

# ESTIMATION OF SIMPLE AND COMPLEX RESPONSE TIME DEVELOPMENT USING REGRESSION ANALYSIS

JANUSZ JAWORSKI<sup>1</sup>, ELIGIUSZ MADEJSKI<sup>2</sup>, GRAŻYNA KOSIBA<sup>2</sup>, SYLWIA WIATR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*The University School of Physical Education in Krakow, Faculty of Physical Education, Institute of Sports, Department of Sports Theory and Anthropomotomics*

<sup>2</sup>*The University School of Physical Education in Krakow, Faculty of Physical Education, Institute of Social Sciences, Department of Theory and Methodology of Physical Education*

<sup>3</sup>*Doctoral Studies at The University School of Physical Education in Krakow*

Mailing address: Janusz Jaworski, The University School of Physical Education,  
Department of Sports Theory and Anthropomotomics, 78 Jan Paweł II Ave., 31-571 Kraków,  
tel.: +48 12 6831048, fax: +48 12 6831121, e-mail: wajawors@cyf-kr.edu.pl

## Abstract

**Introduction.** The aim of the study was to determine the age, level of achieving maximum results and growth of reaction time dynamics. **Materials and methods.** The study included 567 males of age between 7 and 22 years. Study materials included the results of simple reaction time and complex reaction time during progressive period. **Conclusions.** Progressive period of results' development lasts until the age of about 17-17.5, then stabilization of the analyzed results was observed. The most dynamic growth of all types of reaction time was observed in the analyzed 7 and 8-year-old boys.

**Key words:** reaction time, coordination motor abilities, the rural population

## Introduction

For many years the coordination motor abilities (CMA) have been the subject of numerous scientific studies. Because of their special role, the researches were carried out, which allowed the isolation of specific CMAs, their internal structure and a variety of measurement methods [1, 2, 3, 4]. Regardless of the structuration concept in all CMA classifications, rapid response capability stands out. It allows for rapid initiation and execution of targeted, short-term motor operation in reaction to a specific signal, which may involve the whole body or its parts. Its level is indicated by the time elapsed since the activation signal to the completion of a specific movement, which is referred to as the response time [2, 5, 6]. It affects the efficiency of the following processes: formation of receptor stimulation, excitation transfer to the central nervous system, course of stimulation by nerve centers, and formation of operating signal, the signal path from the nervous system to the muscle, muscle stimulation with the change of its tension and the initiation of motion [6, 7]. Response time varies based on many factors, among others: on the genetic control power, the age and sex of respondents, the number and type of stimuli, the properties of the nervous system, stress, training time, and the sportive level, health status, functional asymmetry, the strength of the stimulus, the level of stimulation and fatigue, the interval between successive stimuli [6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. In psychology, there are three main types of response times [16, 17, 18]: simple response time – involves response to predetermined individual signals (e.g. sound); differential response time – occurs when the respondent only reacts to certain stimuli, where they should cause response, and others should not cause any response; response time of choice – involves choosing an appropriate motor response out of several possible.

The work of Donders of 1868 (quoted in [15]), should be

considered as pioneering research on the response time – demonstrated that simple response time is shorter than the response time of choice, and the longest among all is the differential response time. It is generally accepted that the average simple response time is about 220 ms, and the average differential response time is 384 ms. The variation of times depending on the type of stimulus is also observed. In many scientific studies, it was found that the response to the sound stimulus is faster than response to visual stimulus. Average auditory response times oscillate within the limits of 140-160 ms, and the response time to visual stimuli – 180-200 ms [12]. It is clear that the response time increases with the number of possible stimulus-response reactions. In the literature, this relationship is described as Hick's law [19], which states that the response time increases in direct proportion to the logarithm of the number of stimulus-response pairs. According to this law, with two pairs of stimulus-response reaction time is extended by about 58% as compared to the simple response time. When further increasing the number of possible choices, the reaction time increases, but not as intensely as before. With the increase of the number of stimulus-response choices from 9 to 10, the response time is increased only about 2-3% [18].

As is clear from a cursory analysis of the literature there are no works determining the age at which individuals achieve maximum results, and information what is the growth dynamics of simple response time (to visual and auditory stimuli) and the complex response time during progressive period. This information was the primary objective of this research. The study and the results obtained will therefore constitute basis for answers the following research questions:

1. What is the age at which respondents represent the peak (best) performance of response times tested?
2. What is the level of peak performance of tested types of response times?

3. Does the set course of regression equations coincide with arithmetic averages obtained from the research?
4. What is the dynamics of the tested response time increments depending on their type and age of the subjects?

### Material and methods

Study materials included the results of simple response time to visual, auditory stimulus and complex response time (with choice). The research was conducted in the years 2006-2012. The study covered 567 males of ages between 7 and 22 years, from the rural area population of Kraków. Continuous research was conducted on subjects between 7 and 11 years. From the age of 14 years a cross-sectional material was available. The subjects were arbitrarily divided into 7 groups according to their chronological age (Tab. 1).

Before the first evaluated test, each subject underwent a test, which was not recorded. The test was stopped when the trainer noticed that the tested person completely understands what the test is about. The subject always performed the test with dominant hand. The study used a portable Toshiba Satellite R15 tablet with touch screen and specially developed Jaworski's computer test [20]. The study was conducted in a separate room that was peaceful and quiet.

The scope of research covered:

- simple response time to visual stimulus. The subjects responded as soon as possible (by pressing the left mouse button) to the white square emerging centrally. 10 tests were performed, 2 extreme best and worst results were discarded. Of the remaining results, the arithmetic average was calculated, the result was expressed in ms;
- simple response time to auditory stimulus. The subjects responded as quickly as possible (by pressing the left mouse button) to the laptop-generated sound signal. 10 tests were performed, 2 extreme best and worst results were discarded. Of the remaining results, the arithmetic average was calculated, the result was expressed in ms;
- complex response time (with choice). The subjects responded as quickly as possible (in accordance with the instructions by pressing the left or right mouse button) to the emerging central white square or audible signal generated by the laptop. 10 tests were performed, 2 extreme best and worst results were discarded. Of the remaining results, the arithmetic average was calculated, the result was expressed in ms.

In all three cases the so called absolute response time was recorded, which is the total measure of sensory and motor component (pre-motor response time – only possible to assess using

of the EMG signal + motor time – the growth of muscle activity to make a move). Thus, in the tests the time from the appearance of the stimulus until pressing the mouse was recorded. This type of measurement is particularly important in sport as well as in medical research. The terms “simple and complex response time” should be understood like that in rest of the study.

Statistical methods of the materials' development:

1. The basic statistical characteristics of response times studied in the distinguished fractions and chronological age, and for each category of response times were calculated.
2. On the basis of curvilinear regression equations the chronological age of subjects achieving the best result for each type of response time were determined.
3. Using curvilinear regression equations the level of the best result for each category of response times was also determined.
4. The indicators of developmental progress and the pace of development of the analyzed response times (in % of the first year of the study) were calculated. The value of the skills at age 7 was assumed as 100% [21].

### Results

The level of analyzed response times of males in the distinguished age groups of the chronological age are shown in Table 1. It includes arithmetic averages defined on the basis of research results, as well as designated on the basis of curvilinear regression equations. According to the analysis of arithmetic averages in the development of each ability, we can distinguish two periods: the progressive period and the period of relative stability results (in the last age group).

