

# GENETIC AND ENVIRONMENTAL IMPACT ON THE VARIABILITY LEVEL OF SOMATIC AND MOTOR DEVELOPMENT IN THE COURSE OF ONTOGENETIC DEVELOPMENT IN FAMILIES FROM THE OSTROWIECKI REGION

## *Genetic and environmental impact on development*

JANUSZ JAWORSKI<sup>1</sup>, VLADIMIR LYAKH<sup>1, 2</sup>, TOMASZ WIECZOREK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Chair of Anthropomotorics, University of Physical Education in Cracow*

<sup>2</sup> *Chair of Team Sports and Recreational Games, Josef Pilsudski University of Physical Education in Warsaw, Faculty of Physical Education in Biala Podlaska*

<sup>3</sup> *Chair of Team Sports Games, University of Physical Education in Cracow*

Mailing address: Janusz Jaworski, University of Physical Education in Cracow, Chair of Anthropomotorics, 78 Jan Paweł II Ave., 31-571 Kraków, tel.: +48 12 6831109, fax: +48 12 6831121, e-mail: wajawors@cyf-kr.edu.pl

**Abstract:** The objective of this study was to identify genetic and environmental impact on the selected somatic and motor parameters in the course of ontogenetic development in the rural population in the Ostrowiecki region.

To determine correlations between environmental and genetic factors accounting for somatic and motor abilities, the classic methods used in the field of genetics of quantitative features were applied. For the identified types of family relations, correlation coefficients, corrected for assortative pairing (between parents) were calculated. Based on the results, the heritability ratios ( $h^2$ ) for the studied parameters were found.

Assortative pairing between parents was insignificant in the studied population. The greatest correlation was observed for length-oriented parameters. No strong genetic impact was noted in the case of functional parameters in males. For most of the studied parameters, the strongest genetic impact was determined for older children, which supports the thesis that full genotype realisation is only achieved in the period of developmental peak. Among the analysed features, average-strong genetic impact was determined in the case of space orientation, movement rate and static force in absolute and relative values.

**Key words:** motor abilities, heritability, assortative pairing, rural population

### Introduction

The studies into genetic and environmental factors underlying somatic and motor features in humans can now be traced back to over 100 years ago [14, 28]. The issue definitely best explored to date concerns the impact of genetic factors on somatic features, which are typically adopted as a reference point to estimate the genetic contribution into functional (motor) parameters. Relatively few studies have attempted to study factors that determine functional parameters relating to both coordination and endurance. A detailed overview of the relevant research works can be found in the works by Starosta [22]. Nowadays, the “nature and nurture” problem has been taken to a new practical level. It is of particular importance for modern professional sports, for the recruitment of candidates for individual sports disciplines or competitions. Only adequate selection and recruitment for sports teams, supported by the understanding of the impact exerted by genetic factors, will in the future allow young sportsmen to attain top performance as well as save them unnecessary disappointments. To that effect, identification of potential sportsmen should be focused on candidates showing high level of so-called “prognostic features”

relating to specific disciplines, where such features strongly depend on the genetic structure, and thus are hardly trainable.

In the field of physical culture sciences, there are generally two methods applied to determine the genetic impact. These methods involve statistical analysis of twin's phenotype or examination of parents-children relations in all possible combinations. As a complementary method (revealing only weak genetic impact), so-called method of “longitudinal development stability” [1, 10, 30, 31] is applied. A detailed overview of the recent methodological assumptions underlying such studies can be found in the work of Żychowska [37].

The objective of this study was to investigate the correlations between genetic and environmental factors underlying the selected somatic and functional parameters in the course of ontogenetic development in a segment of rural population.

### Material and methods

The cross-sectional studies held in the years 2001-2002 comprised 131 full families from rural areas in the region of Kielce. The study group included in total 131 parents pairs, 126 sons and 136 daughters aged 7-15 (family groups). Additionally,

to provide broader coverage (in order to enable standardization of individual parameter, to evaluate environmental differentiation, and to increase the number of study participants), 964 boys and 1024 girls attending elementary schools in this region were included in the study. These participants formed a control group. Tests for parents were conducted at home, while tests for children at school.

The age of the children included in the study was determined with an accuracy of 0.01 years. Based on this information, they were assigned into appropriate calendar-age groups. For instance, a group of 7-year-olds included children whose age fell into the range 6.51-7.50. On the other hand, parents included in the study were classified into 2 age groups: up to 35 and over 35 years of age. The number of participants included in each calendar-age and sex group is shown in Table 1. The following essential suitability parameters were tested:

1. *Morphological and structural parameters:*

- length-oriented: body height, trunk length, sitting height, length of upper limbs,
- width-oriented: width of shoulders, width of hips,
- body mass,
- skinfold measurements (on arms and below shoulders),
- lean body mass (LBM) and fat mass (FM) [21],
- flexibility (sitting forward bend with knee joints fully extended); the test was performed twice, better result was recorded [6].

2. *Power parameters:*

- static force – tested with Collin dynamometers. Two types of dynamometers were included: up to 50 kG for children and 90 kG for adults; the results were used to calculate the relative force in relation to body mass ( $F \cdot kg^{-1}$ ) and lean body mass ( $F \cdot kg \cdot LBM^{-1}$ ),
- maximum anaerobic power (MAP) – calculated as a product of body mass value, standing long jump result and gravitational acceleration [23].

3. *Coordination parameters:*

- response time – tested with “Dietrich sticks” [12],
- movement rate – “plate tapping” test; duration recorded in 15 cycles [6],
- balance – “flamingo balance” test [6]; test repeated five times, recorded better result,
- space orientation – tested with AKN-102 cross device; duration of 49 tasks recorded in “free” series.

**Table 1.** Number of study participants in each calendar-age group (“family group” and “control group”)

Age	Boys		Girls	
	Family group	Control group	Family group	Control group
7	12	74	11	81
8	15	116	15	123
9	14	108	16	129
10	17	119	17	117
11	14	122	19	133
12	14	107	17	112
13	15	111	15	114
14	13	103	16	108
15	12	104	10	107
	126	964	136	1024
	fathers		mothers	
	131		131	

**Statistical analysis**

1. All parameters tested in children and parents were analysed with respect to their compatibility with normal distribution.

2. Significance of differences between average values for the family group and the control group was determined by means of the t-Student or C-Cochran-Cox tests, depending on the variance deviations. In the case of parameters with non-normal distribution, the Kolmogorov-Smirnov non-parametric test was applied. Taking into consideration the statistical tests used in the analysis, in most cases the differences appeared to be insignificant. Therefore, it was possible to combine both groups and thus increase the number of observations, which is an important aspect of this type of studies.

3. Impact of genetic factors was determined using typical methods applied in the genetics of quantitative features [2, 7, 8, 14], namely:

a) Correlation coefficients for all combinations of family relations (father-mother, parents-children, and average parental value-child) were calculated for standardised parameters. Standardisation eliminated such factors as age and sex, and enabled inter-feature comparative analyses. Standardisation was performed into average values and standard deviations of the entire material (together children from the family group and the control group) in one-year groups in the case of children and ten-year groups in the case of parents.

b) Correlation coefficients were calculated for parents divided into 2 age groups (up to 35 and over 35 years of age) which enabled the evaluation of both selective pairing (indicator in the younger group) and so-called “co-habitation effect”, that is partial assessment of the impact generated by family environment (so-called cultural heritability – indicator in the older group). It also allowed us to correct the intra-family correlations (overstated in the case of positive selective pairing) by

$$\frac{1+c}{\sqrt{2(2+c)}} - 0.5, \text{ where:}$$

$c$  is  $r_{\text{father-mother}}$  [23]. Thus, in the end we calculated the correlation coefficient ( $c_{sk}$ ) and determined the heritability ratio ( $h^2$ ) using the simplest equation

$$h^2 = 2c_{sk} \text{ [29, 37].}$$

c) To evaluate the extent of age-dependent variations for individual indicators, the calculations relating to children were performed for two age categories representing pre-pubescence period (7-11 age range for boys and 7-10 age range for girls) and post-pubescence period (12-15 age range for boys and 11-15 age range for girls). The breakdown of study participants with respect to family relations is shown in Table 2.

**Table 2.** Number of each pair in the identified calendar-age groups and types of family relations

Relation type	Number of pairs		Total***
	Group I*	Group II**	
father – son	72	54	126
father – daughter	59	77	136
mother – son	72	54	126
mother – daughter	59	77	136
father – child	131	131	262
mother – child	131	131	262
parents – son	144	108	252
parents – daughter	118	154	272
parents – child	262	262	524

\* 7-11 years in boys' group and 7-10 years in girls' group

\*\* 12-15 years in boys' group and 11-15 years in girls' group

\*\*\* Total number of study participants aged 7-15

**Results**

As mentioned above, the material used in the study concerned full families, which enabled the correction for assortative pairing between parents of the children included in the study, to correlation coefficients for each type of family relations. Such pairing causes that correlation coefficients are overstated, and in effect, considerably higher heritability ratios are obtained. In the performed tests, the extent of assortative pairing was only measured against the indicators obtained in the youngest group of parents of the children included in the study, i.e. aged up to 35. The indicators in the group of parents aged over 35 were assumed to demonstrate so-called “cohabitation effect”, i.e. partial measurement of the impact produced by family environment (so-called “cultural heritability”). It involved in particular parameters subject to weak genetic impact. Non-inclusion of this correction in numerous studies seriously limits any inter-population comparative analyses of heritability ratios as due to the approach applied in calculations, such values tend to be substantially overstated if there is positive assortative pairing. The coefficients of correlation between parents, observed in the study, and resulting therefrom corrections to intra-family correlations are shown in Table 3.

**Table 3.** Correlation coefficients for the father-mother relation with respect to the studied parameters in the identified age groups and resulting therefrom correction for assortative pairing

Parameter	Age group			
	$r_{pp}<35$ years	correction	$r_{pp}>35$ years	$r_{pp}$ total
Body height	-0.08	0.03	0.28	0.15
Trunk length	0.05	-0.02	0.34	0.23
Sitting height	0.03	0.01	0.20	0.13
Length of upper limbs	0.14	-0.05	0.14	0.18
Hip width	0.16	-0.06	0.08	0.15
Shoulder width	-0.18	0.07	0.08	0.16
Body mass	-0.03	0.01	0.05	0.05
Fat mass	0.02	-0.01	0.08	0.06
LBM	0.05	-0.02	0.18	0.04
Skinfolds	0.05	-0.02	0.02	0.07
Flexibility	0.03	-0.01	0.05	0.06
Static force	-0.02	0.01	0.14	0.07
Static force/kg	0.14	-0.05	0.16	0.15
Force/kg LBM	0.08	-0.03	0.15	0.10
MPA	0.04	-0.02	0.16	0.12
Response time	0.20	-0.08	0.30	0.26
Movement rate	0.13	-0.05	0.11	0.12
Balance	-0.14	0.05	-0.07	-0.12
Space orientation	0.16	-0.06	0.28	0.24

$r_{pp}$  – father-mother correlation

It appears from the presented data that in the group of parents aged up to 35, selective pairing was an insignificant factor – therefore the degree of intra-family corrections to correlation coefficients was unsubstantial. Among somatic features, the strongest assortative pairing was demonstrated in the case of shoulder and hip width, whereas in the group of power parameters, it was related to relative static force (expressed in kg of body mass). On the other hand, in reference to coordination parameters – it was related to simple response time and space orientation. Bearing in mind the relatively young age of parents and the relevant correlation coefficients,

it may be concluded that the introduced corrections to intra-family correlation coefficients allowed us to measure the actual extent of selective pairing.

