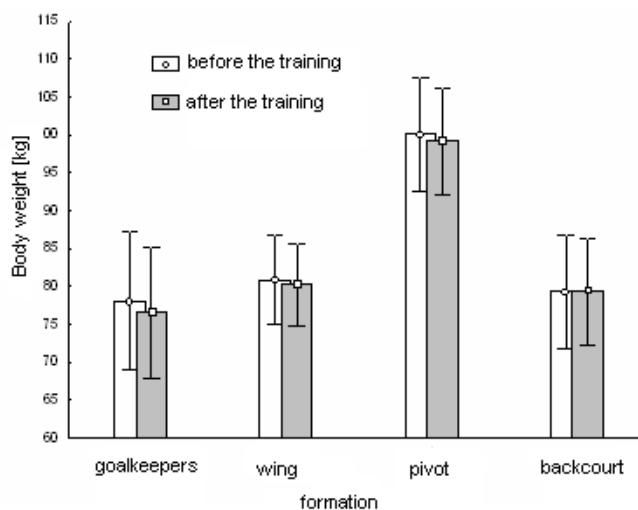


Figure 1. Weight of players before and after training, depending on the position on the field (average \pm SD)

In respect of the whole group training caused a significant ($P < 0.05$) increase in lactate concentration from 1.4 to 1.7 mmol/l. Similarly, there has been a significant increase in heart rate in the 30th minute of training (which is the average about 65-75% of HR_{max} of the subjects) and after its completion, compared to the situation before training (Tab. 2). The biggest changes were seen in LA concentration of the goalkeepers and pivots (Fig. 2).

Table 3 presents the average values of testosterone, cortisol, growth hormone and calculated anabolic-catabolic ratio (T/C). Relaxation testosterone and cortisol levels fell within the reference standards for men in this age group. Training did not affect significantly the changes in their value, with a small average increase in testosterone (0.6 nmol/l, i.e. 4%) and unchanged levels of cortisol. In the current studies, the lack of cortisol response to routine training session with the players is consistent with similar observations of another group of players during the 1.5-hour session [18]. The highest relaxation

testosterone levels were observed in the goalkeepers, less for the wing, pivot and backcourt players (Fig. 3). The largest concentrations of cortisol, and its increase after hours of general training were observed in goalkeepers. In the case of pivot and backcourt players, the post-effort decrease in cortisol levels was observed, and a slight increase in the wing players (Fig. 4).

Table 2. The concentration of lactate (LA) and heart rate (HR) before training and after (average ± SD)

n=13	LA (mmol/l)		HR (ud./min)		
	Before training	After training	Before training	Within 30 min of training	After training
	1.4±0.28	1.7±0.29*	71.5±10.38	147.8±23.01*	86.8±10.20*

* statistically significant differences (P < 0.05)

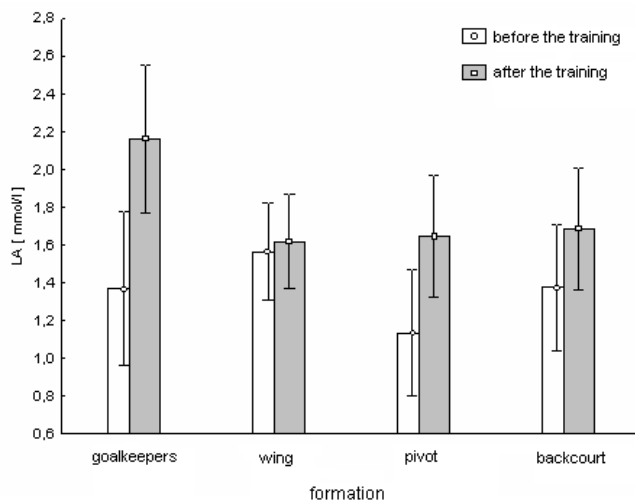


Figure 2. The concentration of lactate (LA) in the blood both before and after training depending on the position on the field (average ± SD)

Table 3. Testosterone, cortisol, growth hormone (GH) concentration in plasma and the anabolic-catabolic (T/C) rate before training and after (average ± SD)

n=13	Testosterone (nmol/l)		Cortisol (nmol/l)		T/C		GH (ng/ml)	
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
	15.1±4.29	15.7±5.09	214.1±86.82	211.4±89.05	7.7±2.52	8.5±3.67	0.9±1.44	3.38±6.57

In relation to the average, value of T/C for the whole group increased from 7.7 before training to 8.5 after training, which emphasizes the anabolic effect of applied training exercises, namely the stabilization of the androgynous response on decline in adrenal response. An additional factor favouring anabolic processes after the training is the increase in concentration of GH. Considering the division of players depending on their position on the field, the growth of T/C rate after training is shown in the case of backcourt (the largest) and pivot players, and reduction in wing players and goalkeepers (Fig. 5).

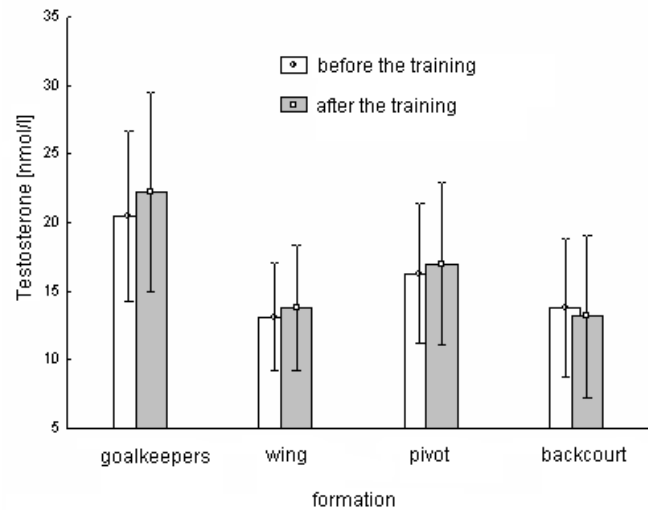


Figure 3. Testosterone levels before and after training, depending on the position on the field (average ± SD)

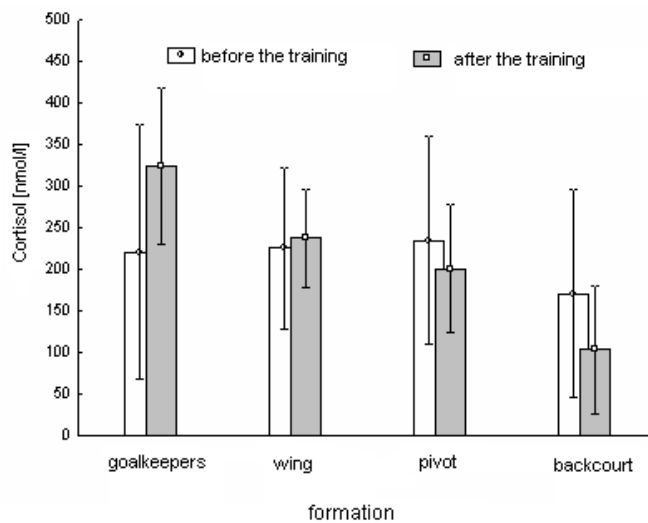


Figure 4. The concentration of cortisol in plasma before and after training, depending on the position on the field (average ± SD)

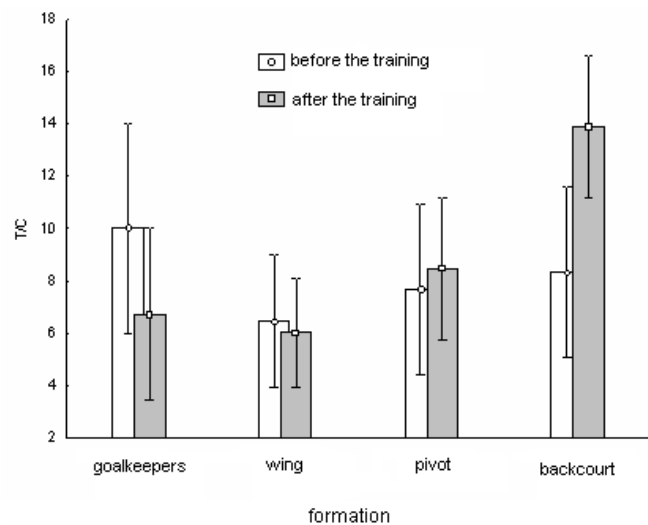


Figure 5. Anabolic-catabolic index (T/C) before and after training (average ± SD)

In the case of growth hormone (GH) after effort, the increase in its concentration was observed, the average for the whole group of about 2.48 ng/ml. However, analysis of changes in its concentration under the influence of training in respect of individual formations (Fig. 6) shows that the biggest increase occurred in levels of GH in the goalkeepers as compared to the pivot and wing players. A slight decrease in GH levels was observed in backcourt players.