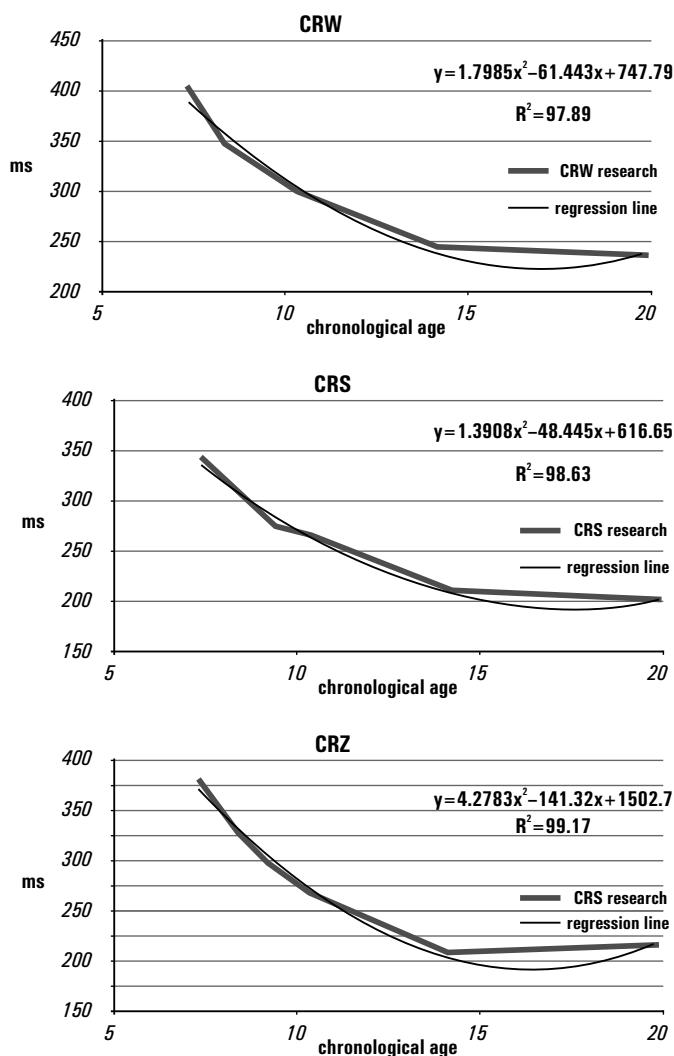
Already a preliminary analysis of the results in Table 1 demonstrate that the best result in response times fell between the averages in age group of junior high school students and academic students. In order to accurately estimate the minimum average response time and the age at which it is derived, second degree curvilinear regression equations were used. These equations, together with the level of development of the analyzed response times are presented in Figure 1.

According to the analysis of Figure 1, the course of designated regression equations almost fully coincides with arithmetic averages obtained from studies for the given chronological age. This pattern was particularly evident in the age range 7 to 15 years. A very good fit to the actual data of the proposed regression equations is also confirmed by a very high  $R^2$  rate. The model proposed for males explained between 97-98% of the variability of visual and auditory response time and up

**Table 1.** Arithmetic average values of the analyzed response times in distinguished male chronological age groups (ms)

Chronological age group	Males					
	Visual response time		Auditory response time		Complex response time	
	Result of research	The result of the regression equation	Result of research	The result of the regression equation	Result of research	The result of the regression equation
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
7 ( $\bar{x}=7.35$ )	406.67	379.23	342.86	325.33	711.15	662.83
8 ( $\bar{x}=8.35$ )	349.32	357.51	304.07	307.32	611.12	615.44
9 ( $\bar{x}=9.35$ )	321.94	335.78	275.09	289.32	540.63	568.06
10 ( $\bar{x}=10.35$ )	300.03	314.06	265.36	271.32	491.31	520.67
11 ( $\bar{x}=11.35$ )	286.04	292.34	250.37	253.31	453.42	473.28
Junior High School ( $\bar{x}=14.26$ )	244.20	229.24	209.93	201.02	368.60	335.64
Academic students ( $\bar{x}=19.93$ )	235.65	216.71	202.71	199.35	382.71	338.47

about 99% of the complex response time. Thus, based on the determined second degree regression equations one may determine the age of achieving the best possible result and its level with a high accuracy. The corresponding data for both parameters are shown in Table 2.



Key: CRW – visual response time, CRS – auditory response time, CRZ – complex response time

Figure 1. Changes in the level of tested response times during progressive period, according to the age

Based on the data presented in Table 2, it can be concluded that the period for obtaining the best results in visual response time is the age of about 17 years. Then, the auditory response time – the age of about 17.5 years. In turn, almost a year younger the boys presented the best results in complex response times. And analyzing the results according to the category of the test time, it was found that the best results were obtained for auditory response time (194 ms), then a visual response time (223 ms) and finally complex response time (335 ms). Based on the drawn curvilinear regression line one may conventionally assume that the stabilization period (best results) of the times analyzed is at the age between 17 and 20 years of age.

With material from continuous research, and bearing in mind the above described regularities, the analysis also dealt with assessment of the development level and growth of dy-

namics of different types of response times. The value of skills in the first year of research was assumed as 100%. Suitable data of the analyzed response times are shown in Table 3. The most dynamic growth of all types of response times were observed between 7 and 8 years of age of the tested boys. This amounts to approximately 11% and 14% depending on the type of response analyzed. From the age of approximately 11 years, the growth dynamics rate considerably decreases, as is only about 3%. The total increase in skills discussed (in relation to the result in 7 years of age) was approximately 41-47%.

Table 2. Age of achievement of the best result and its level (in ms) determined on the basis of the curvilinear regression equations

Variable	Males			
	Age of achieving the best result	Best score (x <sub>min</sub> )	Parameter	
Visual response time	17.08	223.01	The regression equation	$y = 1.7985x^2 - 61.443x + 747.79$
			R <sup>2</sup> [%]	97.89
Auditory response time	17.42	194.61	The regression equation	$y = 1.3908x^2 - 48.445x + 616.65$
			R <sup>2</sup> [%]	98.63
Complex response time	16.52	335.69	The regression equation	$y = 4.2783x^2 - 141.32x + 1502.7$
			R <sup>2</sup> [%]	99.17

Table 3. The advancement and dynamics growth of the tested ability in males

Variable	Parameter	Result of research						
		Age						
		7	8	9	10	11	14.26	19.93
Visual response time	ZR%	100	85.90	79.16	73.78	70.34	60.04	57.94
	d%	-	-14.10	-6.74	-5.38	-3.44	-10.30	-2.10
Auditory response time	ZR%	100	88.68	80.23	77.39	73.02	61.22	59.12
	d%	-	-11.32	-8.65	-2.84	-4.37	-11.80	-2.10
Complex response time	ZR%	100	85.93	76.02	69.08	63.75	51.83	53.81
	d%	-	-14.07	-9.91	-6.94	-5.33	-11.92	1.89

ZR% – progress of feature development in age category n, where % value of the first test at the age of 7; d% = ZR%<sub>n</sub> - ZR%<sub>n-1</sub>, where: ZR%<sub>n</sub>, value of the feature in age category n (%), ZR%<sub>n-1</sub>, value of feature in the previous year of study (%)

### Discussion

To test the simple and complex response time a specially designed computer program was used that runs on a tablet. The inspiration for this approach involved developed and improved for many years computer tests of coordination motor abilities [22, 23]. Authored set of tests has been successfully verified in pilot studies in terms of reliability and validity, i.e. very important criteria for the credibility of test use in practice. Indicators of the reliability of authored test set ranged from 0.76 to 0.93 [20]. Thus it was characterized by appropriate integrity for this type of tools – also postulated in other studies [22, 23, 24, 25].