The coefficients of correlation ( $C_{sk}$ ) between parents and children for the identified types of family relations, corrected for assortative pairing, are shown in Table 4.

**Table 4.** Intra-family correlation coefficients for the studied parameters in the set age groups

Parameter	Age group	Correlation								
		f-s	f-d	f-ch	m-s	m-d	m-ch	p-s	p-d	p-ch
Body height	I	0.21	0.27	0.25	0.23	0.24	0.25	0.41	0.28	0.32
	II	0.36	0.37	0.39	0.33	0.37	0.38	0.41	0.32	0.32
Trunk length	I	0.22	0.18	0.22	0.32	0.27	0.33	0.35	0.34	0.18
	II	0.39	0.29	0.27	0.42	0.48	0.45	0.45	0.44	0.29
Sitting height	I	0.21	0.17	0.21	0.48	0.39	0.43	0.31	0.32	0.28
	II	0.32	0.28	0.27	0.44	0.42	0.44	0.41	0.30	0.41
Length of upper limbs	I	0.23	0.11	0.17	0.13	0.08	0.11	0.18	0.09	0.14
	II	0.37	0.15	0.25	0.17	0.12	0.15	0.21	0.14	0.19
Hip width	I	0.19	0.05	0.11	0.21	0.12	0.18	0.14	0.11	0.27
	II	0.11	0.31	0.21	0.10	0.36	0.24	0.23	0.24	0.23
Shoulder width	I	0.32	0.42	0.37	0.14	0.05	0.11	0.23	0.17	0.21
	II	0.14	0.07	0.11	0.21	0.12	0.18	0.15	0.06	0.17
Body mass	I	0.21	0.24	0.22	0.18	0.25	0.21	0.33	0.24	0.22
	II	0.22	0.21	0.23	0.23	0.27	0.25	0.41	0.26	0.24
Fat mass	I	0.15	0.18	0.17	0.13	0.22	0.18	0.32	0.20	0.25
	II	0.12	0.24	0.18	0.17	0.13	0.19	0.30	0.19	0.26
LBM	I	0.23	0.13	0.19	0.09	0.24	0.17	0.19	0.17	0.18
	II	0.28	0.16	0.22	0.29	0.24	0.27	0.28	0.19	0.24
Skinfolds	I	0.12	0.23	0.19	0.16	0.22	0.18	0.15	0.25	0.21
	II	0.33	0.22	0.28	0.24	0.31	0.26	0.31	0.28	0.32
Flexibility	I	0.04	0.16	0.11	0.08	0.18	0.12	0.06	0.17	0.11
	II	0.15	0.32	0.26	0.36	0.21	0.25	0.28	0.29	0.28
Static force	I	0.20	0.33	0.26	0.15	0.11	0.14	0.18	0.20	0.19
	II	0.38	0.08	0.23	0.17	0.21	0.19	0.25	0.14	0.22
Static force/kg	I	0.19	0.16	0.18	0.11	0.17	0.14	0.15	0.17	0.26
	II	0.17	0.12	0.15	0.21	0.09	0.16	0.18	0.10	0.19
Force/kg LBM	I	0.28	0.29	0.28	0.28	0.12	0.20	0.21	0.23	0.21
	II	0.13	0.06	0.09	0.31	0.25	0.28	0.11	0.27	0.24
MPA	I	0.31	0.02	0.16	0.39	0.07	0.23	0.34	0.04	0.19
	II	0.12	0.04	0.08	0.09	0.23	0.17	0.11	0.14	0.12
Response time	I	0.11	0.09	0.11	0.18	0.06	0.14	0.12	0.08	0.11
	II	0.16	0.12	0.13	0.21	0.09	0.15	0.15	0.11	0.14
Movement rate	I	0.19	0.23	0.19	0.22	0.16	0.19	0.21	0.29	0.28
	II	0.17	0.02	0.04	0.48	0.37	0.43	0.32	0.24	0.31
Balance	I	0.06	0.11	0.07	0.12	0.24	0.23	0.14	0.18	0.16
	II	0.01	0.12	0.06	0.11	0.21	0.18	0.06	0.17	0.09
Space orientation	I	0.19	0.23	0.21	0.26	0.16	0.21	0.23	0.19	0.21
	II	0.25	0.30	0.28	0.30	0.25	0.27	0.28	0.28	0.29

f - father, s - son, m - mother, d - daughter, ch - child, p - parents

It was concluded that the studied population, with regard to the identified types of family relations, was characterised by considerable differentiation relative to the type of the studied parameters, sex of parents and children as well as age of children. In general, the values of  $C_{sk}$  ranged from 0.01 (father-son relation in the 2<sup>nd</sup> group for balance) to 0.48 (mother-daughter

relation in the 2<sup>nd</sup> group for trunk length). In the case of all analysed length-oriented parameters in the relations father-son, father-daughter and father-child, the observed values of correlation coefficients ( $C_{sk}$ ) were greater in the 2<sup>nd</sup> age group. Similar trend was also noted for mother-son and mother-daughter relations. The correlation coefficients were also observed to increase with age in the case of length-oriented parameters in the relations between parents and a son, daughter, or child. However, with respect to the correlation coefficients for width-oriented parameters, in most cases the coefficients were higher in the 2<sup>nd</sup> group for hip width.

Notwithstanding, quite opposite correlations were observed in the case of shoulder width. On the other hand, for body mass and its components, higher  $C_{sk}$  values were observed in the 2<sup>nd</sup> children group for the following family relations: mother-son, mother-child, and for all combinations of the parents-children relation. No clear-cut trends were observed for the other types of the analysed family relations. The correlation coefficients were observed to increase with the age of the children included in the study for all types of family relations in the case of flexibility. In the examination of correlation coefficients for the following coordination parameters: space orientation and simple response time, for all types of family relations higher values of correlation coefficients were observed in the 2<sup>nd</sup> age group. In the case of movement rate and balance, it was difficult to explicitly determine that  $C_{sk}$  values were higher in any of the analysed age groups.

A similar effect was observed in the case of  $C_{sk}$  value for all power parameters.

Interesting results were also obtained from the analysis of parents-children correlation coefficients where sex-factor was taken into account. For all length-oriented parameters in both age groups, higher values of correlation coefficients were observed for the relation parents-son than for the relation parents-daughter. In most cases, stronger correlations for this group of parameters were also observed for the relation father-son than father-daughter as well as for the relation mother-son than mother-daughter. On the other hand, highly diverse  $C_{sk}$  values were obtained for width-oriented parameters and it was difficult to determine any explicit general trends. For body mass and its components, the strongest correlations were observed for the relation parents-son than parents-daughter. Slightly stronger correlations for this group of parameters were observed for the relations between mothers and daughters than between mothers and sons. The values of correlation coefficients were oscillating at a similar level for the relations father-child and mother-child.

However, considering correlation coefficients for coordination parameters,  $C_{sk}$  value was found to be in most cases slightly higher for the relation parents-son than parents-daughter. For a majority of the analysed coordination parameters, stronger correlations were also observed for the relation mother-son as compared to the relation mother-daughter. In turn, slightly greater similarities were observed for these parameters for the relation father-daughter than father-son.

For power parameters, stronger correlations were seen more frequently for the relation father-son than father-daughter. A parallel trend was also noted for the relation mother-son and mother-daughter. In this case, slightly stronger correlation was observed for the mother-son relation.

The coefficients of correlation between the parameters studied in children and the average parental values are shown in Table 5.

It should be noted that the resulting values were consistent with the theoretical model of polygenic inheritance of quantitative features, in no case exceeded theoretical values and were higher than the correlation values shown in Table 4. Undoubtedly, the highest coefficients of correlation between

**Table 5.** Correlation coefficients between the studied parameters in each age group and average parental values

Parameter	Age group	Average parental values		
		av.v.-son	av.v.-daughter	av.v.-child
Body height	I	0.44	0.37	0.38
	II	0.47	0.42	0.44
Trunk length	I	0.32	0.41	0.42
	II	0.36	0.44	0.47
Sitting height	I	0.40	0.31	0.42
	II	0.42	0.42	0.42
Length of upper limbs	I	0.13	0.29	0.17
	II	0.19	0.34	0.21
Hip width	I	0.21	0.23	0.23
	II	0.20	0.41	0.31
Shoulder width	I	0.35	0.21	0.28
	II	0.47	0.19	0.22
Body mass	I	0.34	0.27	0.29
	II	0.41	0.31	0.35
Fat mass	I	0.31	0.35	0.33
	II	0.43	0.34	0.39
LBM	I	0.34	0.12	0.32
	II	0.29	0.18	0.19
Skin folds	I	0.25	0.36	0.31
	II	0.37	0.39	0.37
Flexibility	I	0.37	0.28	0.21
	II	0.39	0.25	0.34
Static force	I	0.38	0.41	0.41
	II	0.44	0.28	0.37
Static force/kg	I	0.28	0.41	0.35
	II	0.31	0.27	0.29
Force/kg LBM	I	0.41	0.42	0.41
	II	0.29	0.29	0.32
MPA	I	0.39	0.05	0.22
	II	0.21	0.19	0.20
Response time	I	0.21	0.19	0.20
	II	0.34	0.23	0.18
Movement rate	I	0.21	0.15	0.18
	II	0.34	0.30	0.31
Balance	I	0.31	0.02	0.23
	II	0.06	0.08	0.08
Space orientation	I	0.34	0.32	0.32
	II	0.42	0.39	0.37

av.v. – average parental value

average parental values and children's features were obtained for length-oriented skeleton parameters. Then, slightly lower values were obtained for width-oriented parameters. Relatively high values were also observed for body mass and its components. However, among functional parameters, the highest correlation coefficients were determined in the case of power parameters. These values were to a considerable extent similar to the values obtained for width-oriented parameters and only slightly lower from the values observed for length-oriented parameters. Undeniably, the lowest values of correlation coefficients were observed in the case of motor parameters relating to coordination.

Based on the  $C_{sk}$  values, heritability ratios, shown in Table 6, were calculated.