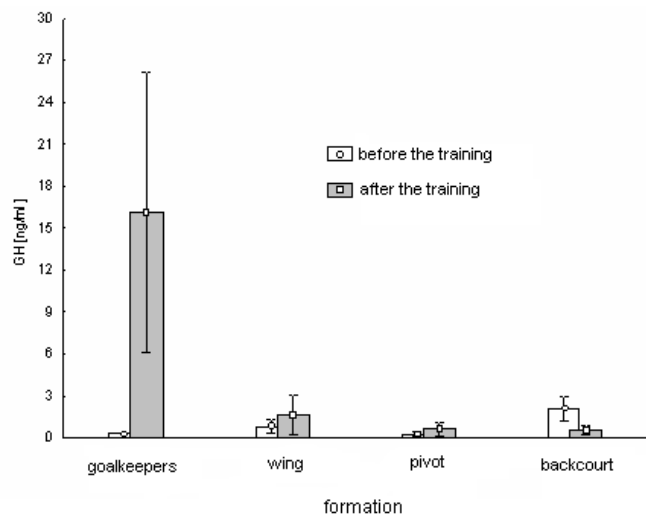


Figure 6. The concentration of growth hormone (GH) in plasma before and after training, depending on the position on the field (average ± SD)

Figure 7 shows the subjective evaluation of training load of players in the form of scores from 1 to 5. It was adopted (after the trainer) the following an assessment of severity: 1 – weak; 2 – moderate; 3 – light; 4 – strenuous; 5 – very strenuous. Subjective evaluation of training, the same for all players, was made in the form of questions to the players after the practice session: how in scale from 1 to 5 do they evaluate the training? Training in the subjective perception, constituted the greatest burden for goalkeepers, and the smallest for the backcourt players.

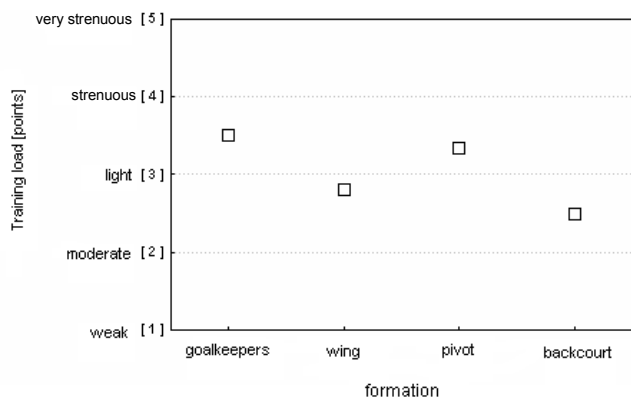


Figure 7. Assessment of training load (in points) by the players of individual formation (average)

There was a significant correlation ($r = 0.608, p < 0.05$) between growth hormone concentration after the training and the severity of subjective evaluation of training by individual players, expressed in a scale of 1 to 5 points. Weight loss (Δ body weight) under the influence of training negatively correlated with the increase of the concentration of growth hormone (Δ GH) and subjective evaluation of training load (Fig. 8).

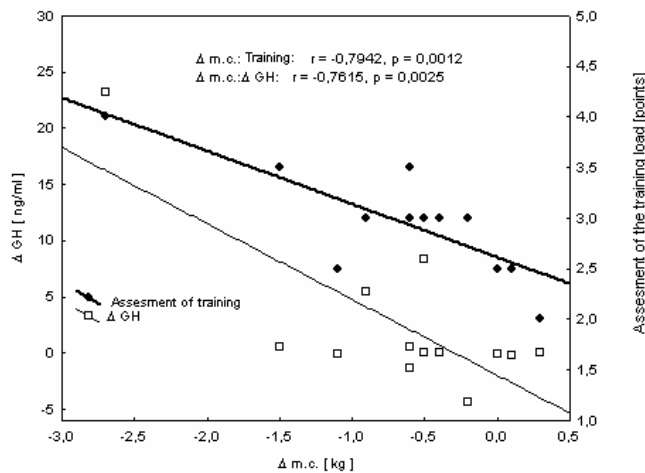


Figure 8. The relationship between post-training weight loss (Δ m.c.), increase/decrease in the concentration of growth hormone (Δ GH) in plasma and the subjective assessment of the training load

Discussion

Conducted observations have revealed a diverse exertion response of players to the training. The size of hormonal response on the one hand may indicate a high training level, or over-reaction due to the lack of “training level” or a type of hormonal response (the so-called “responders” or “non-responders” type). Measurements of the anabolic-catabolic rate (T/C) in the blood provide valuable information on the physiological state of the athletes during training period, as well as during a single training session [21, 22, 23].

Lowering of relaxation values of T/C during training or during the post-training restitution indicates endogenous protein metabolism shift toward catabolic processes [18, 23]. In the current studies, the high value of T/C (> 3.5) indicates that training did not cause significant changes in the balance between the hormones measured. Minor changes in blood lactate levels reflect oxidative nature of the training. Such concentration of lactate does not cause the state of metabolic acidosis and thereby indicate that the growth hormone release is not caused by a direct impact of disorders in acid-base balance due to metabolic acidosis, but other factors [8, 13]. This highlights the significant (375%) increase in GH concentration after exercise. This increase may be associated with dehydration, as evidenced by the decrease in body mass of players. Reducing the amount of organism water by osmotic pressure change is a signal to the endocrine system, which stimulates breakdown (lipolysis) of adipose tissue by increased use of free fatty acids in the energy effort securing in this way contributes to the so-called “oxidation water”. Please note that physical load used in the training proved sufficient stimulus of pituitary hormone function, but too weak a factor to increase the activity of adrenal cortex hormone. Obvious conclusion is that growth hormone is a very sensitive indicator of effort stress [10, 18, 19], which makes it useful in assessing the biological costs associated with not very exhaustive trainings.

Accumulation of an endogenous heat induced by physical exertion during training could be one reason for ejection of GH [14, 16]. Thermogenic effect of training on hormonal status requires further study.

An interesting observation is the relationship between the subjective feeling of exercise load and serum growth hormone levels in tested players after training. The GH response to training shows the differences between individual players on

the field. Most response was received from goalkeepers, the least from "pivots" and in the case of the "backcourt" the GH concentration after exercise was lower than before training. Also, post-effort concentrations of cortisol and lactate were significantly higher in the goalkeepers than in case of other players. This seems to confirm the earlier assumption that goalkeepers are less well adapted to the physical activity forced by training, which is probably a consequence of limited physical activity during the competition. Both, stronger hormonal reactions and more expressive in goalkeepers training perception of fatigue may suggest the purposefulness of training modification, especially for goalkeepers, to improve their adaptation to anaerobic efforts. Studies by other authors [24] have shown that several weeks of training focused on improvement of anaerobic capacity in the whole group of handball players delivers the desired results. Among active players small, but capable of being observed differences in androgenic and corticoid status may be related to physical activity of a specific position on the field, which requires further research. The feeling of fatigue and exhaustion has its background in the biological and hormonal changes and may serve as the first signal for the exercise verification. Also it cannot be ruled out that the structure of training, the proportion in the composition of muscle fibres and effort recruitment, type of diet, support had an impact on hormonal response of the players. Prolonged physical exercise/training changes the proportions in the use of energy substrates, hence the objective information on the peripheral concentrations (in blood) of hormones emphasizes their role in regulatory processes, and adaptation to exercise. The studies are of practical nature, because they show the need for individualized training due to differences in the physiological adaptive profile and different response to the load of handball players.