As mentioned in the introduction, one of the factors influencing the level of response time are genetic conditions. By far the most numerous studies related to genetic simple response time, determined on the basis of twin studies. In contrast, most studies of simple response time heritability based on family materials were so far carried out in Poland (review of studies [26]). In general, based on the data we can conclude that high levels of

heritability of this feature were demonstrated in earlier work based on the materials of twins ( $h^2$  0.56 to 0.86), whereas the results of recent, methodologically correct work do not support these suggestions. In turn, family studies suggest that the heritability of the characteristic indicators is in the range from 0.18 to 0.56. Thus, simple response time belongs to features of a weak genetic control. There is a very modest output relating to the power of genetic conditioning of complex response time [20, 27]. On the basis of only two reports one certainly cannot draw a clear conclusion about the strength of genetic control.

Then a very important factor in determining the level of response time is the kind of stimulus to which respondents respond. In own studies, a very characteristic pattern of the arithmetic averages of the times was obtained. Namely, the best results were obtained for auditory response time, then visual response time, and finally response time of choice. This pattern is evident in each chronological age group. The results obtained are also confirmed by the data of other authors [12, 15, 28]. To some extent, it is probably due to the way the stimulus reaching the brain. Research shows that the auditory stimulus reaches the brain in about 8-10 ms [29], and visual stimulus only after about 20-40 ms [30]. The difference between the distinguished types of responses is maintained regardless of whether we are dealing with the simple or complex response [31]. In turn, the response time to touch is located between the results of the visual and auditory response time and equals to the average of about 155 ms [17]. Also, the results [32] confirm that shortest response times are to the auditory and sensory stimuli, which is caused by the fast processing of audio information by auditory receptors and short duration of the afferent impulse transmission to the brain.

Another very important factor influencing the response time is the age of the respondents. The results of comparative studies indicate that until the age of about 20 years we are dealing with a period of progress. The obtained own results also confirm the observations. During the entire period studied there occurred improvement in performance, and peak capabilities were observed between 17 and 20 years of age. In turn, based on years of longitudinal research, Hirtz [33] found that at age of 17 the response time reaches its maximum. Similar timeframes were also obtained in the present study. Then, until about 50-60 years of age gradual deterioration of results is observed. The rapid involution changes in both sexes are noted after approximately 70 years of age [12, 34, 35]. However, given the intra-individual diversity it should be noted that already in the progressive period, in the area of coordination capacity in approximately 20% of subjects stagnation is noted, and even regress in 10% [36, 37]. Many cited authors emphasize that coordination capacity develop in different directions, but the greatest increases are observed between 7 and 11-12 years of age. The results of their ongoing research regarding the growth dynamics of response time, are also consistent with these observations.

### Conclusions

On the basis of the presented research results, the following conclusions consistent with the purpose of the work may be drawn:

1. Tested response times indicated that the progressive period of results development lasts until the age of about 17-17.5 years, then the analyzed ability stabilizes.
2. A system of response times depending on the category was characteristic. The shortest time was obtained for the auditory response, then visual, and then the longest for the complex response.
3. Peak scores were presented by the subjects at earliest time in the case of complex response time, a little later in the case of

visual response, and at the end in the case of auditory response.

4. The most dynamic growth of all types of response times was observed between the age of 7 and 8 in tested boys.

### Literature

1. Szopa J., Mleczo E., Żak S. (1996). *The basic of anthropometrics*. Warszawa-Kraków: Wydawnictwo Naukowe PWN. [in Polish]
2. Raczek J., Mynarski W., Ljach W. (2003). *Shaping and diagnosis of coordination motor abilities*. Handbook for teachers, trainers and students. Katowice: AWF Katowice. [in Polish]
3. Starosta W. (2003). *Motor coordination abilities. Significance, structure, shaping*. Warszawa: Instytut Sportu. [in Polish]
4. Hirtz P., Forschungszirkel "N.A. Bernstein" (2007). *Phenomena of the human motor development*. Schorndorf: Hofmann. [in German]
5. Taware G.B., Bhutkar M.V., Bhutkar P.M., Doijad V.P., Surdi A.D. (2012). Effect of age on audio-visual and whole body reaction time. *Al Ameen Journal of Medical Science* 5(1), 90-94.
6. Bańkosz Z., Nawara H., Ociepa M. (2013). Assessment of simple reaction time in badminton players. *Trends in Sport Sciences* 1(20), 54-61.
7. Maćkała K., Cych P. (2011). Factors influencing the response time in teaching and perfecting low start. *Rozprawy Naukowe AWF we Wrocławiu* 33, 5-11. [in Polish]
8. Lord S.R., Fitzpatrick R.C. (2001). Choice stepping reaction time a composite measure of falls risk in older people. *The Journals of Gerontology Series A* 56(10), 627-632. DOI: 10.1093/gerona/56.10.M627.
9. Luchies C.W., Shiffman J., Richards L.G., Thompson M.R., Baziun D., DeYoung A.J. (2002). Effect of age, step direction and reaction condition on the ability to step quickly. *The Journals of Gerontology Series A* 57(4), 246-249. DOI: 10.1093/gerona/57.4.M246.
10. Der G., Deary I.J. (2006). Age and sex differences in reaction time in adulthood: results from the United Kingdom health and lifestyle survey. *Psychology and Aging* 21(1), 62-73. DOI: 10.1037/0882-7974.21.1.62.
11. Kaarin J.A., Dear K., Christensen H., Jorm A.F. (2005). Biomarkers, health, lifestyle, and demographic variables as correlates of reaction time performance in early, middle, and late adulthood. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 58A(1), 5-21. DOI: 10.1080/02724980443000232.
12. Kosinski R.J. (2008). *A literature review on reaction time*. Clemson University. Retrieved from <http://biae.clemson.edu/bpc/bp/Lab/110/reaction.htm>.
13. Saxena C., Kaur R., Arun P. (2008). Reaction time of a group of physics students. *Physics Education* 43(3), 309-313. DOI: org/10.1088/0031-9120/43/3/010.
14. Solanki J., Joshi N., Shah C., Mehta H.B., Gokhle P.A. (2012). A study of correlation between auditory and visual reaction time in healthy adults. *International Journal of Medicine and Public Health* 2(2), 36-38.
15. Apoorvagiri, Nagananda M.S. (2013). Mental stress and its implications on reaction time. *International Journal of Computer Trends and Technology* 4 (5), 1426-1430.
16. Welford A.T. (1980). Choice reaction time: basic concepts. In A.T. Welford (Ed.), *Reaction times* (pp. 73-128). New York: Academic Press.
17. Luce R.D. (1986). *Response times: their role in inferring elementary mental organization*. New York: Oxford University Press.