**Table 6.** Heritability ratios ( $h^2$ ) for the studied parameters with respect to the age and sex

Parameter	Age group	Boys	Girls	Total
Body height	I	0.82	0.56	0.64
	II	0.82	0.64	0.64
Trunk length	I	0.70	0.68	0.36
	II	0.90	0.88	0.58
Sitting height	I	0.62	0.64	0.56
	II	0.82	0.60	0.82
Length of upper limbs	I	0.36	0.18	0.28
	II	0.42	0.28	0.38
Hip width	I	0.28	0.22	0.54
	II	0.46	0.48	0.46
Shoulder width	I	0.46	0.34	0.42
	II	0.30	0.12	0.34
Body mass	I	0.66	0.48	0.44
	II	0.82	0.52	0.48
Fat mass	I	0.64	0.40	0.50
	II	0.60	0.38	0.52
LBM	I	0.38	0.34	0.36
	II	0.56	0.38	0.48
Skin folds	I	0.30	0.50	0.42
	II	0.62	0.56	0.64
Flexibility	I	0.12	0.34	0.22
	II	0.56	0.58	0.56
Static force	I	0.36	0.40	0.38
	II	0.50	0.28	0.44
Static force/kg	I	0.30	0.34	0.52
	II	0.36	0.20	0.38
Force/kg LBM	I	0.42	0.46	0.42
	II	0.22	0.54	0.48
MPA	I	0.68	0.08	0.38
	II	0.22	0.28	0.24
Response time	I	0.24	0.16	0.22
	II	0.30	0.22	0.28
Movement rate	I	0.42	0.58	0.56
	II	0.64	0.48	0.62
Balance	I	0.28	0.36	0.32
	II	0.12	0.34	0.18
Space orientation	I	0.46	0.38	0.42
	II	0.56	0.56	0.58

As a reference point for the functional parameters, indicators of somatic parameters (best explored to date) were used. The analysis of the inter-feature and inter-sex relations in both age groups confirmed the regularities observed in the course of the analysis of correlation coefficients. The strongest impact was shown in the case of body and trunk height, where  $h^2$  ranged from 0.36 up to 0.90. Slightly lower values of heritability ratios were obtained for sitting height and length of upper limbs ( $h^2$  from 0.18 to 0.82). The attempt to evaluate the genetic impact on length-oriented features in relation to sex was also an interesting issue. The results of the tests showed definitely higher heritability ratios for males in both age groups. On the

other hand, in the course of a general analysis of the indicators (excluding the sex factor), the resulting coefficients were lower.

Average-strong genetic impact was identified for width-oriented parameters of the skeleton (shoulder and hip width).  $h^2$  values ranged from 0.12 to 0.54. Also in the case of these parameters, higher heritability ratios were observed, surprisingly, for males. It was shown that for almost all length- and width-oriented parameters, genetic impact increases with age both in the case of girls and in the case of boys.

Body mass and its components form a separate group of somatic parameters. Very high  $h^2$  values were obtained for both body mass and lean body mass (LBM). It is possible that such values resulted from non-exclusion of environmental impact from correlation coefficients for both parameters as the results for lean body mass were unquestionably lower and showed that this parameter was subject to average-strong genetic impact.

The analysis involved also an attempt to estimate genetic impact in the case of power parameters. Very similar heritability ratios were observed for static force and for relative force, i.e. calculated in kg/body mass and kg/LBM. In the case of these parameters,  $h^2$  values indicated average-strong genetic impact. In a majority of cases, higher heritability ratios were obtained in the 1<sup>st</sup> group of the children included in the study.

Among the analysed coordination motor parameters, average-strong genetic impact was identified in the case of movement rate ( $h^2$  from 0.42 to 0.64) and space orientation ( $h^2$  from 0.38 to 0.58). Lower heritability values were determined in the case of balance ( $h^2$  from 0.12 to 0.36) and response time ( $h^2$  from 0.16 to 0.30). The analysis of heritability ratios, allowing for sex-factor, showed higher values for girls in the case of balance, while in boys in the case of response time. In other cases, no unequivocal trend was determined. Interesting results were obtained for the changes in the  $h^2$  values with respect to the age and sex of the study participants. Age-dependent increase in these values, both for girls and boys, was observed for response time and space orientation, while opposite trend was determined in the case of movement rate and balance. However, the hypothesis of stronger genetic impact on functional features in boys as compared to girls was not confirmed.

## Discussion

The study attempted to identify correlations between genetic and environmental factors underlying the selected functional parameters. As a reference system for the evaluation of the genetic impact on the studied parameters, the data concerning the essential somatic parameters of heritability, provided for in a number of studies [14, 28], were used. Furthermore, as emphasised by numerous authors [4, 5, 9, 15, 27],  $h^2$  ratios for functional parameters should be considered as relative values, i.e. showing weaker and stronger heritability, and they should be referred to the somatic parameters for which the level of genetic impact is known. Such approach was also used in this study. Based on the material concerning full families, intra-family correlation coefficients were corrected for the impact of assortative pairing. Due to non-allowance for this correction in many studies, the coefficients of the parents-children correlation, and in effect heritability ratios, are overstated [7, 9, 15, 25] – which poses a serious limitation on the comparability of inter-population  $h^2$  ratios. The studies into assortative pairing have a rich tradition, as they date back to the Polish studies of families, carried out by Wolański in 1970s [36]. The results of our studies showed that assortative pairing was insignificant in the case of the analysed functional and somatic parameters. It was decidedly lower than the values observed in the rural populations in 1970s [35, 36]. However, it should be noted that

the correlation coefficients for parents of the children included in the studies, in the studies referred to above, have only been calculated for the entire material, and therefore overstated due to so-called "co-habitation effect" [2, 14, 18]. Such regularities were confirmed by our study, where the observed values of correlation between parents with longer matrimonial history were distinctly overstated. On the other hand, the obtained results were very similar to the data reported in a number of Polish and foreign papers [4, 5, 9, 15, 16, 25]. Thus, relatively low values of assortative pairing for the analysed parameters were observed in our study, and in the case of parents with short matrimonial history, they enable a conclusion that the presented correlation coefficients demonstrated an actual level of selective pairing between parents, and therefore the correction to the intra-family correlation coefficients was a well-founded procedure.

To identify the extent of similarities between parents and children, we used the corrected correlation coefficients for the identified types of family relations. Similarly to the studies, most closely related in terms of territory and time span [4, 5, 9, 15, 25], also in the case of the studied population, and for the analysed types of family relations, values of correlation coefficients were significantly differentiated with respect to the analysed parameter, parents and children's sex, and children's age. It should be noted that the resulting correlation coefficients for the studied parameters did not exceed the theoretical values and they were compatible with the postulates of polygenic inheritance – stronger correlation was observed between average parental values and children than between parents and children separately. Such regularities were also observed in the studies referred to above. Our study, similarly to other works [9, 28, 34], did not show any decrease in the correlation coefficients for the post-pubesence period. This phenomenon was at times interpreted as so-called effect of activation of additional genes, referred to as "post-pubesence growth genes", in the course of physical growth [1]. Such trend with respect to the parameters characterising coordination motor abilities was also indicated in the study of Mleczo [15]. In the studied material, we observed for most parameters slightly stronger correlation for the mother-child relation than for the father-child relation. Similar observations were also noted for some comparative material [9, 28, 34], and then they were construed as the effect of so-called "motherly regulator" resulting from mother's influence on child's development in the prenatal period and in the initial period of physical growth. The presented material provided no substantiation for the thesis referred to in some works [18, 19, 35], supporting stronger correlation of functional parameters between father and children than between mother and children. It seems such situation may be attributable to father's role in defining the life style of a contemporary Polish family as well as to non-exclusion of this factor from the correlation. Also, Jaworski and Szopa [9], and Cieśla [4, 5] have not reported any such trends.

The heritability ratios, determined based on the corrected correlation coefficients, support in principle the general regularities described above. Our study showed considerable differentiation with respect to the analysed parameters and period of ontogenesis. Of course, as in most works referred to above, the greatest stability of  $h^2$  was observed in the case of body height and trunk length ( $h^2$  ranged from 0.56 to 0.90 with sex-factor accounted for, and from 0.36 to 0.64 for the entire material). "Average-strong" genetic impact was also determined in the case of width-oriented parameters of the skeleton ( $h^2$  from 0.12 to 0.54). These two groups were used to interpret the heritability ratios for the analysed functional parameters. Among this class of parameters, as also shown in the studies carried out by other authors [5, 9, 15, 27], average-strong genetic impact was determined in the case of space orientation.

Slightly higher heritability ratios, as compared to space orientation, were shown for movement rate. However, such results are not surprising, as in other groups [3, 5, 9, 19, 13, 20] they are also very differentiated and ranged from 0.13 to 0.90. Thus, taking into consideration the above data and referring the  $h^2$  values for this parameter to the results obtained for somatic parameters, it can be concluded that in our study movement rate was subject to average-strong genetic impact. The genetic factors underlying response time [5, 9, 15, 17, 20, 26, 27, 35] has been considered in a relatively large number of works. It results from the earlier works that this parameter is strongly determined by genetic factors. However, recent research results (correct in methodological terms) have explicitly demonstrated that response time is subject to weak genetic impact. Such were also the results of our study. However, there are very few works on the genetic impact on balance [5, 9, 19, 32, 33, 35]. Based on the overview of these works, it appeared that the  $h^2$  values for this parameter ranged from 0.02 to 0.82. Due to such wide distribution of heritability ratios depending on the testing procedure, population included in the study and relevant age group, it was impossible to draw explicit conclusions about the genetic impact on balance and further studies are necessary. In our study, average-strong genetic impact was shown in the case of static force in absolute and relative values. However, the observations of Siergienka [17] relating to stronger genetic impact in the case of relative force were not confirmed. In contrast, our study results were upheld by the works of Mleczo [15] and Cieśla [4].

## Conclusions

Based on the conducted study, the following conclusions may be formulated:

1. Assortative pairing between parents showed to be unsubstantial. Therefore, the scale of correction to the correlation coefficients in the analysed types of parents-children relations was insignificant.
2. For most of the analysed parameters, no decrease in the correlation coefficients in the post-pubesence period was observed. Thus, it may be concluded that the activation of additional "post-pubesence genes" in the course of ontogenetic period, referred to in the literature, does not reduce family-related similarities.
3. In reference to the studied somatic parameters, the strongest genetic impact was identified in the case of length-oriented skeleton parameters, and average-strong in the case of shoulder and hip width. Surprisingly high  $h^2$  values were also obtained for body mass and its components. It seems however, that such results are attributable to non-exclusion of environmental impact (so-called "cultural heritability") from correlation coefficients.
4. In the group of the analysed functional parameters, average-strong impact was determined in the case of space orientation, movement rate and static force, both in absolute and relative values. The lowest heritability ratios were identified with respect to the time of simple response and balance.
5. For most of the analysed parameters, higher heritability ratios were observed in the 2<sup>nd</sup> age group. Thus, children's age has significant influence on  $h^2$  value, which supports the thesis that full genotype realization is only achieved in the period of developmental maximum.
6. The results of our study did not confirm a widely held view that genetic factors have stronger impact on functional parameters in males.