Conclusions

The analysis of handball players training based on changes in selected metabolic and hormonal indicators allows for formulating the following conclusions:

1. Training of handball players, including elements of the general development exercise was generally seen as physiological incentive of anabolic effects.
2. There was no breach of the androgenic-gluccorticoid status and the anabolic-catabolic balance has shifted under the influence of training towards the edge of anabolic processes. This is an important consideration for the practice of sport in the process of optimization of sports training.
3. Individually varied picture of the hormonal and metabolic responses to the training has its backing in the level of exercise tolerance in athletes, their physical preparation for the match effort, and the requirements of the player's position on the field.
4. Greater hormonal reactivity of goalkeepers in relation to other formations may be associated with non-specific stress response for this form of training and a strong stimulation of the "hypothalamic-pituitary-adrenal axis".
5. The existence of the relationship between subjective assessment of the severity of training and changes in concentrations of selected hormones in plasma after exercise can be valuable information in the training process, enabling the detection of excessive congestion and the state of overtraining.

Literature

1. Koppo K., Bouckaert J., Jones A.M. (2004) Effects of training status and exercise intensity on phase II VO₂ kinetics. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36, 225-232.
2. Marwood S., Roche D., Rowland T., Garrard M., Unnithan V.B. (2010) Faster pulmonary oxygen uptake kinetics in trained versus untrained male adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 42, 127-134.
3. Ozyener F., Rossiter H.B., Ward H.B., Whipp G.J. (2003) Negative accumulated oxygen deficit during heavy and very heavy intensity cycle ergometry in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 90, 185-190.
4. Pringle J.S., Doust J.H., Carter H., Tolfray K., Campbell I.T., Sakkas G.K. et al. (2007) Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity "sub-maximal" exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 89, 289-300.
5. Adlercreutz H., Härkönen M., Kuoppasalmi K., Nävieri H., Huhtaniemi I., Tikkanen H. et al. (1986) Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *Int. J. Sport Med., Suppl.* 1, 27-28.
6. Ehrnborg C., Lange K.H.W., Dall R., Christiansen J.S., Lundberg P.A., Baxter R.C. et al. (2003) The growth hormone/insulin-like growth factor-I axis hormones and bone markers in elite athletes in responses to a maximum exercise test. *J. Clin. Metab. Endocrinol.*, 88, 394-401.
7. Stokes K.A. (2003) Growth hormone responses to sub-maximal and sprint exercise. *Growth Horm. IGF. Res.*, 13, 225-238.
8. Weltman A., Pritzlaff C.J., Wideman L., Weltman J.Y., Blumer J.L., Abbott R.D. et al. (2000) Exercise-dependent growth hormone release is linked to markers of heightened central adrenergic outflow. *J. Appl. Physiol.*, 89, 629-35.
9. Chwalbńska-Moneta J., Krysztofiak F., Ziemia A., Nazar K., Kaciuba-Uściłko H. (1996) Threshold increases in plasma growth hormone in relation to plasma catecholamine and blood lactate concentrations during progressive exercise in endurance-trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 73, 117-20.
10. Opaszowski B.H., Rojek J., Hübner-Woźniak E., Długołęcka B., Obmiński Z. (2007) Hormonal and metabolic responses of football players to maximal exercise performed in the laboratory. *Roczniki Naukowe ZWWF AWF Warszawa w Białej Podlaskiej*, 14, 37-58. [in Polish].
11. Schnabel A., Kindermann W., Schmitt W.M., Biro G., Stegmann H. (1982) Hormonal and metabolic consequences of prolonged running at the individual anaerobic threshold. *Int. J. Sports Med.*, 3, 163-8.
12. Pritzlaff C.J., Wideman L., Blumer J., Jensen M., Abbott R. D., Gaesser G.A. et al. (2000) Catecholamine release, growth hormone secretion, and energy expenditure during exercise vs. recovery in men. *J. Appl. Physiol.*, 89, 937-46.
13. Stokes K.A., Nevill M.E., Cherry P.W., Lakomy H.K., Hall M. (2004) Effect of 6 week sprint training on growth hormone responses to sprinting. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 92, 26-32.
14. Ftaiti F., Jemni M., Kacem A., Zaounali M.A., Tabka Z., Zbidi A. et al. (2008) Effect of hyperthermia and physical activity on circulation of growth hormone. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 33, 880-887.
15. Morris J.G., Nevill M.F., Boobis L.H., Macdonald I.A., Williams C. (2007) Muscle metabolism, temperature, and function during prolonged intermittent, high intensity running in air temperature of 33 degrees and 17 degrees C. *Int. J. Sports Med.*, 26, 805-814.

16. Wheldon A., Savine R.L., Sönksen P.H., Holt R.L. (2006) Exercising in the cold inhibits growth hormone secretion by reducing the rise in core body temperature. *Growth Horm. IGF. Res.*, 16, 125-131.
17. Fry R.W., Morton A.R., Garcia-Webb P., Keast D. (1991) Monitoring exercise stress by changes in metabolic and hormonal responses over a 24-h period. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 63, 228-234.
18. Obmiński Z., Elias J., Rojek J. (2008) Saliva as a marker of competition stress in male handball players. *Research Yearbook.*, 14, 32-36.
19. Urhausen A., Gabriel H., Kindermann W. (1995) Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med.*, 20, 251-76.
20. Alen M., Pakarinen A., Häkkinen K., Komi P.V. (1988) Responses to serum androgenic-anabolic and catabolic hormones to prolonged strength training. *Int. J. Sports Med.*, 9, 229-233.
21. Banfi G., Marinelli M., Roi G.S., Agape V. (1993) Usefulness of free testosterone/cortisol ratio during a season of elite speed skating athlete. *Int. J. Sports Med.*, 14, 373-379.
22. Handziski Z., Maleska V., Petrovska S., Nikolik S., Mickoska E., Dalip M. et al. (2006) The changes of ACTH, cortisol, testosterone and testosterone/cortisol ratio in professional soccer players during a competition half-season. *Bratisl. Lek. Listy*, 107, 259-263.
23. Vervoorn C., Quist A.M., Vermulst L.J., Erich W.B., de Vries W.R., Thijssen J.H. (1991) The behaviour of plasma free testosterone/cortisol ratio during a season of elite rowing training. *Int. J. Sports Med.*, 12, 257-263.
24. Boraczyński T., Urniarz J. (2008) The influence of physical training on anaerobic fitness of elite handball players. *Research Yearbook*, 14, 69-73.