18. Schmidt R.A., Wrisberg C.A. (2010). *Development of motor skills*. Warszawa: Centralny Ośrodek Sportu. [in Polish]
19. Hick W.E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 4, 11-26.
20. Jaworski J. (2012). *Environmental and family determinants of selected coordination motor abilities. Longitudinal study on children from rural areas aged 7 to 11 years*. Monografie, Kraków: AWF Kraków. [in Polish]
21. Mleczek E. (1991). *The course of and conditions affecting morfo-functional development in children from Krakow ages 7-14*. Kraków: Wydawnictwo Monograficzne AWF Kraków. [in Polish]
22. Juras G., Waśkiewicz Z. (1998). *Temporal, spatial, and dynamic aspects of coordination motor abilities*. Studies of human motor skills 3, Katowice: AWF Katowice. [in Polish]
23. Klocek T., Spieszny M., Szczepanik M. (2002). *Computer tests of coordination motor abilities*. Warszawa: Centralny Ośrodek Sportu. [in Polish]
24. Domholdt E. (2000). *Physical therapy research. Principles and applications* (2<sup>nd</sup> edition). Philadelphia: WB Saunders Co.
25. <http://www.schuhfried.com/viennatestsystem10/tests-test-sets/all-tests-from-a-z/>. Retrieved 09.11.2013.
26. Lyakh V., Jaworski J., Wieczorek T. (2007). Genetic endowment of coordination motor abilities a review of family and twin research. *Journal of Human Kinetics* 17, 25-40.
27. Ljach W. (2002). The effect of genetic and environmental factors on the development of motor coordination abilities in children aged 7-10 years. *Physical Education and Sport* 2, 265-267.
28. John M., Poliszczuk T., Poliszczuk D., Dąbrowska-Perzyna A. (2013). Asymmetry of complex reaction time in female épée fencers of different sports classes. *Polish Journal of Sport and Tourism* 20(1), 25-34.
29. Kemp B.J. (1973). Reaction time of young and elderly subjects in relation to perceptual deprivation and signal-on versus signal-off condition. *Developmental Psychology* 8, 268-272.
30. Marshall W.H., Talbot S.A., Ades H.W. (1943). Cortical response of the anaesthetized cat to gross photic and electrical afferent stimulation. *Journal of Neurophysiology* 6, 1-15.
31. Sanders A.F. (1998). *Elements of human performance: reaction processes and attention in human skill*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
32. Kandel E.R., Schwarz J.H., Jessell T.M. (2000). *Principals of neural science*. New York: McGraw-Hill.
33. Hirtz P. (1978). Accents of formation of the coordination capacity during physical education classes in grades 1 to 10. *Körperziehung* 1, 340-344. [in German]
34. Rose S.A., Feldman J.F., Jankowski J.J., Caro D.M. (2002). A longitudinal study of visual expectation and reaction time in the first year of life. *Child Development* 73(1), 47-61.
35. Jaworski J., Tchórzewski D., Bujas P. (2011). Involution of simple and complex reaction times among people aged between 21 and 80 – the results of computer tests. *Human Movement* 12(2), 153-158. DOI: 10.2478/v10038-011-0013-y.
36. Hirtz P. (1998). *The individual variability of inter-individual motor development*. (Ed. R. Ricken). St. Augustin: Academia. [in German]
37. Hirtz P., Dierks B., Holtz A., Ludwig G., Lühnenschloß D., Vilkner H.J., et al. (2012). *Motor skills. Reaction*. Schorndorf: Hofmann. [in German]

Submitted: November 25, 2013

Accepted: December 18, 2013

# ESTYMACJA ROZWOJU CZASU REAKCJI PROSTEJ I ZŁOŻONEJ Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY REGRESJI

JANUSZ JAWORSKI<sup>1</sup>, ELIGIUSZ MADEJSKI<sup>2</sup>, GRAŻYNA KOSIBA<sup>2</sup>, SYLWIA WIATR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Akademia Wychowania Fizycznego im. B. Czecha w Krakowie, Wydział Wychowania Fizycznego, Instytut Sportu, Zakład Teorii Sportu i Antropomotoryki

<sup>2</sup>Akademia Wychowania Fizycznego im. B. Czecha w Krakowie, Wydział Wychowania Fizycznego, Instytut Nauk Społecznych, Zakład Teorii i Metodyki Wychowania Fizycznego

<sup>3</sup>Studia Doktoranckie w Akademii Wychowania Fizycznego im. B. Czecha w Krakowie

Adres do korespondencji: Janusz Jaworski, Akademia Wychowania Fizycznego im. B. Czecha, Zakład Teorii Sportu i Antropomotoryki, al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków, tel.: 12 6831048, fax: 12 6831121, e-mail: wajawors@cyf-kr.edu.pl

## Streszczenie

**Wprowadzenie.** Celem pracy było określenie wieku, poziomu osiągania maksymalnych wyników oraz dynamiki przyrostów czasu reakcji. **Materiał i metody.** Badaniami objęto 567 mężczyzn w wieku od 7 do 22 lat. Materiał opracowania stanowiły wyniki czasu reakcji prostej oraz czasu reakcji złożonej w okresie progresywnym. **Wnioski.** Okres progresywny rozwoju wyników trwa do wieku około 17-17,5 lat, potem obserwuje się stabilizację wyników analizowanych zdolności. Największą dynamikę przyrostów wszystkich typów czasu reakcji zaobserwowano pomiędzy 7 a 8 rokiem życia badanych chłopców.

**Słowa kluczowe:** czas reakcji, koordynacyjne zdolności motoryczne, populacja wiejska

## Wstęp

Od wielu lat koordynacyjne zdolności motoryczne (KZM) są przedmiotem licznych opracowań naukowych. Ze względu na ich szczególną rolę prowadzone są badania, które pozwoliły na wyodrębnienie specyficznych KZM, ich struktury wewnętrznej oraz różnorodnych metod pomiaru [1, 2, 3, 4]. Niezależnie od koncepcji strukturyzacji we wszystkich klasyfikacjach KZM wyróżnia się zdolność szybkiej reakcji. Pozwala ona na szybkie zainicjowanie i wykonanie celowego, krótkotrwałego działania ruchowego na określony sygnał, w którym zaangażowane może być całe ciało lub jego część. O jej poziomie świadczy czas jaki upływa od momentu zadziałania sygnału do zakończenia ściśle określonego ruchu, który określa się mianem czasu reakcji [2, 5, 6]. Wpływa na niego sprawność następujących procesów: powstania pobudzenia w receptorze, przekazania pobudzenia do ośrodkowego układu nerwowego, przebiegu pobudzenia przez ośrodki nerwowe i uformowanie sygnału wykonawczego, przebiegu sygnału z ośrodka układu nerwowego do mięśnia, pobudzenia mięśnia wraz ze zmianą jego napięcia i zapoczątkowanie ruchu [6, 7]. Czas reakcji zależy od wielu czynników m. in. od: siły kontroli genetycznej, wieku i płci badanych, liczby i rodzaju bodźców, właściwości systemu nerwowego, stresu, stażu treningowego i poziomu sportowego, stanu zdrowia, asymetrii funkcjonalnej, siły bodźca, poziomu pobudzenia i zmęczenia, przerwy pomiędzy kolejnymi bodźcami [6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. W psychologii wyróżnia się trzy główne rodzaje czasów reakcji [16, 17, 18]: czas reakcji prostej – polega na reagowaniu na z góry określone pojedyncze sygnały (np. dźwięk); czas reakcji różnicowej – występuje wówczas gdy badany reaguje tylko na pewne bodźce, które powinny mieć odpowiedź, a inne nie powinny dawać żadnej odpowiedzi; czas reakcji z wyborem – polega na wyborze odpowiedniej odpowiedzi ruchowej z kilku możliwych.