## Literature

1. Bergman P. (1988) Issues of genetic determination of development during the period of pubescence. *Mat. i Prace Antrop.*, 108, 165-216. [in Polish]
2. Bouchard C., Malina R.M., Perusse L. (1997) Genetics of physiological fitness and motor performance. Hum. Kin. Publ., Champaign, Inc. Illinois.
3. Carlier M., Beau J., Marchaland C., Michel F. (1994) Sibling resemblance in two manual laterality tasks. *Neuropsychologia*, 32, 741-746.
4. Cieśla E. (2005a) Genetic conditions of selected motor predispositions of children and youths in the population of Kielce – Part I. Fitness. *Antropomotoryka*, 29, 17-29. [in Polish]
5. Cieśla E. (2005b) Genetic conditions of selected motor predispositions of children and youths in the population of Kielce – Part II. Coordination. *Antropomotoryka*, 30, 17-29. [in Polish]
6. Eurofit (1991) European Physical Fitness Test. AWF Kraków. [in Polish]
7. Falconer D.S. (1974) Inheritance of quantitative characteristics. PWN, Warszawa. [in Polish]
8. Fisher R.A. (1918) The correlation between relatives on the supposition on Mendelian inheritance. *Trans. Ryal Soc., Edinburg*, 52, 399-433.
9. Jaworski J., Szopa J. (1998) Genetic and environmental conditions of selected somatic and motor predispositions of rural population in the area of Żywiec. *Antropomotoryka*, 18, 15-47. [in Polish]
10. Kovař R. (1980) Human variation in motor abilities and its genetic analysis. Carl. Univ. Press, Praha.
11. Lyakh W., Jaworski J., Wiczorek T. (2007) Genetic endowment of coordination motor abilities a review of family and twin research. *J. Human Kinet.*, 17, 25-39.
12. Měkota K., Blahuš P. (1983) Motorické testy v telesné výchove. Praha.
13. Maes H., Beunen G., Vlietinck R., Lefevre J., Van den Bossche C., et al. (1993) Heritability of health- and performance-related fitness: Data from the longitudinal twin study. [in]: W. Duquet, J.A.P. Dayeds (eds) *Kinanthropometry IV*. London, Spon.
14. Malina R., Bouchard C., Bar-Or O. (2004) Growth, maturation, and physical activity. Hum. Kin. Publ., Champaign, Inc. Illinois.
15. Mleczyk E. (1991) The course and conditions of functional development of children in Kraków aged 7 to 14. Wyd. Monogr., AWF Kraków, nr 44. [in Polish]
16. Sanchez-Andreas A., Mesa M.S. (1994) Assortative mating in a Spanish population: Effects of social factors and cohabitations. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 63, 389-395.
17. Sergienko L.P. (1975) Ispolzovanie metoda bliznecowego wzaimokontroliia dla izuczenia genetyki dwigatelných sposobnostiej czelowieka. *Teor. Prakt. Fiz. Kult.*, 38, 30.
18. Siniarska A. (1982) The biological condition of human populations. [in]: N. Wolański, A. Siniarska (eds) *Human populations ecology*. Ossolineum. [in Polish]
19. Skład M. (1973) Physical and motor development of twins. *Mat. i Prace Antropol.*, 85, 3-102. [in Polish]
20. Skład M. (1975) The genetic determination of the rate of learning of motor skills. *Stud. Phys. Anthropol.*, 1, 3-19.
21. Slaughter M.M., Lohman F.S., Boileau R.A., Horswill C.A., Stillman R.J., et al. (1988) Siskfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology*, 60, 5.
22. Starosta W. (2003) Motor coordination abilities (significance, structure, shaping). Instytut Sportu, Warszawa. [in Polish]
23. Suzanne C. (1976) Heredity of anthropometric measurements: analysis with the method of Fishr. *Glasnik Antrop. Dr. Jugoslavije*, T. 13.
24. Szopa J. (1989) Ontogenetic variability and genetic and environmental conditions of maximum anaerobic work (MPA) – results of family tests. *Antropomotoryka*, 1, 37-50. [in Polish]
25. Szopa J. (1990) Genetic and environmental conditions of somatic development between the age of 7 and 14: results of longitudinal family tests. Wyd. Monogr. AWF Kraków, nr 42. [in Polish]
26. Szopa J., Mleczyk E. (1987) Genetic conditions of response time. *Wych. Fiz. i Sport*, 31, 19-26. [in Polish]
27. Szopa J., Mleczyk E., Cempela J. (1985) Variability and genetic and environmental conditions of the basic psychomotor and physiological characteristics of large city population aged between 7 and 62. Wyd. Monogr. AWF Kraków, nr 25. [in Polish]
28. Szopa J., Mleczyk E., Żak S. (1996) The basic of anthropometrics. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Kraków. [in Polish]
29. Szopa J. (1986) Genetics in physical education and sport – selected methodological issues. *Wych. Fiz. i Sport*, 30, 3-14. [in Polish]
30. Szopa J. (1991) Longitudinal development stability as a method for determination of genetic conditions of development (an analysis based on the example of selected somatic and functional characteristics). *Antropomotoryka*, 5, 35-42. [in Polish]
31. Welon Z., Bielicki T. (1971) Further investigations of parent-child similarity in stature as assessed from longitudinal data. *Hum. Biol.*, 43, 331-338.
32. Williams L.R.T., Hearfield V. (1973) Heritability of gross motor balance task. *Res. Q. Assoc. Health Phys. Educ. Recreat.*, 44, 109-112.
33. Williams L.R.T., Gross J.B. (1980) Heritability of motor skill. *Acta Genet. Med. Gemellol.*, 29, 127-136.
34. Wolański N. (1969) Interrelations and cooperation between genetic and ecological factors in the process of ontogenetic human development. *Kosmos*, A, 5. [in Polish]
35. Wolański N., Kasprzak E. (1979) Similarity in some physiological, biochemical and psychomotor traits between parents and 2-45 years offspring. *Stud. Hum. Ecol.*, 3, 85-131.
36. Wolański N., Pyżuk M. (1973) Psychomotor proprieties in 1.5-99 years old inhabitants of Polish rural areas. *Stud. Hum. Ecol.*, 1, 134-162.
37. Żychowska M. (2004) Genetics of certain physiological and psycho-motor characteristics of the human: the methodology and condition of research. *Antropomotoryka*, 28, 93-100. [in Polish]

Submitted: December 18, 2008

Accepted: February 15, 2009

# GENETYCZNE I ŚRODOWISKOWE UWARUNKOWANIA ZMIENNOŚCI POZIOMU ROZWOJU SOMATYCZNEGO I MOTORYCZNEGO W RODZINACH REGIONU OSTROWIECKIEGO W TOKU ROZWOJU ONTOGENETYCZNEGO

*Genetyczne i środowiskowe uwarunkowania rozwoju*

JANUSZ JAWORSKI<sup>1</sup>, VLADIMIR LYAKH<sup>1, 2</sup>, TOMASZ WIECZOREK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Katedra Antropomotoryki, Akademia Wychowania Fizycznego im. B. Czecha w Krakowie*

<sup>2</sup> *Katedra Zespołowych Gier Sportowych i Rekreacyjnych, Akademia Wychowania Fizycznego J. Piłsudskiego w Warszawie, Zamiejscowy Wydział Wychowania Fizycznego w Białej Podlaskiej*

<sup>3</sup> *Katedra Zespołowych Gier Sportowych, Akademia Wychowania Fizycznego im. B. Czecha w Krakowie*

Adres do korespondencji: Janusz Jaworski, Akademia Wychowania Fizycznego im. B. Czecha, Katedra Antropomotoryki, al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków, tel.: 012 6831109, fax: 012 6831121, e-mail: wajawors@cyf-kr.edu.pl

**Streszczenie:** Celem niniejszych badań była próba określenia genetycznych i środowiskowych uwarunkowań wybranych cech somatycznych i zdolności motorycznych w populacji wiejskiej regionu ostrowieckiego w toku rozwoju ontogenetycznego.

Ażeby określać wzajemne relacje między uwarunkowaniami środowiskowymi i genetycznymi cech somatycznych i motorycznych zastosowano klasyczne metody genetyki cech ilościowych. W wybranych typach pokrewieństw rodzinnych obliczono współczynniki korelacji skorygowane o kojarzenie asortatywne (między rodzicami). Na tej podstawie obliczono wielkości wskaźników odziedziczalności badanych cech ( $h^2$ ).

W badanej populacji kojarzenie asortatywne między rodzicami wystąpiło w niewielkim stopniu. Największą wartość współczynników korelacji zaobserwowano dla parametrów długościowych. Nie zaobserwowano silniejszej kontroli genetycznej cech funkcjonalnych u mężczyzn. Dla większości badanych cech silniejszą kontrolę genetyczną otrzymano w starszej grupie wiekowej dzieci, co potwierdziło tezę o pełnej realizacji genotypu dopiero w okresie maksimum rozwojowego. Spośród analizowanych cech, średnio-silną kontrolę genetyczną wykazały: orientacja przestrzenna, szybkość ruchów oraz siła statyczna w ujęciu absolutnym i względnym.

**Słowa kluczowe:** zdolności motoryczne, odziedziczalność, kojarzenie asortatywne, populacja wiejska

## Wstęp

Badania nad uwarunkowaniami genetycznymi i środowiskowymi parametrów somatycznych oraz motorycznych człowieka mają już prawie 100-letnią tradycję [14, 28]. Do tej pory zdecydowanie najlepiej poznano siłę kontroli genetycznej cech somatycznych, które zazwyczaj służą jako układ odniesienia dla szacowania kontroli genetycznej cech funkcjonalnych (motorycznych). Stosunkowo niewielka liczba prac dotyczy kontroli cech funkcjonalnych, zarówno koordynacyjnych jak i kondycyjnych. Szczegółowy przegląd badań z tego zakresu podano w pracy Starosty [22]. Dzisiaj nowego praktycznego znaczenia nabiera problem „nature and nurture”. Ma on szczególne znaczenie dla współczesnego sportu wyczynowego, doboru kandydatów do określonych dyscyplin sportowych jak również zawodów. Jedynie odpowiednia selekcja i nabór do sekcji sportowych z wykorzystaniem znajomości siły kontroli genetycznej cech pozwoli w przyszłości zapewnić sukces młodym sportowcom jak również zaoszczędzić niepotrzebnych rozczarowań. Aby to osiągnąć należy kwalifikować do upra-

wiania sportu osobników posiadających wysoki poziom tzw. „cech prognostycznych” dla danej konkretnej dyscypliny, które równocześnie są silnie uwarunkowane genetycznie, a więc o małej wytrenowalności.

W naukach o kulturze fizycznej stosuje się najczęściej dwie metody umożliwiające określenie siły kontroli genetycznej cech. Metody te polegają na statystycznej analizie fenotypu bliźniąt lub też badaniu relacji w układzie rodzice – dzieci we wszystkich możliwych kombinacjach pokrewieństw. Jako metodę komplementarną, (pozwalającą jedynie na określenie cech o słabej kontroli genetycznej) stosuje się również tzw. metodę „longitudinalnej stabilności rozwojowej” [1, 10, 30, 31]. Ze szczegółowym przeglądem najnowszych założeń metodologicznych tego typu badań Czytelnik może zapoznać się w pracy Zychowskiej [37].

Celem niniejszej pracy było poznanie wzajemnych relacji pomiędzy uwarunkowaniami genetycznymi i środowiskowymi wybranych cech somatycznych i funkcjonalnych wybranej populacji wiejskiej w toku rozwoju ontogenetycznego.