Submitted: February 4, 2010

Accepted: May 7, 2010

ODPOWIEDŹ METABOLICZNA I HORMONALNA ZAWODNIKÓW PIŁKI RĘCZNEJ NA STANDARDOWY WYSIŁEK TRENINGOWY

Odpowiedź metaboliczna i hormonalna na trening

BENEDYKT H. OPASZOWSKI^{1,2}, ANDRZEJ KRAWCZYK³,
ZBIGNIEW OBMIŃSKI¹, JOLANTA ROJEK¹

¹*Instytut Sportu w Warszawie, Zakład Endokrynologii*

²*Zamiejskowy Wydział Wychowania Fizycznego w Białej Podlaskiej, Zakład Fizjologii*

³*Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie*

Adres do korespondencji: Benedykt H. Opaszowski, Instytut Sportu, ul. Trylogii 2/16, 01-982 Warszawa, tel.: 22 8340812, fax: 22 8350977, e-mail: benopa@wp.pl

Streszczenie

Wprowadzenie. Celem przeprowadzonych badań była ocena reakcji metabolicznej i hormonalnej na standardowy trening fizyczny o charakterze ogólnorozwojowym zawodników piłki ręcznej zróżnicowanych ze względu na pozycję zawodnika na boisku. **Material i metody.** W próbkach krwi badanych oznaczano stężenie mleczanu (LA) w pełnej krwi oraz kortyzolu (C), testosteronu (T) i hormonu wzrostu (GH) w osoczu przed i po 1-godzinnej sesji treningowej. **Wyniki.** Stwierdzono, że wysiłek nie wpłynął na stężenia C i T, natomiast poziom GH wzrósł średnio o 375%. Jedyne u bramkarzy odnotowano wzrost stężenia kortyzolu oraz największy w porównaniu z innymi powysiłkowy poziom GH. U pozostałych zawodników powysiłkowe zmiany stężeń GH były znacznie mniejsze. Mniejsze reakcje hormonalne kory nadnerczy i przysadki można tłumaczyć lepszą adaptacją do wysiłku graczy aktywnych formacji (rozgrywający i obrotowi), jak też względnie niewielką intensywnością wysiłków wykonywanych podczas sesji treningowej. Średni powysiłkowy poziom LA wynoszący $1,7 \pm 0,39$ mmol/L wskazuje na dominujący udział procesów tlenowych w metabolicznym zabezpieczeniu energetyki wysiłku treningowego. **Wnioski.** Badania ujawniły przydatność wskaźników metaboliczno-hormonalnych w monitorowaniu reakcji fizjologicznej zawodników poddanych standardowej sesji treningowej i jej zróżnicowanie ze względu na pozycję zawodnika na boisku.

Słowa kluczowe: piłka ręczna, obciążenie treningowe, mleczan, kortyzol, testosteron, GH

Wstęp

Właściwy dobór obciążeń fizycznych w sesjach treningowych ma podstawowe znaczenie w kształtowaniu adaptacji fizjologicznej do wysiłku startowego. Zarówno zbyt mały, jak i zbyt duży biologiczny koszt poniesiony przez organizm sportowca w czasie treningów utrudnia osiągnięcie oczekiwanych wyników szkolenia i zmniejsza szansę dobrego wyniku sportowego na zawodach. Taki stan rzeczy wymaga monitorowania reakcji fizjologicznych w czasie sesji treningowych i uwzględnienia uzyskanych wyników obserwacji w dalszych planach treningowych.

Fizjologiczna klasyfikacja intensywności wysiłków fizycznych uwzględnia m.in. proporcje pomiędzy procesami tlenowymi a beztlenowymi w energetycznym zabezpieczeniu wysiłku. O udziale procesów tlenowych decyduje wielkość zużycia tlenu podczas samej pracy, natomiast udział procesów beztlenowych można ocenić na podstawie wielkości długu tlenowego po jej zakończeniu. Pochłanianie tlenu w czasie wysiłku zależy od wielu czynników, takich jak intensywność wysiłku, stopień adaptacji do wysiłków oraz ilościowy skład typów włókien w pracujących mięśniach [1, 2, 3, 4]. Także częstość skurczów serca z okresu równowagi fizjologicznej podczas wysiłku może stanowić o intensywności przemian wewnątrzustrojowych zabezpieczających metabolizm wysiłkowy a także wskazywać, w odniesieniu do tętna maksymalnego (HR_{max}), na

tolerancję wysiłkową, podobnie jak stosunek aktualnego zużycia tlenu do „pułapu tlenowego” wyznacza fizjologiczny margines bezpieczeństwa dla danego osobnika.

Jednym z układów regulujących metabolizm wysiłkowy jest układ hormonalny oraz jego wpływ poprzez humoralne przekazy chemiczne na mobilizację i wykorzystanie substratów energetycznych podczas pracy mięśniowej, związanej z ćwiczeniami fizycznymi o różnej strukturze/formie i różnej mocy. Trening fizyczny ma wpływ na procesy adaptacyjne do wysiłku fizycznego, pojawiające się w wyniku systematycznie powtarzanych wysiłków fizycznych. O stanie funkcjonalnym organizmu oraz reakcji na obciążenia startowe, czy treningowe można wnioskować na podstawie pomiarów oraz analizy zmian wielu wskaźników – fizjologicznych, biochemicznych, hormonalnych. Wysiłek fizyczny jest silnym fizjologicznym bodźcem dla wyrzutu hormonów: m.in. kortyzolu, ale głównie hormonu wzrostu (GH) [5, 6, 7, 8]. Sekrecja hormonów nasila się, kiedy czas trwania wysiłku i jego intensywność osiągną pewną wartość progową [9, 10, 11]. Wyższe stężenie hormonów we krwi obserwuje się wtedy, kiedy w energetyce wysiłku przeważają procesy anaerobowe prowadzące do znacznej kwasicy metabolicznej [6, 11, 12, 13]. Wysiłki mniej intensywne, w których źródłem energii są procesy tlenowe, stymulują większą aktywność układu hormonalnego jedynie wtedy, gdy ich czas trwania jest odpowiednio długi, co wywołuje stan fizycznego wyczerpania. W przypadku hormonu wzrostu także wzrost ciepło-

ty ciała, indukowanej przez wysiłek fizyczny jest jednym z czynników nasilających jego sekrecję, podczas gdy niska zewnętrzna temperatura i w konsekwencji niższa temperatura ciała po wysiłku hamują hormonalną aktywność przysadki w czasie wysiłku [14, 15, 16]. Oprócz wyżej wymienionych czynników, także faza cyklu treningowego odgrywa znaczący wpływ na wielkość odpowiedzi hormonalnej. Wzrost adaptacji do wysiłków anaerobowych po okresie treningów manifestuje się mniejszą sekrecją hormonów mimo większej wykonanej pracy [7, 13].

Zmiany stężeń wybranych hormonów we krwi mogą dostarczać obiektywnej informacji o biologicznych skutkach stosowanych obciążeń fizycznych [17, 18, 19]. Dokonująca się pod wpływem treningu adaptacja do wysiłków fizycznych stanowi o biologicznym podłożu wydolności fizycznej ogólnej i specyficznej wynikającej z typu/rodzaju uprawianej dyscypliny sportowej, stanowiąc jeden z czynników decydujących o wyniku sportowym. Ponadto obraz odpowiedzi hormonalnej może dostarczyć cennych informacji o reakcji organizmu zawodnika na stosowane obciążenia w aspekcie jego poziomu wytrenowania, bądź sygnalizować symptomy zmęczenia, przetrenowania lub wskazywać na małą efektywność stosowanych bodźców treningowych w procesie zwiększania tolerancji wysiłkowej.

Celem przeprowadzonych badań była ocena reakcji metabolicznej i hormonalnej na standardowy trening fizyczny o charakterze ogólnorozwojowym zawodników piłki ręcznej, oraz uzyskanie odpowiedzi na pytanie czy istnieje zróżnicowanie reakcji biologicznej związanej z pozycją zawodnika na boisku.