Za pionierskie badania nad czasem reakcji należy uznać pracę Donders z roku 1868 (cyt. za [15]), w której wykazano, że czas reakcji prostej jest krótszy niż czas reakcji z wyborem, a najdłuższy spośród analizowanych jest czas reakcji różnicowej. Generalnie przyjmuje się, że czas reakcji prostej wynosi średnio około 220 ms, a czas reakcji różnicowej średnio 384 ms. Obserwuje się również zróżnicowanie czasów w zależności od rodzaju bodźca. W wielu pracach naukowych stwierdzono, że reakcja na bodziec dźwiękowy jest szybsza niż reakcja na bodziec wzrokowy. Średnie czasy reakcji słuchowych zawierają się w granicach 140-160 ms, a czas reakcji na bodźce wizualne 180-200 ms [12]. Oczywiście jest, że czas reakcji wydłuża się wraz z liczbą możliwych odpowiedzi bodziec-reakcja. W literaturze zależność ta opisana jest jako prawo Hicka [19], które stwierdza, że czas reakcji wzrasta wprost proporcjonalnie do logarytmu liczby par bodziec-reakcja. Zgodnie z tym prawem przy dwóch parach bodziec-reakcja czas reakcji wydłuża się o około 58% w stosunku do czasu reakcji prostej. Gdy dalej zwiększamy liczbę możliwych wyborów to czas reakcji zwiększa się, ale już nie tak intensywnie. Przy przyroście liczby wyborów bodziec-reakcja z 9 do 10, czas reakcji zwiększa się tylko o około 2-3% [18].

Jak wynika z pobieżnej analizy literatury bark jest prac określających wiek, w którym osobnicy osiągają maksymalne wyniki oraz informacji jaka jest dynamika przyrostów czasu reakcji prostej (na bodziec wzrokowy i słuchowy) oraz złożonej w okresie progresywnym. Te informacje były zasadniczym celem niniejszego doniesienia. Przeprowadzone badania i otrzymane wyniki będą więc podstawą do odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

1. Jaki jest wiek, w którym badani prezentują szczytowe (najlepsze) wyniki testowanych czasów reakcji?
2. Jaki jest poziom szczytowych wyników testowanych typów czasów reakcji?
3. Czy przebieg wyznaczonych równań regresji pokrywa się ze

- średnimi arytmetycznymi otrzymanymi z badań?
4. Jaka jest dynamika przyrostów badanych czasów reakcji w zależności od ich typów oraz wieku badanych?

### Materiał i metody

Materiał opracowania stanowiły wyniki czasu reakcji prostej na bodziec wzrokowy, słuchowy oraz czasu reakcji złożonej (z wyborem). Badania zostały przeprowadzone w latach 2006-2012. Objęto nimi 567 mężczyzn w wieku od 7 do 22 lat pochodzących z populacji wiejskiej okolic Krakowa. Między 7 a 11 rokiem życia prowadzono badania ciągle. Począwszy od wieku 14 lat dysponowano materiałem przekrojowym. Osobników arbitralnie podzielono na 7 grup wieku kalendarzowego (Tab. 1).

Przed pierwszym ocenianym testem każdy wykonywał próbę, która nie była zapisywana. Próbę przerywano, gdy prowadzący zauważył, że testowana osoba całkowicie rozumie na czym ona polega. Test zawsze badany wykonywał ręką dominującą. Do badań wykorzystano komputer przenośny typu „tablet” z ekranem dotykowym Toshiba Satellite R15 oraz specjalnie opracowany test komputerowy Jaworskiego [20]. Badania prowadzono w osobnym pomieszczeniu zapewniającym ciszę i spokój.

Zakres badań objął:

- czas reakcji prostej na bodziec wzrokowy. Badani jak najszybciej reagowali (naciskając lewy przycisk myszy komputerowej) na pojawiający się centralnie biały kwadrat. Wykonano 10 prób, odrzucano po 2 skrajne najlepsze i najgorsze wyniki. Z pozostałych obliczono średnią arytmetyczną, wynik wyrażono w ms;
- czas reakcji prostej na bodziec słuchowy. Badani jak najszybciej reagowali (naciskając lewy przycisk myszy komputerowej) na generowany przez laptop sygnał dźwiękowy. Wykonano 10 prób, odrzucano po 2 skrajne najlepsze i najgorsze wyniki. Z pozostałych obliczono średnią arytmetyczną, wynik wyrażono w ms;
- czas reakcji złożonej (z wyborem). Badani jak najszybciej reagowali (zgodnie z instrukcją naciskając lewy lub prawy przycisk myszy komputerowej) na pojawiający się centralnie biały kwadrat lub sygnał dźwiękowy generowany przez laptop. Wykonano 20 prób, odrzucano po 2 skrajne najlepsze i najgorsze wyniki. Z pozostałych obliczono średnią arytmetyczną, wynik wyrażono w ms.

We wszystkich trzech przypadkach rejestrowano więc tzw. czas absolutny reakcji, który jest łączną miarą składnika sensorycznego i motorycznego (przedruchowy czas reakcji – możliwy do oceny tylko z wykorzystaniem sygnału z EMG + czas moto-

ryczny – od wzrostu aktywności mięśni do wykonania ruchu). Tak więc w badaniach rejestrowano czas od chwili pojawiania się bodźca do momentu naciśnięcia przycisku myszy komputerowej. Tego rodzaju pomiar ma szczególnie istotne znaczenie aplikacyjne w sporcie jak również w badaniach medycznych. W dalszej części pracy tak właśnie należy rozumieć używane terminy „czas reakcji prostej lub złożonej”.

Metody statystyczne opracowania materiału:

1. Obliczono podstawowe charakterystyki statystyczne badanych czasów reakcji w wyróżnionych frakcjach wieku kalendarzowego oraz dla poszczególnych kategorii czasów reakcji.
2. Na podstawie równań regresji krzywoliniowych wyznaczono wiek kalendarzowy osiągania najlepszego wyniku dla poszczególnych typów czasu reakcji.
3. Wykorzystując równania regresji krzywoliniowych wyznaczono również poziom najlepszego wyniku dla poszczególnych kategorii czasów reakcji.
4. Obliczono wskaźniki zaawansowania rozwojowego i tempa rozwoju analizowanych czasów reakcji (w % wielkości pierwszego roku badań). Przyjęto wartość zdolności w wieku 7 lat jako 100% [21].

### Wyniki

Poziom analizowanych czasów reakcji mężczyzn w wyróżnionych grupach wieku kalendarzowego przedstawiono w Tabeli 1. Zawiera one średnie arytmetyczne określone na podstawie wyników badań, jak również wyznaczone na podstawie równań regresji krzywoliniowej. Jak wynika z analizy układów średnich arytmetycznych w rozwoju każdej zdolności możemy wyróżnić 2 okresy: progresywny oraz okres względnej stabilizacji wyników (w ostatniej grupie wiekowej).