## Materiał i metody

Badaniami przekrojowymi prowadzonymi w latach 2001-2002 objęto 131 pełnych rodzin z terenów wiejskich Kielecczyny. Łącznie przebadano 131 par rodzicielskich, 126 synów i 136 córek w wieku 7-15 lat (grupy rodzinne). Dodatkowo, w celu poszerzenia materiału (umożliwienie normalizacji poszczególnych cech, oceny zróżnicowania środowiskowego, zwiększenia liczebności badanych) zbadano 964 chłopców i 1024 dziewcząt uczniów szkół podstawowych z tego terenu. Stanowiły one grupę kontrolną. Badania rodziców przeprowadzono w domach, zaś dzieci w szkołach.

Wiek badanych dzieci określono z dokładnością do 0,01 roku życia. Na tej podstawie kwalifikowano je do odpowiedniej grupy wieku metrykalnego. Przykładowo do 7-latków zaliczano dzieci, których wiek zawierał się w przedziale 6,51-7,50. Natomiast badani rodzice zostali zakwalifikowani do 2 grup wiekowych: do 35 roku życia, i powyżej 35 roku życia. Liczebność osobników w poszczególnych kategoriach wieku kalendarzowego i płci przedstawia Tabela 1. Zakres badań objął podstawowe predyspozycje:

### 1. Morfologiczno-strukturalne:

- długościowe: wysokość ciała, długość tułowia, wysokość posiedzeniową, długość kończyn górnych,
- szerokościowe: szerokość barków, szerokość bioder,
- masę ciała,
- fałdy skórno-tłuszczowe (na ramieniu i pod łopatką),
- masę ciała szczupłego – LBM i masę tłuszczu FM [21],
- gibkość (skłon tułowia w przód w pozycji siedzącej przy nogach prostych w stawach kolanowych). Próbę wykonywano dwukrotnie, zapisywano lepszy wynik [6].

### 2. Energetyczne:

- siłę statyczną – badano za pomocą dynamometrów typu Collina. Stosowano dwa rodzaje siłomierzy: do 50 kG dla dzieci i 90 kG dla dorosłych. Na jej podstawie obliczono siłę względną w relacji do masy ciała ( $F \cdot kg^{-1}$ ) i masy ciała szczupłego ( $F \cdot kg \cdot LBM^{-1}$ ),
- wielkość maksymalnej pracy anaerobowej (MPA) – obliczono jako iloczyn masy ciała, wyniku skoku w dal z miejsca oraz przyspieszenia ziemskiego [23].

### 3. Koordynacyjne:

- czas reakcji – badano za pomocą „pałeczki Dietricha” [12],
- częstotliwość ruchów – mierzono testem „plate tapping”. Rejestrowano czas wykonania 15 cykli [6],
- równowagę – mierzono testem „flamingo balance” [6]. Próbę powtarzano dwukrotnie, rejestrowano wynik lepszy,
- orientację przestrzenną – badano aparatem krzyżowym AKN-102 rejestrując czas wykonania 49 zadań w serii „free”.

### Analiza statystyczna

1. Zbadano normalność rozkładów wszystkich badanych cech u dzieci i rodziców.

2. Istotność różnic pomiędzy średnimi grupy rodzinnej i grupy kontrolnej określono testem t-Studenta lub C-Cochrana-Coxa z zależności od różnic wariancji. W przypadku cech, których rozkład odbiegał od normalnego zastosowano test nieparametryczny Kołmogorowa-Smirnowa. W świetle zastosowanych testów statystycznych w większości przypadków różnice okazały się statystycznie nieistotne. Pozwoliło to na połączenie obu grup a tym samym zwiększenie liczebności obserwacji, tak ważne przy tego typu badaniach.

3. Siłę uwarunkowań genetycznych określono przy zastosowaniu klasycznych metod genetyki cech ilościowych [2, 7, 8, 14], a mianowicie:

**Tabela 1.** Liczebność badanych w poszczególnych grupach wieku kalendarzowego („grupa rodzinna” i „grupa kontrolna”)

Wiek	Chłopcy		Dziewczęta	
	Grupa rodzinna	Grupa kontrolna	Grupa rodzinna	Grupa kontrolna
7	12	74	11	81
8	15	116	15	123
9	14	108	16	129
10	17	119	17	117
11	14	122	19	133
12	14	107	17	112
13	15	111	15	114
14	13	103	16	108
15	12	104	10	107
	126	964	136	1024
	ojcowie		matki	
	131		131	

a) Współczynniki korelacji we wszystkich kombinacjach pokrewieństw rodzinnych (ojciec-matka, rodzice-dzieci, wielkość średniorodzicielska-dziecko) obliczono dla cech znormalizowanych. Zabieg normalizacji wytrącił z wielkości cech efekt wieku i płci oraz umożliwił porównania międzycechowe. Normalizacji dokonano na średnie i odchylenia standardowe całości materiału (łącznie dzieci z grupy rodzinnej i grupy kontrolnej) w grupach jednorocznikowych u dzieci i dziesięcioletnich u rodziców.

b) Współczynniki korelacji obliczono między rodzicami w 2 grupach wieku (do 35 lat i powyżej 35 roku życia), co pozwoliło ocenić zarówno wpływ kojarzenia wybiórczego (wskaźnik w grupie młodszej), jak również tzw. „efekt współzamieszkania”, a więc częściową miarę wpływu środowiska rodzinnego (tzw. dziedziczenie kulturowe – wskaźnik w grupie starszej). Umożliwiło to również skorygowanie korelacji wewnątrzrodzinnych (zawyżonych w przypadku pozytywnego kojarzenia wybiórczego) o wielkość

$$\frac{1+c}{\sqrt{2(2+c)}} - 0.5, \text{ gdzie:}$$

$c$  oznacza  $r_{\text{ojciec-matka}}$  [23]. Obliczono więc ostatecznie współczynnik korelacji ( $c_{sk}$ ) i na jego podstawie wyznaczono wskaźniki odziedziczalności ( $h^2$ ) według najprostszego wzoru

$$h^2 = 2c_{sk} = [29, 37].$$

c) Dla oceny zmienności poszczególnych wskaźników z wiekiem obliczenia przeprowadzono w dwóch grupach wieku dzieci odpowiadających okresowi przedpokwitaniowemu (7-11 lat u chłopców i 7-10 lat u dziewcząt) i pokwitaniowemu (12-15 lat u chłopców i 11-15 lat u dziewcząt). Liczebności w poszczególnych typach pokrewieństw zamieszczono w Tabeli 2.

## Wyniki

Jak już wspomniano wcześniej w badaniach dysponowano materiałem dla pełnych rodzin co pozwoliło na uwzględnienie przy obliczaniu współczynników korelacji w poszczególnych typach pokrewieństw poprawki wynikającej z kojarzenia asortatywnego pomiędzy rodzicami badanych dzieci. W przypadku wystąpienia takiego kojarzenia współczynniki korelacji są zawyżone a w konsekwencji otrzymuje się również zdecydowanie wyższe wskaźniki odziedziczalności. W przeprowadzonych badaniach jako miarę kojarzenia asortatywnego przyjęto tylko wskaźniki uzyskane w grupie najmłodszej rodziców badanych dzieci, a więc do 35 roku życia. Wskaźniki w grupie rodziców

**Tabela 2.** Liczebności poszczególnych par spostrzeżeń w wyodrębnionych grupach wieku kalendarzowego i typach pokrewieństw rodzinnych

Pokrewieństwo	Liczebność par		Ogółem***
	grupa I*	grupa II**	
ojciec - syn	72	54	126
ojciec - córka	59	77	136
matka - syn	72	54	126
matka - córka	59	77	136
ojciec - dziecko	131	131	262
matka - dziecko	131	131	262
rodzice - syn	144	108	252
rodzice - córka	118	154	272
rodzice - dziecko	262	262	524

\* 7-11 lat u chłopców i 7-10 lat u dziewcząt

\*\* 12-15 lat u chłopców i 11-15 lat u dziewcząt

\*\*\* ogół badanych w wieku 7-15 lat

powyżej 35 roku życia traktowano już jako tzw. „efekt współzamieszkania”, a więc częściową miarę wpływu środowiska rodzinnego (tzw. „dziedziczenie kulturowe”). Szczególnie dotyczyło to cech o słabych uwarunkowaniach genetycznych. Nieuwzględnianie w wielu badaniach tego typu poprawki powoduje znaczne ograniczenia w porównaniach między populacyjnymi wskaźnikami odziedziczalności, ponieważ ze względu na sposób ich obliczania są one znacznie zawyżone w przypadku wystąpienia pozytywnego kojarzenia asortatywnego. Zaobserwowane w badaniach wielkości współczynników korelacji między rodzicami i wynikające stąd poprawki do korelacji wewnątrzrodziny przedstawiono w Tabeli 3.

**Tabela 3.** Wielkości współczynników korelacji ojciec - matka dla badanych cech w wyróżnionych grupach wieku oraz wynikające stąd poprawki na kojarzenie asortatywne

Cecha	Grupa wieku			
	$r_{pp}<35lat$	poprawka	$r_{pp}>35lat$	$r_{pp}$ całość
Wysokość ciała	-0,08	0,03	0,28	0,15
Długość tułowia	0,05	-0,02	0,34	0,23
Wys. posiedzeniowa	0,03	0,01	0,20	0,13
Dł. kończyn górnych	0,14	-0,05	0,14	0,18
Szerokość bioder	0,16	-0,06	0,08	0,15
Szerokość barków	-0,18	0,07	0,08	0,16
Masa ciała	-0,03	0,01	0,05	0,05
Masa tłuszczu	0,02	-0,01	0,08	0,06
LBM	0,05	-0,02	0,18	0,04
Suma fałdów	0,05	-0,02	0,02	0,07
Gibkość	0,03	-0,01	0,05	0,06
Siła statyczna	-0,02	0,01	0,14	0,07
Siła statyczna/kg	0,14	-0,05	0,16	0,15
Siła/kg LBM	0,08	-0,03	0,15	0,10
MPA	0,04	-0,02	0,16	0,12
Czas reakcji	0,20	-0,08	0,30	0,26
Szybkość ruchów	0,13	-0,05	0,11	0,12
Równowaga	-0,14	0,05	-0,07	-0,12
Orientacja przestrzenna	0,16	-0,06	0,28	0,24

 $r_{pp}$  - korelacja ojciec - matka

Z przedstawionych danych wynika, że w grupie rodziców do 35 roku życia kojarzenie wybiórcze wystąpiło tylko w niewielkim stopniu - stąd skala korekcy wewnątrzrodziny współczynników korelacji była mała. Spośród cech somatycznych najsilniej kojarzenie asortatywne ujawniło się w przypadku szerokości barków i bioder, zaś w grupie parametrów siłowych dla siły statycznej względnej (w przeliczeniu na kg masy ciała). Natomiast biorąc pod uwagę zdolności koordynacyjne - dla czasu reakcji prostej oraz orientacji przestrzennej. Uwzględniając stosunkowo młody wiek rodziców oraz wielkości współczynników korelacji pomiędzy nimi, możemy uznać, iż wprowadzone poprawki do wewnątrzrodziny współczynników korelacji były faktycznie miarą kojarzenia wybiórczego.