Material i metody

W badaniach uczestniczyło 13 zawodników I-ligowego klubu (wiek $21,5 \pm 3,09$ lat; wysokość ciała $184,4 \pm 5,69$ cm; masa ciała $84,5 \pm 10,23$ kg, BMI $24,8 \pm 2,31$), zróżnicowanych ze względu na pozycję podczas gry na boisku (5 skrzydłowych, 3 obrotowych, 3 rozgrywających i 2 bramkarzy). Wszyscy badani w godz. 19⁰⁰ – 20⁰⁰ odbyli ten sam trening ogólnorozwojowy na hali sportowej, dostosowany strukturą do fazy cyklu treningowego. Schemat treningu zawierał: rozgrzewkę biegową – 5 min; ćwiczenia rozciągające – 5 min; gry uzupełniające (piłka nożna) – 10 min; różne formy podań 1 kg piłką lekarską – 6 x 1 min; 10 min gry w piłkę nożną; ćwiczenia skocznościowe; gra w piłkę nożną – 10 min; 6 x 40 m z 15 s przerwami; 10 min gry w piłkę nożną; 10 x 8 płotków (o wysokości 80 cm); ćwiczenia rozciągające i rozluźniające. Łączny czas treningu wynosił 60 minut. Protokół badań został zatwierdzony przez komisję etyczną, a zawodnicy po uzyskaniu informacji o potencjalnych zagrożeniach wyrazili zgodę na udział w badaniach.

Przed treningiem oraz po jego zakończeniu dokonywano pomiaru masy ciała oraz częstości skurczów serca (HR) metodą palpacyjną na tętnicy promieniowej. Krew kapilarną pobierano od badanych z płatka ucha przed treningiem oraz po jego zakończeniu. We krwi oznaczano stężenie LA zestawem DR LANGE (GERMANY). W tej samej próbce osocza, oznaczano stężenia kortyzolu (C), testosteronu (T) i hormonu wzrostu (GH) metodą immunoenzymatyczną (ELISA) zestawami DRG (GERMANY). Wartość równowagi anaboliczno-katabolicznej określono przy użyciu wskaźnika wyrażającego stosunek stężeń T/C wg wzoru:

$$T/C = \frac{\text{testosteron (nmol/l)}}{\text{kortyzol (nmol/l)}} \times 100.$$

Dodatkowo w 30-ej minucie treningu metodą palpacyjną na tętnicy promieniowej określano częstość skurczów serca (HR).

Po zakończeniu treningu zawodnicy oceniali indywidualnie obciążenie godzinnej jednostki treningowej według przyjętej przez trenera skali oceny ciężkości treningu (od 1 do 5 pkt.).

Obliczenia statystyczne wykonano przy użyciu pakietu statystycznego STATISTICA wersja 8.0. W analizie uwzględniono średnie \pm SD, współczynniki korelacji prostej, test t-Studenta dla cech zależnych. Poziom ufności $P < 0,05$ przyjęto jako istotną statystycznie różnicę między średnimi.

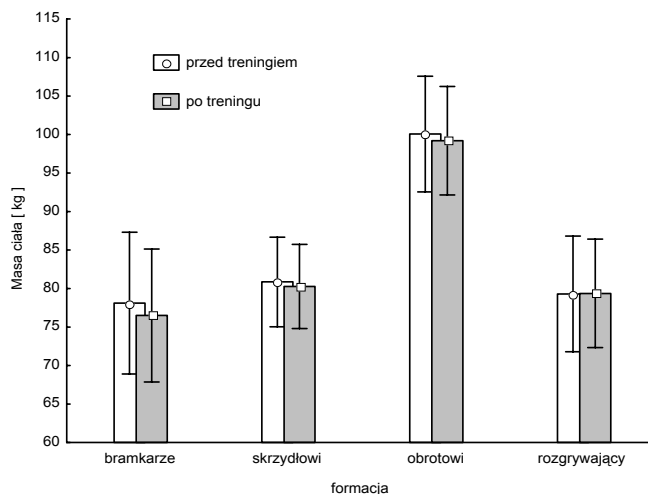
Wyniki

W Tabeli 1 przedstawiono podstawowe dane antropometryczne badanych zawodników. Pod wpływem treningu masa ciała zawodników obniżyła się średnio o ok. 0,6 kg. Na Rycinie 1 przedstawiono zróżnicowanie masy ciała ze względu na pozycję zawodnika na boisku i jej spadek po godzinnym treningu. Największe obniżenie masy ciała stwierdzono w przypadku bramkarzy, które wynosiło średnio ok. 1,6 kg.

Tabela 1. Dane antropometryczne badanych zawodników z uwzględnieniem zmian masy ciała pod wpływem treningu (średnia \pm SD)

n	Wiek (lata)	Wysokość ciała (cm)	BMI	Masa ciała (kg)	
				przed treningiem	po treningu
13	$21,5 \pm 3,09$	$184,4 \pm 5,69$	$24,8 \pm 2,31$	$84,5 \pm 10,23$	$83,9 \pm 10,00^*$

* różnica istotna statystycznie ($P < 0,05$)



Rycina 1. Masa ciała zawodników przed i po treningu w zależności od pozycji na boisku (średnia \pm SD)

Trening spowodował, w odniesieniu do całej grupy istotny ($P < 0,05$) wzrost stężenia mleczanu, z wartości 1,4 do 1,7 mmol/l. Podobnie zanotowano istotny wzrost częstości skurczów serca w 30 minucie treningu (co stanowi średnio ok. 65-75% HR_{max} badanych) i po jego zakończeniu, w stosunku do stanu przed treningiem (Tab. 2). Największe zmiany LA obserwowano u bramkarzy i obrotowych (Ryc. 2).

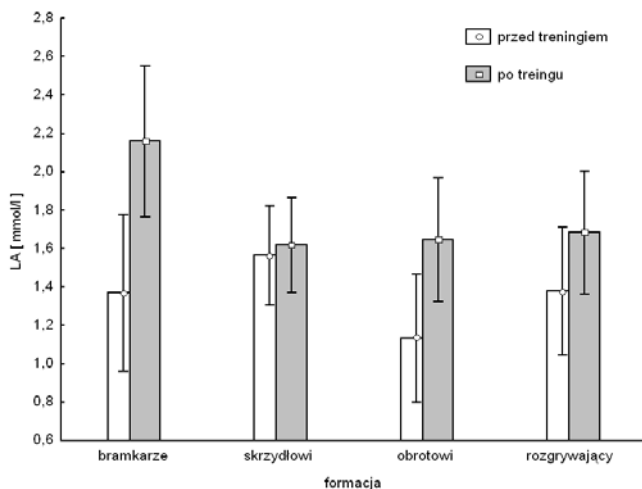
W Tabeli 3 przedstawiono średnie wartości stężenia testosteronu, kortyzolu, hormonu wzrostu i obliczonego wskaźnika anaboliczno-katabolicznego (T/C). Spoczynkowe stężenie testosteronu i kortyzolu mieściło się w granicach norm referencyjnych dla mężczyzn tej grupy wiekowej. Trening nie wpłynął istotnie statystycznie na zmiany ich wartości, przy niewielkim średnim wzroście stężenia testosteronu (o 0,6 nmol/l, tzn. o 4%)

i niezmiennym poziomie kortyzolu. W obecnych badaniach brak reakcji kortyzolu na rutynową sesję treningową u piłkarzy jest zgodny z podobnymi obserwacjami innej grupy graczy w czasie 1,5-godzinnej sesji [18]. Najwyższe spoczynkowe stężenie testosteronu zanotowano u bramkarzy, niższe w przypadku skrzydłowych, obrotowych i rozgrywających (Ryc. 3). Największe stężenie kortyzolu, a także jego przyrost po godzinny treningu ogólnorozwojowym zaobserwowano u bramkarzy. W przypadku obrotowych i rozgrywających obserwowano potreningowy spadek stężenia kortyzolu a niewielki wzrost u skrzydłowych (Ryc. 4).