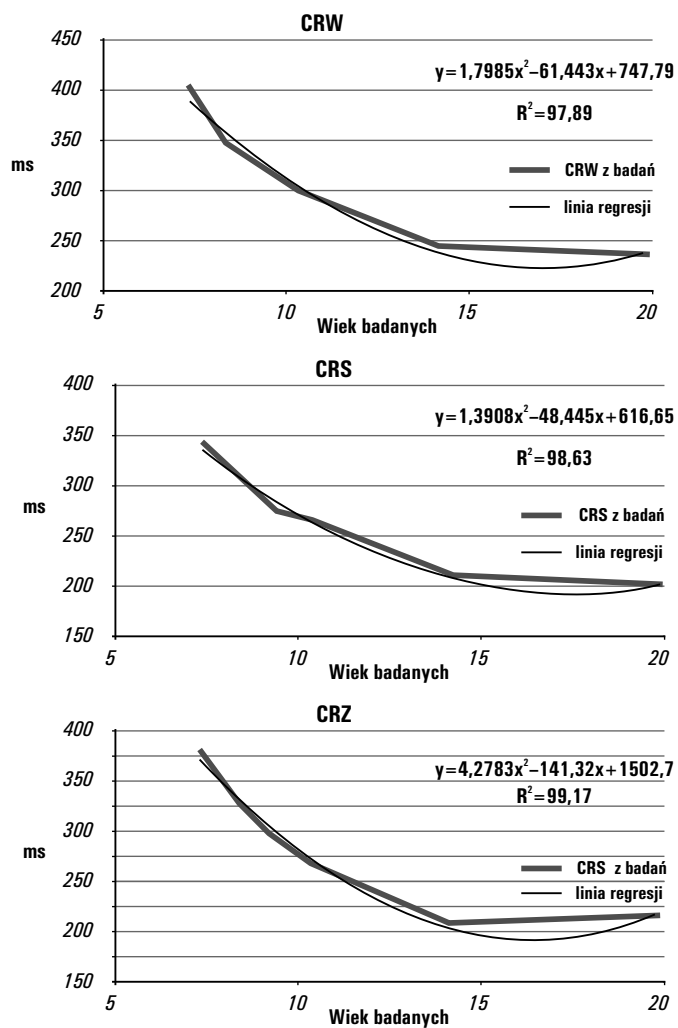
Już wstępna analiza wyników z Tabeli 1 pozwala stwierdzić, iż najlepszy rezultat czasów reakcji przypadła na wiek pomiędzy średnimi grupy gimnazjalistów oraz studentów. W celu dokładnego wyestymowania wartości minimalnego średniego czasu reakcji oraz wieku, w którym jest on uzyskany, wykorzystano równia regresji krzywoliniowej drugiego stopnia. Równania te wraz z poziomem rozwoju analizowanych czasów reakcji zaprezentowano na Rycinie 1.

Jak wynika z analizy Ryciny 1 przebieg wyznaczonych równań regresji prawie w pełni pokrywał się z otrzymanymi z badań średnimi arytmetycznymi dla danego wieku kalendarzowego. Prawidłowość ta była szczególnie widoczna w przedziale wieku 7 do około 15 lat. O bardzo dobrym dopasowaniu danych rzeczywistych do zaproponowanych równań regresji świadczy również bardzo wysoka wartość współczynnika  $R^2$ .

**Tabela 1.** Średnie arytmetyczne analizowanych czasów reakcji u mężczyzn w wyróżnionych grupach wieku kalendarzowego (ms)

Grupa wieku kalendarzowego	Mężczyźni					
	Czas reakcji wzrokowej		Czas reakcji słuchowej		Czas reakcji złożonej	
	Wynik z badań	Wynik z równania regresji	Wynik z badań	Wynik z równania regresji	Wynik z badań	Wynik z równania regresji
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
7 ( $\bar{x} = 7,35$ )	406,67	379,23	342,86	325,33	711,15	662,83
8 ( $\bar{x} = 8,35$ )	349,32	357,51	304,07	307,32	611,12	615,44
9 ( $\bar{x} = 9,35$ )	321,94	335,78	275,09	289,32	540,63	568,06
10 ( $\bar{x} = 10,35$ )	300,03	314,06	265,36	271,32	491,31	520,67
11 ( $\bar{x} = 11,35$ )	286,04	292,34	250,37	253,31	453,42	473,28
Gimnazjum ( $\bar{x} = 14,26$ )	244,20	229,24	209,93	201,02	368,60	335,64
Studenci ( $\bar{x} = 19,93$ )	235,65	216,71	202,71	199,35	382,71	338,47

Zaproponowany model dla mężczyzn wyjaśniał pomiędzy 97-98% zmienności czasu reakcji wzrokowej i słuchowej oraz aż około 99% czasu reakcji złożonej. Tak więc, na podstawie wyznaczonych równań regresji drugiego stopnia można z dużą dokładnością określić wiek osiągnięcia najlepszego wyniku oraz jego poziom. Odpowiednie dane dotyczące obu parametrów zaprezentowano w Tabeli 2.



Oznaczenia: CRW – czas reakcji wzrokowej, CRS – czas reakcji słuchowej, CRZ – czas reakcji z złożonej

**Rycina 1.** Zmiany z wiekiem poziomu testowanych czasów reakcji w okresie progresywnym

Na podstawie przedstawionych w Tabeli 2 danych można stwierdzić, iż okres uzyskania najlepszych wyników czasu reakcji wzrokowej przypada na wiek około 17 lat. Następnie czasu reakcji słuchowej na wiek około 17,5 lat. Z kolei prawie o rok wcześniej chłopcy prezentowali najlepsze rezultaty czasu reakcji złożonej. Z kolei analizując układ wyników w zależności od kategorii badanego czasu stwierdzono, iż najlepsze rezultaty otrzymano dla czasu reakcji słuchowej (194 ms), następnie wzrokowej (223 ms) i wreszcie złożonej (335 ms). Na podstawie przebiegu wyznaczonej linii regresji krzywoliniowej można umownie przyjąć, że okres stabilizacji (najlepszych wyników) analizowanych czasów przypada, więc na wiek pomiędzy 17 a 20 rokiem życia.

Dysponując materiałem z badań ciągłych oraz mając na uwadze powyżej opisane prawidłowości przedmiotem analizy

była również ocena zaawansowania poziomu rozwoju oraz dynamiki przyrostów poszczególnych typów czasu reakcji. Za 100% przyjęto wartość zdolności w pierwszym roku badań. Odpowiednie dane analizowanych czasów reakcji przedstawiono w Tabeli 3. Największą dynamikę przyrostów wszystkich typów czasu reakcji zaobserwowano pomiędzy 7 a 8 rokiem życia badanych chłopców. Wynosi ona odpowiednio około 11% oraz 14% w zależności od analizowanego typu reakcji. Począwszy od wieku około 11 lat dynamika przyrostów znacznie maleje, bowiem wynosi tylko około 3%. Całkowity przyrost omawianych zdolności (w relacji do wyniku w 7 roku życia) wyniósł około 41-47%.