Skorygowane o wpływ kojarzenia asortatywnego współczynniki korelacji ( $C_{sk}$ ) pomiędzy rodzicami, a dziećmi w wybranych typach pokrewieństw zamieszczono w Tabeli 4.

**Tabela 4.** Wewnątrzrodziny wielkości skorygowanych współczynników korelacji dla badanych cech w wyodrębnionych grupach wiekowych

Cecha	Grupa wieku	Związek									
		o-s	o-c	o-dz	m-s	m-c	m-dz	r-s	r-c	r-dz	
Wysokość ciała	I	0,21	0,27	0,25	0,23	0,24	0,25	0,41	0,28	0,32	
	II	0,36	0,37	0,39	0,33	0,37	0,38	0,41	0,32	0,32	
Długość tułowia	I	0,22	0,18	0,22	0,32	0,27	0,33	0,35	0,34	0,18	
	II	0,39	0,29	0,27	0,42	0,48	0,45	0,45	0,44	0,29	
Wys. posiedzeniowa	I	0,21	0,17	0,21	0,48	0,39	0,43	0,31	0,32	0,28	
	II	0,32	0,28	0,27	0,44	0,42	0,44	0,41	0,30	0,41	
Dł. kończyn górnych	I	0,23	0,11	0,17	0,13	0,08	0,11	0,18	0,09	0,14	
	II	0,37	0,15	0,25	0,17	0,12	0,15	0,21	0,14	0,19	
Szerokość bioder	I	0,19	0,05	0,11	0,21	0,12	0,18	0,14	0,11	0,27	
	II	0,11	0,31	0,21	0,10	0,36	0,24	0,23	0,24	0,23	
Szerokość barków	I	0,32	0,42	0,37	0,14	0,05	0,11	0,23	0,17	0,21	
	II	0,14	0,07	0,11	0,21	0,12	0,18	0,15	0,06	0,17	
Masa ciała	I	0,21	0,24	0,22	0,18	0,25	0,21	0,33	0,24	0,22	
	II	0,22	0,21	0,23	0,23	0,27	0,25	0,41	0,26	0,24	
Masa tłuszczu	I	0,15	0,18	0,17	0,13	0,22	0,18	0,32	0,20	0,25	
	II	0,12	0,24	0,18	0,17	0,13	0,19	0,30	0,19	0,26	
LBM	I	0,23	0,13	0,19	0,09	0,24	0,17	0,19	0,17	0,18	
	II	0,28	0,16	0,22	0,29	0,24	0,27	0,28	0,19	0,24	
Suma fałdów	I	0,12	0,23	0,19	0,16	0,22	0,18	0,15	0,25	0,21	
	II	0,33	0,22	0,28	0,24	0,31	0,26	0,31	0,28	0,32	
Gibkość	I	0,04	0,16	0,11	0,08	0,18	0,12	0,06	0,17	0,11	
	II	0,15	0,32	0,26	0,36	0,21	0,25	0,28	0,29	0,28	
Siła statyczna	I	0,20	0,33	0,26	0,15	0,11	0,14	0,18	0,20	0,19	
	II	0,38	0,08	0,23	0,17	0,21	0,19	0,25	0,14	0,22	
Siła statyczna/kg	I	0,19	0,16	0,18	0,11	0,17	0,14	0,15	0,17	0,26	
	II	0,17	0,12	0,15	0,21	0,09	0,16	0,18	0,10	0,19	
Siła/kg LBM	I	0,28	0,29	0,28	0,28	0,12	0,20	0,21	0,23	0,21	
	II	0,13	0,06	0,09	0,31	0,25	0,28	0,11	0,27	0,24	
MPA	I	0,31	0,02	0,16	0,39	0,07	0,23	0,34	0,04	0,19	
	II	0,12	0,04	0,08	0,09	0,23	0,17	0,11	0,14	0,12	
Czas reakcji	I	0,11	0,09	0,11	0,18	0,06	0,14	0,12	0,08	0,11	
	II	0,16	0,12	0,13	0,21	0,09	0,15	0,15	0,11	0,14	
Szybkość ruchów	I	0,19	0,23	0,19	0,22	0,16	0,19	0,21	0,29	0,28	
	II	0,17	0,02	0,04	0,48	0,37	0,43	0,32	0,24	0,31	
Równowaga	I	0,06	0,11	0,07	0,12	0,24	0,23	0,14	0,18	0,16	
	II	0,01	0,12	0,06	0,11	0,21	0,18	0,06	0,17	0,09	
Orientacja przestrzenna	I	0,19	0,23	0,21	0,26	0,16	0,21	0,23	0,19	0,21	
	II	0,25	0,30	0,28	0,30	0,25	0,27	0,28	0,28	0,29	

o-ojciec, s-syn, m-matka, c-córka, dz-dziecko, r-rodzice

Stwierdzono, iż w badanej populacji w wyróżnionych typach pokrewieństw rodzinnych wystąpiło znaczne zróżnicowanie w zależności od rodzaju badanej cechy, płci rodziców i dzieci oraz grupy wiekowej dzieci. Generalnie, wielkości  $C_{sk}$  mieściły się w przedziale od 0,01 (wielkość w II grupie w relacji ojciec – syn dla cechy równowaga) do 0,48 (wielkość w grupie II w relacji matka – córka dla cechy długość tułowia). Dla wszystkich analizowanych parametrów długościowych w relacji ojciec – syn, ojciec – córka oraz ojciec – dziecko zaobserwowano większe wartości wielkości współczynników korelacji ( $C_{sk}$ ) w II grupie wiekowej. Podobną tendencję zauważono również dla związków matek z synami oraz z córkami. Zaobserwowano również wzrost z wiekiem współczynników korelacji dla parametrów długościowych w relacjach rodzice: syn, córka oraz dziecko. Rozpatrując natomiast wielkości współczynników korelacji dla parametrów szerokościowych, stwierdzono w większości przypadków wyższe współczynniki korelacji w grupie II dla cechy szerokość bioder. Natomiast odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku szerokości barków. Z kolei dla masy ciała i jej komponentów większe wartości  $C_{sk}$  zaobserwowano w grupie II dzieci dla następujących typów pokrewieństw: matka – syn, matka – dziecko oraz we wszystkich kombinacjach pokrewieństw rodzice – dzieci. W pozostałych analizowanych typach pokrewieństw nie zaobserwowano jednoznacznych tendencji. Natomiast wzrost wielkości współczynników korelacji wraz z wiekiem badanych dzieci zaobserwowano we wszystkich typach pokrewieństw rodzinnych dla gibkości. Rozpatrując układ współczynników korelacji dla parametrów koordynacyjnych: orientacja przestrzenna i czas reakcji prostej, większe wartości wielkości współczynników korelacji w II grupie wiekowej zaobserwowano we wszystkich typach pokrewieństw. W przypadku szybkości ruchów oraz równowagi trudno było jednoznacznie stwierdzić większe wartości  $C_{sk}$ , w którejkolwiek z analizowanych grup wiekowych.

Podobną obserwację poczyniono w przypadku wielkości  $C_{sk}$  dla wszystkich parametrów siłowych.

Ciekawie przedstawia się również analiza wielkości współczynników korelacji rodziców i dzieci z uwzględnieniem płci. Dla wszystkich parametrów długościowych w obu grupach wiekowych wyższe wielkości współczynników korelacji zaobserwowano w relacji rodzice – syn niż w relacji rodzice – córka. W większości przypadków również silniejsze związki dla tej grupy cech zaobserwowano w relacji ojciec – syn niż ojciec – córka jak również matka – syn niż matka – córka. Dla parametrów szerokościowych uzyskano natomiast bardzo zróżnicowane wartości  $C_{sk}$  i trudno było jednoznacznie uchwycić ogólną tendencję. Dla masy ciała i jej komponentów silniejsze związki zaobserwowano w relacji rodzice – syn niż rodzice – córka. Nieco silniejsze związki dla tej grupy cech zaobserwowano w relacji matek z córkami niż matek z synami. Na bardzo podobnym poziomie kształtowały się natomiast wielkości współczynników korelacji w relacjach ojciec – dziecko oraz matka – dziecko.

Rozpatrując z kolei układ współczynników korelacji dla zdolności koordynacyjnych stwierdzono w większości przypadków nieco większe wartości  $C_{sk}$  w relacji rodzice – syn niż rodzice – córka. Dla większości analizowanych zdolności koordynacyjnych silniejsze związki obserwowano również w relacji matka – syn niż matka – córka. Z kolei nieco większe podobieństwa obserwowano dla tych cech w relacji ojciec – córka niż ojciec – syn.

Dla parametrów siłowych silniejsze związki uwidoczniły się częściej w relacji ojciec – syn niż ojciec – córka. Podobną tendencję zauważono również w relacji matka – syn i matka – córka. W tym przypadku również nieco silniejsze związki zaobserwowano w relacji matek z synami.

Wartości współczynników korelacji pomiędzy badanymi cechami dzieci, a wielkościami średniorodzicielskimi zaprezentowano w Tabeli 5.

**Tabela 5.** Wielkość współczynników korelacji pomiędzy badanymi cechami w poszczególnych grupach wieku a wartościami średniorodzicielskimi

Cecha	Grupa wieku	Wartości średniorodzicielskie		
		śr.r.-syn	śr.r.-córka	śr.r.-dziecko
Wysokość ciała	I	0,44	0,37	0,38
	II	0,47	0,42	0,44
Długość tułowia	I	0,32	0,41	0,42
	II	0,36	0,44	0,47
Wys. posiedzeniowa	I	0,40	0,31	0,42
	II	0,42	0,42	0,42
Dł. kończyn górnych	I	0,13	0,29	0,17
	II	0,19	0,34	0,21
Szerokość bioder	I	0,21	0,23	0,23
	II	0,20	0,41	0,31
Szerokość barków	I	0,35	0,21	0,28
	II	0,47	0,19	0,22
Masa ciała	I	0,34	0,27	0,29
	II	0,41	0,31	0,35
Masa tłuszczu	I	0,31	0,35	0,33
	II	0,43	0,34	0,39
LBM	I	0,34	0,12	0,32
	II	0,29	0,18	0,19
Suma fałdów	I	0,25	0,36	0,31
	II	0,37	0,39	0,37
Gibkość	I	0,37	0,28	0,21
	II	0,39	0,25	0,34
Siła statyczna	I	0,38	0,41	0,41
	II	0,44	0,28	0,37
Siła statyczna/kg	I	0,28	0,41	0,35
	II	0,31	0,27	0,29
Siła/kg LBM	I	0,41	0,42	0,41
	II	0,29	0,29	0,32
MPA	I	0,39	0,05	0,22
	II	0,21	0,19	0,20
Czas reakcji	I	0,21	0,19	0,20
	II	0,34	0,23	0,18
Szybkość ruchów	I	0,21	0,15	0,18
	II	0,34	0,30	0,31
Równowaga	I	0,31	0,02	0,23
	II	0,06	0,08	0,08
Orientacja przestrzenna	I	0,34	0,32	0,32
	II	0,42	0,39	0,37

śr.r. – wartość średniorodzicielska

Należy podkreślić, iż otrzymane wartości były zgodne z modelem teoretycznym dziedziczenia poligenicznego cech ilościowych, nie przekraczały wielkości teoretycznych oraz były silniejsze niż związki zaprezentowane w Tabeli 4. Zdecydowanie największe wartości współczynników korelacji pomiędzy wielkościami średniorodzicielskimi a cechami u dzieci otrzymano dla parametrów długościowych szkieletu. Następnie, nieco niższe wartości otrzymano dla parametrów szerokościowych.