Tabela 2. Stężenie mleczanu (LA) oraz częstość skurczów serca (HR) przed treningiem oraz po jego zakończeniu (średnia \pm SD)

n=13	LA (mmol/l)		HR (ud./min)		
	przed treningiem	po treningu	przed treningiem	w 30 min treningu	po treningu
	1,4 \pm 0,28	1,7 \pm 0,29*	71,5 \pm 10,38	147,8 \pm 23,01*	86,8 \pm 10,20*

* różnice istotne statystycznie (P <0,05)

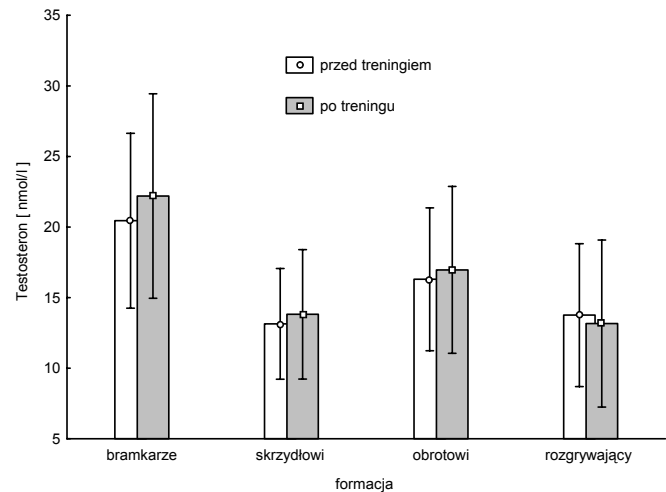


Rycina 2. Stężenie mleczanu (LA) we krwi przed i po treningu w zależności od pozycji na boisku (średnia \pm SD)

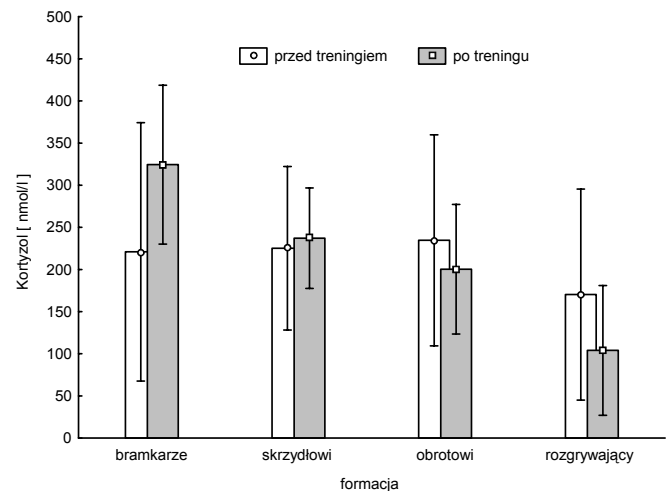
Tabela 3. Stężenie testosteronu, kortyzolu, hormonu wzrostu (GH) w osoczu oraz wskaźnika anaboliczno-katabolicznego (T/C) przed treningiem oraz po jego zakończeniu (średnia \pm SD)

n=13	Testosteron (nmol/l)		Kortyzol (nmol/l)		T/C		GH (ng/ml)	
	przed	po	przed	po	przed	po	przed	po
	15,1 \pm 4,29	15,7 \pm 5,09	214,1 \pm 86,82	211,4 \pm 89,05	7,7 \pm 2,52	8,5 \pm 3,67	0,9 \pm 1,44	3,38 \pm 6,57

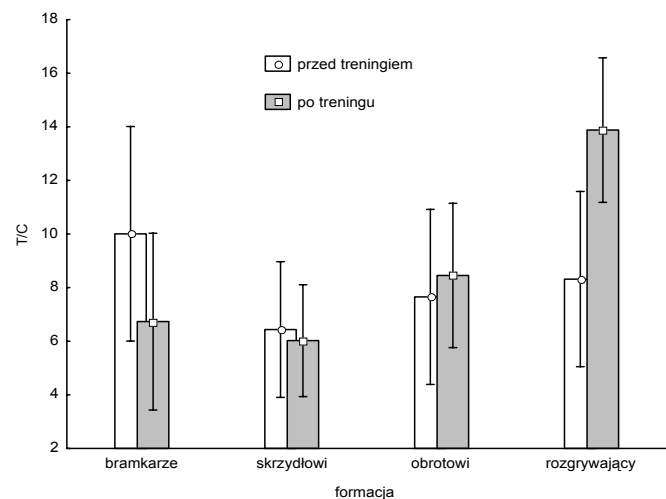
W odniesieniu do średniej dla całej grupy wartość T/C zwiększyła się z 7,7 przed treningiem do 8,5 po treningu, co podkreśla anabolizujący efekt stosowanych ćwiczeń treningowych, tj. stabilizację odpowiedzi androgennej przy spadku odpowiedzi nadnerczy. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym procesom anabolicznym po treningu jest wzrost stężenia GH. Uwzględniając podział zawodników w zależności od ich pozycji na boisku, wzrost po treningu wskaźnika T/C jest widoczny w przypadku rozgrywających (największy) i obrotowych, a obniżenie u skrzydłowych i bramkarzy (Ryc. 5).



Rycina 3. Stężenie testosteronu w osoczu przed i po treningu w zależności od pozycji na boisku (średnia \pm SD)

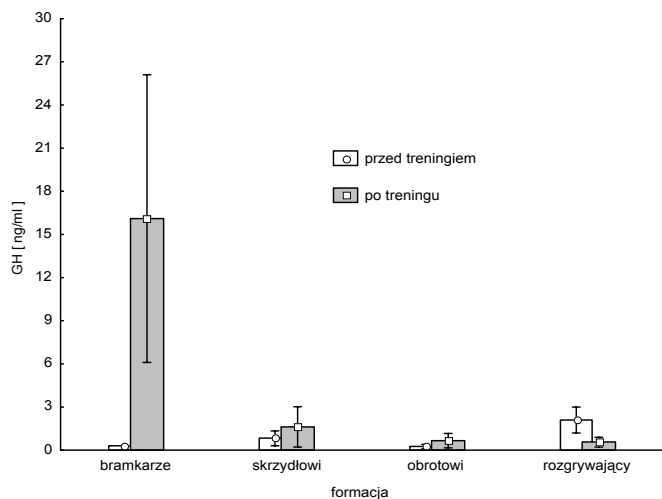


Rycina 4. Stężenie kortyzolu w osoczu przed i po treningu w zależności od pozycji na boisku (średnia \pm SD)



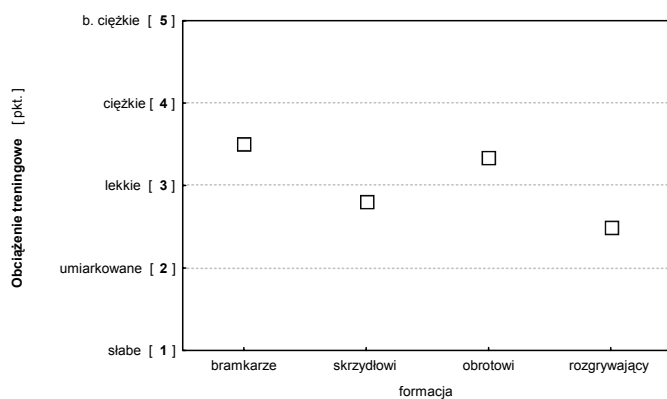
Rycina 5. Wskaźnik anaboliczno-kataboliczny (T/C) przed i po treningu (średnia \pm SD)

W przypadku hormonu wzrostu (GH) po wysiłku obserwowano przyrost jego stężenia, średnio dla całej grupy o około 2,48 ng/ml. Jednak z analizy zmian jego stężenia pod wpływem treningu w odniesieniu do poszczególnych formacji (Ryc. 6) wynika, że największy wzrost stężenia GH wystąpił u bramkarzy w porównaniu z obrotowymi i skrzydłowymi. Niewielki spadek stężenia GH zaobserwowano u rozgrywających.