**Tabela 2.** Wiek osiągnięcia najlepszego rezultatu oraz jego poziom (w ms) wyznaczony na podstawie równań regresji krzywoliniowej

Zmienna	Mężczyźni			
	Wiek osiągnięcia wyniku najlepszego	Wynik najlepszy ( $x_{ms}$ )	Parametr	
Czas reakcji wzrokowej	17,08	223,01	Równanie regresji	$y = 1,7985x^2 - 61,443x + 747,79$
			$R^2$ [%]	97,89
Czas reakcji słuchowej	17,42	194,61	Równanie regresji	$y = 1,3908x^2 - 48,445x + 616,65$
			$R^2$ [%]	98,63
Czas reakcji złożonej	16,52	335,69	Równanie regresji	$y = 4,2783x^2 - 141,32x + 1502,7$
			$R^2$ [%]	99,17

**Tabela 3.** Zaawansowanie i dynamika rozwoju testowanych zdolności u mężczyzn

Zmienna	Parametr	Z wyników badań						
		Wiek						
		7	8	9	10	11	14,26	19,93
Czas reakcji wzrokowej	ZR%	100	85,90	79,16	73,78	70,34	60,04	57,94
	d%	-	-14,10	-6,74	-5,38	-3,44	-10,30	-2,10
Czas reakcji słuchowej	ZR%	100	88,68	80,23	77,39	73,02	61,22	59,12
	d%	-	-11,32	-8,65	-2,84	-4,37	-11,80	-2,10
Czas reakcji złożonej	ZR%	100	85,93	76,02	69,08	63,75	51,83	53,81
	d%	-	-14,07	-9,91	-6,94	-5,33	-11,92	1,89

ZR% – zaawansowanie rozwoju cechy w n klasie wieku, w % wielkości pierwszego testowania w wieku 7 lat; d% =  $ZR\%_n - ZR\%_{n-1}$ , gdzie:  $ZR\%_n$  – wielkość cechy w n klasie wieku (%),  $ZR\%_{n-1}$  – wielkość cechy w poprzednim roku badania (%)

## Dyskusja

Do testowania czasu reakcji prostej oraz złożonej wykorzystano specjalnie skonstruowany program komputerowy uruchamiany na laptopie typu „tablet”. Inspiracją do takiego podejścia były od wielu lat konstruowane i udoskonalane komputerowe testy koordynacyjnych zdolności motorycznych [22, 23]. Autorski zestaw testów został pozytywnie zweryfikowany w badaniach pilotażowych pod względem rzetelności i trafności, a więc bardzo ważnych kryteriów wiarygodności stosowania testów w praktyce. Wskaźniki rzetelności autorskiej baterii testów zawierały się w przedziale od 0,76 do 0,93 [20]. Charakteryzowały się więc odpowiednią rzetelnością dla tego typu narzędzi – postulowaną również w innych badaniach [22, 23, 24, 25].

Jak już wspomniano we wstępie, jednym z czynników warunkującym poziom czasu reakcji są uwarunkowania genetyczne. Zdecydowanie najliczniejsze badania dotyczyły uwarunkowań genetycznych czasu reakcji prostej, określonej na pod-



stawie badań bliźniąt. Z kolei większość badań odziedziczalności czasu reakcji prostej opartych na materiałach rodzinnych przeprowadzono do tej pory w Polsce (przegląd badań [26]). Generalnie na podstawie danych możemy stwierdzić, iż wysokie wskaźniki odziedziczalności tej cechy wykazywano w starszych pracach opartych na materiałach bliźniąt ( $h^2$  0,56 do 0,86), natomiast rezultaty nowszych, metodologicznie poprawnych prac, nie potwierdzają tych sugestii. Z kolei wyniki badań rodzinnych wskazują, iż wskaźniki odziedziczalności badanej cechy zawierają się w przedziale od 0,18 do 0,56. Tak, więc czas reakcji prostej należy do cech o słabej kontroli genetycznej. Bardzo skromny dorobek dotyczy siły uwarunkowań genetycznych czasu reakcji złożonej [20, 27]. Na podstawie tylko dwu doniesień nie można z całą pewnością wyciągnąć jednoznacznego wniosku o jej sile kontroli genetycznej.

Następnie bardzo ważnym czynnikiem decydującym o poziomie czasu reakcji jest rodzaj bodźca, na który reagują badani. W badaniach własnych otrzymano bardzo charakterystyczny układ średnich arytmetycznych czasów. Mianowicie, najlepsze wyniki otrzymano dla czasu reakcji słuchowej, następnie wzrokowej i na koniec z wyborem. Prawidłowość ta jest widoczna w każdej grupie wieku kalendarzowego. Otrzymane wyniki znajdują również potwierdzenie w danych innych autorów [12, 15, 28]. W jakiej mierze jest to spowodowane zapewne drogą jaką musi pokonać bodziec do mózgu. Z badań wynika, że bodziec słuchowy dociera do mózgu po około 8-10 ms [29], a wizualny dopiero po około 20-40 ms [30]. Różnica pomiędzy wyróżnionymi typami reakcji utrzymuje się niezależnie od tego czy mamy do czynienia z reakcją prostą czy też złożoną [31]. Z kolei czas reakcji na dotyk lokuje się pomiędzy wynikami czasu reakcji słuchowej i wzrokowej i wynosi średnio około 155 ms [17]. Również wyniki [32] potwierdzają, że najkrótsze czasy obserwuje się na bodźce dźwiękowe i czuciowe, co spowodowane jest szybkim przetwarzaniem informacji dźwiękowych przez receptory słuchowe i krótkim trwaniem przekazu impulsu afferentnego do mózgu.

Kolejnym bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na czas reakcji jest wiek badanych. Wyniki badań porównawczych wskazują, że do wieku około 20 lat mamy do czynienia z okresem progresem. Otrzymane wyniki własne potwierdzają również te spostrzeżenia. W całym badanym okresie następowała poprawa wyników, a szczytowe możliwości zaobserwowano pomiędzy 17 a 20 rokiem życia. Z kolei na podstawie wieloletnich badań longitudinalnych Hirtz [33] stwierdził, iż w wieku 17 lat czas reakcji osiąga swoje maksimum. Podobne ramy czasowe otrzymano również w badaniach własnych. Następnie do około 50-60 roku życia obserwujemy stopniowe pogarszanie wyników. Z kolei gwałtowne zmiany involucyjne u obu płci notuje się dopiero po około 70 roku życia [12, 34, 35]. Biorąc jednak pod uwagę zróżnicowanie intraindywidualne podkreślić należy, iż już w okresie progresywnym w obrębie zdolności koordynacyjnych u około 20% osobników zauważa się stagnację, a u 10% nawet regres [36, 37]. Wielu cytowanych autorów podkreśla, iż zdolności koordynacyjne rozwijają się wielokierunkowo, ale ich największe przyrosty obserwuje się pomiędzy 7 a 11-12 rokiem życia. Wyniki ciągłych badań własnych, dotyczące dynamiki przyrostów czasu reakcji, są również zbieżne z tym spostrzeżeniami.

### Wnioski

Na podstawie zaprezentowanych wyników badań można sformułować następujące wnioski zbieżne z celem pracy:

1. Testowane czasy reakcji wskazały, że okres progresywny rozwoju wyników trwa do wieku około 17-17,5 lat, potem obserwuje się stabilizację wyników analizowanych zdolności.

2. Charakterystyczny był układ czasów reakcji w zależności od kategorii. Najkrótszy czas otrzymano dla reakcji słuchowej, następnie wzrokowej i najdłuższy dla złożonej.
3. Szczytowe wyniki osobnicy prezentowali najwcześniej dla czasu reakcji złożonej, nieco później wzrokowej i na koniec słuchowej.
4. Największą dynamikę przyrostów wszystkich typów czasu reakcji zaobserwowano pomiędzy 7 a 8 rokiem życia badanych chłopców.