Stosunkowo wysokie wartości zaobserwowano również dla masy ciała i jej komponentów. Natomiast spośród zdolności funkcjonalnych największe wartości współczynników korelacji wykazały parametry siłowe. Wielkości te były bardzo zbliżone do wartości uzyskanych dla cech szerokościowych i nieco tylko niższe od obserwowanych dla cech długościowych. Zdecydowanie najniższe wartości współczynników korelacji zaobserwowano dla koordynacyjnych zdolności motorycznych.

Na podstawie wielkości  $C_{sk}$  obliczono wskaźniki odziedziczalności, których wielkości zaprezentowano w Tabeli 6.

**Tabela 6.** Wielkość wskaźników odziedziczalności ( $h^2$ ) badanych cech w zależności od wieku i płci

Cecha	Grupa wieku	Chłopcy	Dziewczęta	Ogółem
Wysokość ciała	I	0,82	0,56	0,64
	II	0,82	0,64	0,64
Długość tułowia	I	0,70	0,68	0,36
	II	0,90	0,88	0,58
Wys. posiedzeniowa	I	0,62	0,64	0,56
	II	0,82	0,60	0,82
Dł. kończyn górnych	I	0,36	0,18	0,28
	II	0,42	0,28	0,38
Szerokość bioder	I	0,28	0,22	0,54
	II	0,46	0,48	0,46
Szerokość barków	I	0,46	0,34	0,42
	II	0,30	0,12	0,34
Masa ciała	I	0,66	0,48	0,44
	II	0,82	0,52	0,48
Masa tłuszczu	I	0,64	0,40	0,50
	II	0,60	0,38	0,52
LBM	I	0,38	0,34	0,36
	II	0,56	0,38	0,48
Suma fałdów	I	0,30	0,50	0,42
	II	0,62	0,56	0,64
Gibkość	I	0,12	0,34	0,22
	II	0,56	0,58	0,56
Siła statyczna	I	0,36	0,40	0,38
	II	0,50	0,28	0,44
Siła statyczna/kg	I	0,30	0,34	0,52
	II	0,36	0,20	0,38
Siła/kg LBM	I	0,42	0,46	0,42
	II	0,22	0,54	0,48
MPA	I	0,68	0,08	0,38
	II	0,22	0,28	0,24
Czas reakcji	I	0,24	0,16	0,22
	II	0,30	0,22	0,28
Szybkość ruchów	I	0,42	0,58	0,56
	II	0,64	0,48	0,62
Równowaga	I	0,28	0,36	0,32
	II	0,12	0,34	0,18
Orientacja przestrzenna	I	0,46	0,38	0,42
	II	0,56	0,56	0,58

Jako punkt odniesienia dla cech funkcjonalnych posłużyły wskaźniki parametrów somatycznych (najlepiej poznane do tej pory). Analiza relacji międzycechowych i międzyplciowych w dwu grupach wiekowych potwierdza prawidłowości zauwa-

żone przy analizie wielkości współczynników korelacji. Najsilniejszą kontrolę wykazały: wysokość ciała i długość tułowia – wielkości  $h^2$  od 0,36 do aż 0,90. Nieco niższe wskaźniki odziedziczalności otrzymano dla wysokości posiedzeniowej oraz długości kończyn dolnych ( $h^2$  od 0,18 do 0,82). Interesującym zagadnieniem była również próba oceny siły uwarunkowań genetycznych cech długościowych w zależności od płci. Wyniki badań wskazują na zdecydowanie wyższe wartości wskaźników odziedziczalności u płci męskiej w obu grupach wiekowych. Z kolei analiza wielkości wskaźników ogółem (bez uwzględniania płci), powodowała obniżenie otrzymanych współczynników.

Średnio-silną kontrolę genetyczną wykazały parametry szerokościowe szkieletu (szerokość barków i bioder). Wielkość  $h^2$  wahała się w granicach od 0,12 do 0,54. Również w przypadku tych cech wyższe wartości wskaźników odziedziczalności zaobserwowano u płci męskiej, co stanowi pewnego rodzaju zaskoczenie. Wykazano, że zarówno u dziewcząt jak i u chłopców, następuje z wiekiem wzrost siły uwarunkowań genetycznych prawie dla wszystkich parametrów długościowych i szerokościowych.

Osobną grupę parametrów somatycznych stanowi masa ciała i jej komponenty. Zarówno dla masy ciała jak i masy ciała szczupłego (LBM) uzyskano bardzo wysokie wskaźniki  $h^2$ . Być może było to spowodowane nie wytrąceniem wpływów środowiskowych ze współczynników korelacji dla obu cech. Wyniki bowiem dla masy ciała szczupłego były zdecydowanie niższe i wskazują na średnio-silną kontrolę genetyczną tej cechy.

Przedmiotem analizy była również próba oszacowania kontroli genetycznej parametrów siłowych. Stwierdzono bardzo podobne wskaźniki odziedziczalności dla siły statycznej oraz dla siły w ujęciu relatywnym, tj. w przeliczeniu na kg/masa ciała i kg/LBM. Wielkości  $h^2$  wskazują na średnio-silną kontrolę genetyczną tych parametrów. W większości przypadków wyższe wskaźniki odziedziczalności otrzymano w grupie I badanych dzieci.

Spśród analizowanych koordynacyjnych zdolności motorycznych średnio-silną kontrolę genetyczną wykazała szybkość ruchów ( $h^2$  od 0,42 do 0,64) oraz orientacja przestrzenna ( $h^2$  od 0,38 do 0,58). Niską odziedziczalność stwierdzono dla równowagi ( $h^2$  od 0,12 do 0,36) oraz czasu reakcji ( $h^2$  od 0,16 do 0,30). Analizując układ wskaźników odziedziczalności z uwzględnieniem płci wykazano, iż wyższe wartości wskaźników zaobserwowano u dziewcząt dla równowagi, natomiast u chłopców dla czasu reakcji. W pozostałych przypadkach nie wykazano jednoznacznej tendencji. Ciekawie prezentują się również zmiany wielkości  $h^2$  w zależności od wieku badanych i płci. Wzrost z wiekiem wartości wskaźników, zarówno u dziewcząt jak i u chłopców, stwierdzono dla czasu reakcji oraz orientacji przestrzennej, natomiast odwrotną tendencję wskazano dla szybkości ruchów i równowagi. Nie potwierdzono tezy mówiącej o silniejszej kontroli genetycznej cech funkcjonalnych u chłopców niż u dziewcząt.

## Dyskusja

W pracy podjęto próbę określenia wzajemnych relacji między uwarunkowaniami genetycznymi i środowiskowymi wybranych parametrów funkcjonalnych. Jako układ odniesienia dla szacowania siły kontroli genetycznej badanych cech posłużyły dane podstawowych parametrów somatycznych o znanej z wielu opracowań odziedziczalności [14, 28]. Dodatkowo jak podkreśla wielu autorów [4, 5, 9, 15, 27] wskaźniki  $h^2$  cech funkcjonalnych należy traktować w kategoriach względnych i odnosić je do parametrów somatycznych o znanej sile kontroli genetycznej. Tak też uczyniono w niniejszym opracowaniu. Dysponując materiałem pochodzącym od pełnych ro-

dzin, wewnątrzrodzinne współczynniki korelacji skorygowano o wpływ kojarzenia asortatywnego. Nie uwzględnianie w wielu opracowaniach tego typu poprawki powoduje zawyżanie współczynników korelacji rodzice – dzieci, a w konsekwencji wielkości wskaźników odziedziczalności [7, 9, 15, 25] – co stwarza ograniczenia w porównaniach międzypopulacyjnych wskaźników  $h^2$ . Badania nad wielkością kojarzenia asortatywnego mają bogatą tradycję, gdyż zostały zapoczątkowane w latach 70-tych ubiegłego wieku w polskich badaniach rodzinnych Wolańskiego [36]. Wyniki naszych badań wskazują, iż dla analizowanych cech zarówno funkcjonalnych jak i somatycznych, kojarzenie asortatywne wystąpiło w niewielkim stopniu. Było ono zdecydowanie niższe niż obserwowane w populacjach wiejskich z lat 70-tych ubiegłego wieku [35, 36]. Należy jednak podkreślić, iż w cytowanych powyżej badaniach współczynniki korelacji w grupie rodziców badanych dzieci zostały obliczone tylko w całości materiału, a więc zostały zawyżone o tzw. „efekt wspomazszkania” [2, 14, 18]. Takie prawidłowości potwierdzają przeprowadzone badania, w których również zaobserwowano zdecydowanie wyższe wielkości korelacji między rodzicami w grupie z dłuższym stażem małżeńskim. Otrzymane wyniki są natomiast bardzo zbliżone do danych wielu polskich i zagranicznych doniesień [4, 5, 9, 15, 16, 25]. Tak więc, stosunkowo niskie wielkości kojarzenia asortatywnego analizowanych cech zaobserwowane w naszych badaniach, w grupie rodziców o małym stażu małżeńskim pozwalają na stwierdzenie, iż zaprezentowane wielkości współczynników korelacji są faktycznie miarą kojarzenia wybiórczego między rodzicami i stąd celowe było wprowadzenie poprawki do wewnątrzrodzicznych współczynników korelacji.

Jako miernik podobieństwa między rodzicami a dziećmi przyjęto skorygowane współczynniki korelacji w wyróżnionych typach pokrewieństw. Podobnie jak w najbliższych terytorialnie oraz czasowo badaniach [4, 5, 9, 15, 25], również w badanej populacji w analizowanych typach pokrewieństw rodzinnych wystąpiło znaczne zróżnicowanie wartości współczynników korelacji w zależności od rodzaju analizowanej cechy, płci rodziców i dzieci oraz grupy wiekowej dzieci. Podkreślić należy, iż otrzymane współczynniki korelacji badanych cech nie przekraczały wielkości teoretycznych, jak również były zgodne z założeniami dziedziczenia poligenicznego – silniejsze związki obserwuje się pomiędzy wielkością średniorodzicielską a dziećmi, niż pomiędzy rodzicami, a dziećmi osobno. Takie prawidłowości obserwowano również w przytoczonych powyżej pracach. W przeprowadzonych badaniach podobnie jak w innych pracach [9, 28, 34], nie stwierdzono obniżania się wielkości współczynników korelacji w okresie skoku pokwitaniowego. Zjawisko to interpretowano czasami jako tzw. efekt włączania się w tok rozwoju osobniczego dodatkowego zespołu genów nazwanych „pokwitaniowymi genami wzrastania” [1]. O takiej tendencji w odniesieniu do cech charakteryzujących koordynacyjne zdolności motoryczne donosił również w swojej pracy Mleczko [15]. W badanym materiale dla większości parametrów somatycznych zaobserwowano nieco silniejsze związki matki z dzieckiem niż ojca z dzieckiem. Podobne relacje obserwowano również w niektórych materiałach porównawczych [9, 28, 34] i interpretowano je jako działanie tzw. „regulatora matczynego” wynikającego z wpływów matki na rozwój dziecka w okresie prenatalnym oraz w pierwszym okresie życia osobniczego. W prezentowanym materiale nie znaleziono potwierdzenia sugerowanej w niektórych pracach [18, 19, 35] tezy o silniejszym związku cech funkcjonalnych dzieci z ojcami niż z matkami. Wydaje się, iż taki obraz może mieć swe źródło w roli ojca w określaniu stylu życia współczesnej polskiej rodziny i nie wytrąceniu tego czynnika z korelacji. Również Jaworski i Szopa [9] oraz Cieśla [4, 5] nie zaobserwowali takiej tendencji.