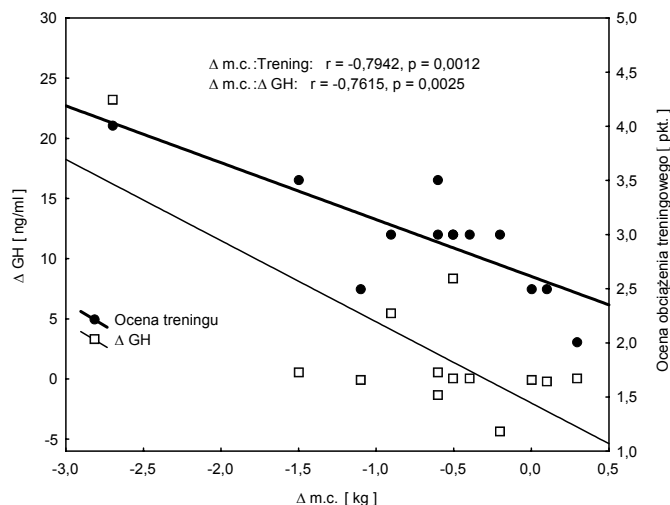
Rycina 6. Stężenie hormonu wzrostu (GH) w osoczu przed i po treningu w zależności od pozycji na boisku (średnia \pm SD)

Na Rycinie 7 przedstawiono subiektywną ocenę ciężkości obciążenia treningowego zawodników w formie punktacji od 1 do 5. Przyjęto (za trenerem) następującą ocenę ciężkości treningu: 1 – obciążenie słabe; 2 – umiarkowane; 3 – lekkie; 4 – ciężkie; 5 – b. ciężkie. Oceny subiektywnej treningu, takiego samego dla wszystkich zawodników, dokonano w formie pytania do zawodnika po zakończeniu sesji treningowej: jak w skali od 1 do 5 ocenia trening? Trening, w odczuciu subiektywnym, stanowił największe obciążenie dla bramkarzy, a najmniejsze dla zawodników rozgrywających.



Rycina 7. Ocena obciążenia treningowego (w pkt.) przez zawodników poszczególnych formacji (średnia)

Stwierdzono istotną korelację ($r=0,608$, $p<0,05$) między stężeniem hormonu wzrostu po treningu a subiektywną oceną ciężkości treningu przez poszczególnych zawodników, wyrażoną w skali od 1 do 5 pkt. Spadek masy ciała (Δ m. c.) pod wpływem treningu ujemnie korelował z przyrostem stężenia hormonu wzrostu (Δ GH) i subiektywną oceną obciążenia treningowego (Ryc. 8).



Rycina 8. Relacje między potreningowym spadkiem masy ciała (Δ m.c.), przyrostem/spadkiem stężenia hormonu wzrostu (Δ GH) w osoczu a subiektywną oceną obciążenia treningowego

Dyskusja

Przeprowadzone obserwacje ujawniły zróżnicowaną odpowiedź wysiłkową zawodników na realizowany trening. Wielkość odpowiedzi hormonalnej może z jednej strony wskazywać na wysoki poziom wytrenowania, bądź nadmierną reakcję wynikającą z braku „wytrenowania” lub typ odpowiedzi hormonalnej (tzw. typ „responders” lub „non responders”). Pomiar wartości wskaźnika anaboliczno-katabolicznego (T/C) we krwi dostarczą cennych informacji o stanie fizjologicznym sportowców w okresie treningowym, jak również w czasie pojedynczej sesji treningowej [21, 22, 23].

Obniżenie spoczynkowych wartości wskaźnika T/C w okresie treningu lub w czasie po treningowej restytucji wskazują na przesunięcie metabolizmu endogennych białek w kierunku procesów katabolicznych [18, 23]. W obecnych badaniach wysoka wartość T/C ($>3,5$) wskazuje, że trening nie spowodował istotnych zmian w równowadze pomiędzy mierzonymi hormonami. Niewielkie zmiany stężenia mleczanu we krwi odzwierciedlają tlenowy charakter treningu. Takie stężenia mleczanu nie powodują stanu kwasicy metabolicznej a tym samym wskazują na fakt, że czynnikiem stymulującym wyrzut hormonu wzrostu nie jest bezpośredni wpływ zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej wywołanej kwasicą metaboliczną lecz inne czynniki [8, 13]. Podkreśla to znamienne (o 375%) wzrost stężenia GH po treningu. Przyrost ten może być związany z odwodnieniem, jakie stwierdzono na podstawie spadku masy ciała zawodników. Zmniejszenie ilości wody wewnątrzustrojowej poprzez zmiany ciśnienia osmotycznego jest sygnałem dla układu endokrynnego, który stymulując rozpad (lipolizę) tkanki tłuszczowej, poprzez większe wykorzystanie wolnych kwasów tłuszczowych w energetycznym zabezpieczeniu wysiłku, w ten sposób przyczynia się do uzyskania tzw. „wody oksydacyjnej”. Warto zauważyć, że zastosowane w treningu obciążenie fizyczne okazało się wystarczającym bodźcem stymulującym hormonalną czynność przysadki mózgowej, lecz zbyt słabym czynnikiem, by spowodować wzrost hormonalnej aktywności kory nadnerczy. Nasuwa się wniosek, że hormon wzrostu jest bardzo czułym wskaźnikiem stresu wysiłkowego [10, 18, 19], co czyni go użytecznym w ocenie kosztów biologicznych związanych z niezbyt wyczerpującymi treningami.

Akumulacja ciepła endogennego wywołana wysiłkiem fizycznym na treningu mogła być jedną z przyczyn wyrzutu GH [14, 16]. Termogeniczny efekt treningu na status hormonalny wymaga dalszych badań.

Ciekawym spostrzeżeniem jest fakt zależności pomiędzy subiektywnym odczuciem obciążenia treningowego, a stężeniem hormonu wzrostu w osoczu badanych piłkarzy po treningu. W odpowiedzi GH na trening można zauważyć różnice pomiędzy zawodnikami poszczególnych pozycji na boisku. Najbardziej zareagowali bramkarze, najmniej zawodnicy tzw. „obrotowi”, a w przypadku „rozgrywających” po treningu stężenie GH było mniejsze aniżeli przed treningiem. Również powyższe stężenia kortyzolu i mleczanu było wyraźnie wyższe u bramkarzy niż u pozostałych zawodników. To zdaje się potwierdzać wcześniejsze przypuszczenie, że bramkarze są gorzej zaadaptowani do takiej aktywności fizycznej, którą wymusił trening, co prawdopodobnie jest konsekwencją niewielkiej aktywności ruchowej w czasie zawodów. Zarówno silniejsza reakcja hormonalna jak i bardziej wyrazista u bramkarzy percepcja treningowego zmęczenia może sugerować celowość modyfikacji treningu, szczególnie dla bramkarzy, w celu poprawy ich adaptacji do wysiłków anaerobowych. Badania innych autorów [24] pokazały, że parotygodniowy trening zorientowany na poprawę beztlenowej wydolności w całej grupie piłkarzy ręcznych przynosi oczekiwane efekty. Wśród graczy aktywnych niewielkie, choć dające się zauważyć różnice w androgennym i kortykoidowym statusie mogą mieć związek ze specyficzną dla pozycji na boisku aktywnością fizyczną co wymaga dalszych badań. Odczucie zmęczenia i wyczerpania ma swoje biologiczne podłoże w zmianach hormonalnych i stanowić może pierwszy sygnał do weryfikacji treningu. Nie można ponadto wykluczyć, że struktura treningu, proporcje w składzie włókien mięśniowych i ich wysiłkowa rekrutacja, rodzaj diety, wspomaganie miały wpływ na taką odpowiedź hormonalną piłkarzy. Długotrwały wysiłek fizyczny/trening zmienia proporcje w wykorzystania substratów energetycznych, stąd obiektywna informacja dotycząca obwodowych stężeń (we krwi) hormonów podkreśla ich rolę w procesach regulacyjnych i adaptacyjnych do wysiłku fizycznego. Przeprowadzone badania mają aspekt praktyczny, ponieważ wskazują na potrzebę indywidualizacji treningu ze względu na różny fizjologiczny profil adaptacyjny oraz różną reaktywność piłkarzy ręcznych na obciążenia.