### Piśmiennictwo

1. Szopa J., Mleczo E., Żak S. (1996). *Podstawy antropomotoryki*. Warszawa-Kraków: Wydawnictwo Naukowe PWN.
2. Raczek J., Mynarski W., Ljach W. (2003). *Kształtowanie i diagnozowanie koordynacyjnych zdolności motorycznych. Podręcznik dla nauczycieli, trenerów i studentów*. Katowice: AWF Katowice.
3. Starosta W. (2003). *Motoryczne zdolności koordynacyjne. Znaczenie, struktura, uwarunkowanie, kształtowanie*. Warszawa: Instytut Sportu.
4. Hirtz P., Forschungszirkel „N.A. Bernstein” (2007). *Phänomene der motorischen Entwicklung des Menschen*. Schorndorf: Hofmann.
5. Taware G.B., Bhutkar M.V., Bhutkar P.M., Doijad V.P., Surdi A.D. (2012). Effect of age on audio-visual and whole body reaction time. *Al Ameen Journal of Medical Science* 5(1), 90-94.
6. Bańkosz Z., Nawara H., Ociepa M. (2013). Assessment of simple reaction time in badminton players. *Trends in Sport Sciences* 1(20), 54-61.
7. Maćkała K., Cych P. (2011). Charakterystyka czynników wpawających na czas reakcji w nauczaniu i doskonaleniu startu niskiego. *Rozprawy Naukowe AWF we Wrocławiu* 33, 5-11.
8. Lord S.R., Fitzpatrick R.C. (2001). Choice stepping reaction time a composite measure of falls risk in older people. *The Journals of Gerontology Series A* 56(10), 627-632. DOI: 10.1093/gerona/56.10.M627.
9. Luchies C.W., Shiffman J., Richards L.G., Thompson M.R., Baziun D., DeYoung A.J. (2002). Effect of age, step direction and reaction condition on the ability to step quickly. *The Journals of Gerontology Series A* 57(4), 246-249. DOI: 10.1093/gerona/57.4.M246.
10. Der G., Deary I.J. (2006). Age and sex differences in reaction time in adulthood: results from the United Kingdom health and lifestyle survey. *Psychology and Aging* 21(1), 62-73. DOI: 10.1037/0882-7974.21.1.62.
11. Kaarin J.A., Dear K., Christensen H., Jorm A.F. (2005). Biomarkers, health, lifestyle, and demographic variables as correlates of reaction time performance in early, middle, and late adulthood. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 58A(1), 5-21. DOI: 10.1080/02724980443000232.
12. Kosinski R.J. (2008). *A literature review on reaction time*. Clemson University. Wyszukane na <http://biae.clemson.edu/bpc/bp/Lab/110/reaction.htm>.
13. Saxena C., Kaur R., Arun P. (2008). Reaction time of a group of physics students. *Physics Education* 43(3), 309-313. DOI: org/10.1088/0031-9120/43/3/010.
14. Solanki J., Joshi N., Shah C., Mehta H.B., Gokhle P.A. (2012). A study of correlation between auditory and visual reaction time in healthy adults. *International Journal of Medicine and Public Health* 2(2), 36-38.
15. Apoorvagiri, Nagananda M.S. (2013). Mental stress and its

- implications on reaction time. *International Journal of Computer Trends and Technology* 4(5), 1426-1430.
16. Welford A.T. (1980). Choice reaction time: basic concepts. W A.T. Welford (Red.), *Reaction times* (s. 73-128). New York: Academic Press.
  17. Luce R.D. (1986). *Response times: their role in inferring elementary mental organization*. New York: Oxford University Press.
  18. Schmidt R.A., Wrisberg C.A. (2010). *Kształtowanie zdolności motorycznych*. Warszawa: Centralny Ośrodek Sportu.
  19. Hick W.E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 4, 11-26.
  20. Jaworski J. (2012). *Środowiskowe i rodzinne uwarunkowania poziomu wybranych koordynacyjnych zdolności motorycznych. Longitudinalne badania dzieci wiejskich w wieku od 7 do 11 lat*. Monografie, Kraków: AWF Kraków.
  21. Mleczko E. (1991). *Przebieg i uwarunkowania rozwoju funkcjonalnego dzieci krakowskich między 7 a 14 rokiem życia*. Kraków: Wydawnictwo Monograficzne AWF Kraków.
  22. Juras G., Waśkiewicz Z. (1998). *Czasowe, przestrzenne oraz dynamiczne aspekty koordynacyjnych zdolności motorycznych*. Studia nad motorycznością ludzką 3, Katowice: AWF Katowice.
  23. Klocek T., Spieszny M., Szczepanik M. (2002). *Komputerowe testy zdolności koordynacyjnych*. Warszawa: Centralny Ośrodek Sportu.
  24. Domholdt E. (2000). *Physical therapy research. Principles and applications* (2<sup>nd</sup> edition). Philadelphia: WB Saunders Co.
  25. <http://www.schuhfried.com/viennatestsystem10/tests-testsets/all-tests-from-a-z/>. Wyszukane 09.11.2013.
  26. Lyakh V., Jaworski J., Wieczorek T. (2007). Genetic endowment of coordination motor abilities a review of family and twin research. *Journal of Human Kinetics* 17, 25-40.
  27. Ljach W. (2002). The effect of genetic and environmental factors on the development of motor coordination abilities in children aged 7-10 years. *Physical Education and Sport* 2, 265-267.
  28. John M., Poliszczuk T., Poliszczuk D., Dabrowska-Perzyna A. (2013). Asymmetry of complex reaction time in female épée fencers of different sports classes. *Polish Journal of Sport and Tourism* 20(1), 25-34.
  29. Kemp B.J. (1973). Reaction time of young and elderly subjects in relation to perceptual deprivation and signal-on versus signal-off condition. *Developmental Psychology* 8, 268-272.
  30. Marshall W.H., Talbot S.A., Ades H.W. (1943). Cortical response of the anaesthetized cat to gross photic and electrical afferent stimulation. *Journal of Neurophysiology* 6, 1-15.
  31. Sanders A.F. (1998). *Elements of human performance: reaction processes and attention in human skill*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
  32. Kandel E.R., Schwarz J.H., Jessell T.M. (2000). *Principals of neural science*. New York: McGraw-Hill.
  33. Hirtz P. (1978). Schwerpunkte der koordinativ-motorischen Vervollkommung im Sportunterricht der Klassen 1 bis 10. *Körperziehung* 1, 340-344.
  34. Rose S.A., Feldman J.F., Jankowski J.J., Caro D.M. (2002). A longitudinal study of visual expectation and reaction time in the first year of life. *Child Development* 73(1), 47-61.
  35. Jaworski J., Tchórzewski D., Bujas P. (2011). Involution of simple and complex reaction times among people aged between 21 and 80 – the results of computer tests. *Human Movement* 12(2), 153-158. DOI: 10.2478/v10038-011-0013-y.
  36. Hirtz P. (1998). *Zur interindividuellen Variabilität der motorischen Entwicklung* (Red. R. Ricken). St. Augustin: Academia.
  37. Hirtz P., Dierks B., Holtz A., Ludwig G., Lühnenschloß D., Vilkner H.J., et al. (2012). *Bewegungskompetenzen. Reaktion*. Schorndorf: Hofmann.

Otrzymano: 25.11.2013

Przyjeto: 18.12.2013