Wnioski

Dokonana analiza treningu piłkarzy ręcznych oparta o zmiany wybranych wskaźników metabolicznych i hormonalnych pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Trening zawodników piłki ręcznej, zawierający elementy ćwiczeń o charakterze ogólnorozwojowym generalnie miał charakter bodźca fizjologicznego o oddziaływaniu anabolicznym.
2. Nie obserwowano naruszenia statusu androgenno-glikokortykoidowego a równowaga anaboliczno-kataboliczna przesunęła się pod wpływem przeprowadzonego treningu w kierunku przewagi procesów anabolicznych. Stanowi to istotną przesłankę dla praktyki sportowej w procesie optymalizacji treningu sportowego.
3. Zróżnicowany indywidualnie obraz odpowiedzi hormonalnej i metabolicznej na zadany trening ma swoje podłoże w poziomie tolerancji wysiłkowej zawodników, ich przygotowaniu fizycznym do wysiłku meczowego i wymaganiami, jakie stawia pozycja zawodnika na boisku.
4. Większą reaktywność hormonalną bramkarzy w stosunku do pozostałych formacji może być związana z niespecyficzną reakcją stresową dla tej formy treningu i silnym pobudzeniem „osi podwzgórzowo-przysadkowo-nadnerczowej”.

5. Istnienie zależności między subiektywną oceną ciężkości treningu i zmianami stężeń wybranych hormonów w osoczu po wysiłku może być cenną informacją w procesie treningowym, pozwalającą na wykrycie nadmiernego przeciążenia i stanu przetrenowania.

Piśmiennictwo

1. Koppo K., Bouckaert J., Jones A.M. (2004) Effects of training status and exercise intensity on phase II VO₂ kinetics. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36, 225-232.
2. Marwood S., Roche D., Rowland T., Garrard M., Unnithan V.B. (2010) Faster pulmonary oxygen uptake kinetics in trained versus untrained male adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 42, 127-134.
3. Ozyener F., Rossiter H.B., Ward H.B., Whipp G.J. (2003) Negative accumulated oxygen deficit during heavy and very heavy intensity cycle ergometry in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 90, 185-190.
4. Pringle J.S., Doust J.H., Carter H., Tolfray K., Campbell I.T., Sakkas G.K. et al. (2007) Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity „sub-maximal” exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 89, 289-300.
5. Adlercreutz H., Härkönen M., Kuoppasalmi K., Nävieri H., Huhtaniemi I., Tikkanen H. et al. (1986) Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *Int. J. Sport Med.*, Suppl. 1, 27-28.
6. Ehrnborg C., Lange K.H.W., Dall R., Christiansen J.S., Lundberg P.A., Baxter R.C. et al. (2003) The growth hormone/insulin-like growth factor-I axis hormones and bone markers in elite athletes in responses to a maximum exercise test. *J. Clin. Metab. Endocrinol.*, 88, 394-401.
7. Stokes K.A. (2003) Growth hormone responses to sub-maximal and sprint exercise. *Growth Horm. IGF. Res.*, 13, 225-238.
8. Weltman A., Pritzlaff C.J., Wideman L., Weltman J.Y., Blumer J.L., Abbott R.D. et al. (2000) Exercise-dependent growth hormone release is linked to markers of heightened central adrenergic outflow. *J. Appl. Physiol.*, 89, 629-35.
9. Chwałbińska-Moneta J., Krysztofiak F., Ziemia A., Nazar K., Kaciuba-Uściłko H. (1996) Threshold increases in plasma growth hormone in relation to plasma catecholamine and blood lactate concentrations during progressive exercise in endurance-trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 73, 117-20.
10. Opaszowski B.H., Rojek J., Hübner-Woźniak E., Długolecka B., Obmiński Z. (2007) Odpowiedź metaboliczna i hormonalna zawodników piłki nożnej na wysiłek maksymalny wykonywany w warunkach laboratoryjnych. *Roczniki Naukowe ZWWF AWF Warszawa w Białej Podlaskiej*, 14, 37-58.
11. Schnabel A., Kindermann W., Schmitt W.M., Biro G., Stegmann H. (1982) Hormonal and metabolic consequences of prolonged running at the individual anaerobic threshold. *Int. J. Sports Med.*, 3, 163-8.
12. Pritzlaff C.J., Wideman L., Blumer J., Jensen M., Abbott R. D., Gaesser G.A. et al. (2000) Catecholamine release, growth hormone secretion, and energy expenditure during exercise vs. recovery in men. *J. Appl Physiol.*, 89, 937-46.
13. Stokes K.A., Nevill M.E., Cherry P.W., Lakomy H.K., Hall M. (2004) Effect of 6 week sprint training on growth hormone responses to sprinting. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 92, 26-32.

14. Ftaiti F., Jemni M., Kacem A., Zaounali M.A., Tabka Z., Zbidi A. et al. (2008) Effect of hyperthermia and physical activity on circulation of growth hormone. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 33, 880-887.
15. Morris J.G., Nevill M.F., Boobis L.H., Macdonald I.A., Williams C. (2007) Muscle metabolism, temperature, and function during prolonged intermitted, high intensity running in air temperature of 33 degrees and 17 degrees C. *Int. J. Sports Med.*, 26, 805-814.
16. Wheldon A., Savine R.L., Sönksen P.H., Holt R.L. (2006) Exercising in the cold inhibits growth hormone secretion by reducing the rise in core body temperature. *Growth Horm. IGF. Res.*, 16, 125-131.
17. Fry R.W., Morton A.R., Garcia-Webb P., Keast D. (1991) Monitoring exercise stress by changes in metabolic and hormonal responses over a 24-h period. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 63, 228-234.
18. Obmiński Z., Elias J., Rojek J. (2008) Saliva as a marker of competition stress in male handball players. *Research Yearbook.*, 14, 32-36.
19. Urhausen A., Gabriel H., Kindermann W. (1995) Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med.*, 20, 251-76.
20. Alen M., Pakarinen A., Häkkinen K., Komi P.V. (1988) Responses to serum androgenic-anabolic and catabolic hormones to prolonged strength training. *Int. J. Sports Med.*, 9, 229-233.
21. Banfi G., Marinelli M., Roi G.S., Agape V. (1993) Usefulness of free testosterone/cortisol ratio during a season of elite speed skating athlete. *Int. J. Sports Med.*, 14, 373-379.
22. Handziski Z., Maleska V., Petrovska S., Nikolik S., Mickoska E., Dalip M. et al. (2006) The changes of ACTH, cortisol, testosterone and testosterone/cortisol ratio in professional soccer players during a competition half-season. *Bratisl. Lek. Listy*, 107, 259-263.
23. Vervoorn C., Quist A.M., Vermulst L.J., Erich W.B., de Vries W.R., Thijssen J.H. (1991) The behaviour of plasma free testosterone/cortisol ratio during a season of elite rowing training. *Int. J. Sports Med.*, 12, 257-263.
24. Boraczyński T., Urniarz J. (2008) The influence of physical training on anaerobic fitness of elite handball players. *Research Yearbook*, 14, 69-73.

Otrzymano: 04.02.2010

Przyjęto: 07.05.2010