Wskaźniki odziedziczalności obliczone na podstawie skory-

gowanych współczynników korelacji w zasadzie potwierdzają zauważone powyżej ogólne prawidłowości. Przeprowadzone badania charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem w zależności od analizowanej cechy oraz okresu ontogenezy. Oczywiście jak w większości cytowanych powyżej prac największą stabilność wielkości  $h^2$  zaobserwowano dla wysokości ciała oraz długości tułowia ( $h^2$  od 0,56 do 0,90 z uwzględnieniem płci i od 0,36 do 0,64 w całości materiału). Kolejno „średnio-silną” kontrolę genetyczną wykazały parametry szerokościowe szkieletu ( $h^2$  od 0,12 do 0,54). Te dwie grupy posłużyły do interpretacji wskaźników odziedziczalności analizowanych parametrów funkcjonalnych. Spośród tej grupy cech, podobnie jak w badaniach innych autorów [5, 9, 15, 27], średnio-silną kontrolę genetyczną wykazała orientacja przestrzenna. Nieco wyższe niż dla orientacji przestrzennej uzyskano wskaźniki odziedziczalności dla szybkości ruchów. Wyniki takie nie są jednak zaskoczeniem, ponieważ w innych badaniach [3, 5, 9, 19, 13, 20] są one również bardzo zróżnicowane i wahają się w granicach od 0,13 do 0,90. Tak więc mając na względzie powyższe dane oraz odnosząc wartości  $h^2$  dla tej cechy do otrzymanych danych dla parametrów somatycznych, możemy stwierdzić, iż w naszych badaniach szybkość ruchów wykazała średnio-silną kontrolę genetyczną. Stosunkowo dużo prac poświęcono badaniom nad uwarunkowaniami genetycznymi czasu reakcji [5, 9, 15, 17, 20, 26, 27, 35]. Ze starszych opracowań wynika, że jest to cecha silnie determinowana genetycznie. Natomiast nowsze badania (poprawne metodologicznie) wskazują jednoznacznie, iż czas reakcji wykazuje słabą kontrolę genetyczną. Takie wyniki otrzymano też w przeprowadzonych badaniach. Bardzo niewiele natomiast jest prac poświęconych uwarunkowaniem genetycznym równowagi [5, 9, 19, 32, 33, 35]. Z przeglądu tych prac wynika, iż wartości  $h^2$  dla tej cechy zawierały się z przedziale od 0,02 do 0,82. Tak znaczne zróżnicowanie wskaźników odziedziczalności w zależności od sposobu pomiaru, badanej populacji oraz grupy wiekowej, w której zostały obliczone nie pozwalają w sposób jednoznaczny na określenie siły kontroli genetycznej równowagi i potwierdzają konieczność dalszych badań. W przeprowadzonych badaniach średnio-silną kontrolę genetyczną wykazała siła statyczna w ujęciu absolutnym i relatywnym. Nie potwierdziły się natomiast spostrzeżenia Siergienki [17] sugerujące silniejszą kontrolę genetyczną w przypadku siły względnej. Wyniki naszych badań z kolei znajdują potwierdzenie w badaniach Mleczki [15] oraz Cieśli [4].

### Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Kojarzenie asortatywne między rodzicami wystąpiło tylko w niewielkim stopniu. Stąd skala korekcji współczynników korelacji w analizowanych typach pokrewieństw rodzice – dzieci była niewielka.

2. Dla większości analizowanych cech nie zaobserwowano obniżania się współczynników korelacji w okresie skoku pokwitaniowego. Można więc przyjąć, iż sygnalizowane w piśmiennictwie włączanie się w toku rozwoju ontogenetycznego dodatkowego zespołu „pokwitaniowych genów” nie powoduje obniżania się podobieństw rodzinnych.

3. Spośród analizowanych cech somatycznych najsilniejszą kontrolę genetyczną wykazały parametry długościowe szkieletu, a średnio-silną: szerokość barków oraz bioder. Zaskakująco wysokie wartości  $h^2$  otrzymano również dla masy ciała i jej komponentów. Wydaje się jednak, iż takie wyniki są spowodowane nie wytrąceniem ze współczynników korelacji wpływów środowiskowych (tzw. „dziedziczenie kulturowe”).

4. W grupie analizowanych parametrów funkcjonalnych średnio-silną kontrolę wykazały: orientacja przestrzenna, szybkość ruchów oraz siła statyczna w ujęciu absolutnym oraz

relatywnym. Zdecydowanie niskie wskaźniki odziedziczalności zaobserwowano natomiast dla czasu reakcji prostej i równowagi.

5. Dla większości analizowanych cech zaobserwowano większe wskaźniki odziedziczalności w II grupie wiekowej. Tak więc wiek dzieci ma istotny wpływ na wielkości  $h^2$ , co potwierdza tezę o pełnej realizacji genotypu dopiero w okresie maksimum rozwojowego.

6. Wyniki przeprowadzonych badań nie potwierdziły rozpowszechnionego poglądu o silniejszej kontroli genetycznej cech funkcjonalnych u mężczyzn.

#### Piśmiennictwo

- Bergman P. (1988) Zagadnienia genetycznej determinacji rozwoju w okresie pokwitania. *Mat. i Prace Antrop.*, 108, 165-216.
- Bouchard C., Malina R.M., Perusse L. (1997) Genetics of physiological fitness and motor performance. Hum. Kin. Publ., Champaign, Inc. Illinois.
- Carlier M., Beau J., Marchaland C., Michel F. (1994) Sibling resemblance in two manual laterality tasks. *Neuropsychologia*, 32, 741-746.
- Cieśla E. (2005a) Genetyczne uwarunkowania wybranych predyspozycji motorycznych dzieci i młodzieży w populacji kieleckiej – cz. I. Kondycja. *Antropomotoryka*, 29, 17-29.
- Cieśla E. (2005b) Genetyczne uwarunkowania wybranych predyspozycji motorycznych dzieci i młodzieży w populacji kieleckiej – cz. II. Koordynacja. *Antropomotoryka*, 30, 17-29.
- Eurofit (1991) Europejski Test Sprawności Fizycznej. AWF Kraków.
- Falconer D.S. (1974) Dziedziczenie cech ilościowych. PWN, Warszawa.
- Fisher R.A. (1918) The correlation between relatives on the supposition on Mendelian inheritance. *Trans. Ryal Soc., Edinburg*, 52, 399-433.
- Jaworski J., Szopa J. (1998) Genetyczne i środowiskowe uwarunkowania wybranych predyspozycji somatycznych i motorycznych ludności wiejskiej Żywiecczyzny. *Antropomotoryka*, 18, 15-47.
- Kovař R. (1980) Human variation in motor abilities and its genetic analysis. Carl. Univ. Press, Praha.
- Lyakh W., Jaworski J., Wiczorek T. (2007) Genetic endowment of coordination motor abilities a review of family and twin research. *J. Human Kinet.*, 17, 25-39.
- Měkota K., Blahuš P. (1983) Motorické testy v telesne výchove. Praha.
- Maes H., Beunen G., Vlietinck R., Lefevre J., Van den Bossche C., et al. (1993) Heritability of health- and performance-related fitness: Data from the longitudinal twin study. [w:] W. Duquet, J.A.P. Dayeds (red.) *Kinanthropometry IV*. London, Spon.
- Malina R., Bouchard C., Bar-Or O. (2004) Growth, maturation, and physical activity. Hum. Kin. Publ., Champaign, Inc. Illinois.
- Młeczko E. (1991) Przebieg i uwarunkowania rozwoju funkcjonalnego dzieci krakowskich między 7 a 14 rokiem życia. Wyd. Monogr., AWF Kraków, nr 44.
- Sanchez-Andreas A., Mesa M.S. (1994) Assortative mating in a Spanish population: Effects of social factors and cohabitations. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 63, 389-395.
- Sergienko L.P. (1975) Izpolzowanie metoda blizniwego wzaimokontrolia dla izuczienia genetyki dwigatielnych sposobnostiej czelowieka. *Teor. Prakt. Fiz. Kult.*, 38:30.
- Siniarska A. (1982) Stan biologiczny populacji ludzkich. [w:] N. Wolański, A. Siniarska (red.) *Ekologia populacji ludzkich*. Ossolineum.
- Skład M. (1973) Rozwój fizyczny i motoryczny bliźniąt. *Mat. i Prace Antropol.*, 85, 3-102.
- Skład M. (1975) The genetic determination of the rate of learning of motor skills. *Stud. Phys. Anthropol.*, 1, 3-19.
- Slaughter M.M., Lohman F.S., Boileau R.A., Horswill C.A., Stillman R.J., et al. (1988) Siskfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology*, 60, 5.
- Starosta W. (2003) Motoryczne zdolności koordynacyjne (znaczenie, struktura, kształtowanie). Instytut Sportu, Warszawa.
- Suzanne C. (1976) Heredity of anthropometric measurements: analysis with the method of Fishr. *Glasnik Antrop. Dr. Jugoslavije*, T. 13.
- Szopa J. (1989) Zmienność ontogenetyczna oraz genetyczne i środowiskowe uwarunkowania maksymalnej pracy anaerobowej (MPA) – wyniki badań rodzinnych. *Antropomotoryka*, 1, 37-50.
- Szopa J. (1990) Genetyczne i środowiskowe uwarunkowania rozwoju somatycznego między 7 a 14 rokiem życia: wyniki longitudinalnych badań rodzinnych. Wyd. Monogr. AWF Kraków, nr 42.
- Szopa J., Młeczko E. (1987) Genetyczne uwarunkowania czasu reakcji. *Wych. Fiz. i Sport*, 31, 19-26.
- Szopa J., Młeczko E., Cempela J. (1985) Zmienność oraz genetyczne i środowiskowe uwarunkowania podstawowych cech psychomotorycznych i fizjologicznych w populacji wielkomiejskiej, w przedziale wieku 7-62 lat. Wyd. Monogr. AWF Kraków, nr 25.
- Szopa J., Młeczko E., Żak S. (1996) Podstawy Antropomotoryki. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Kraków.
- Szopa J. (1986) Genetyka w wychowaniu fizycznym i sporcie – wybrane zagadnienia metodologiczne. *Wych. Fiz. i Sport*, 30, 3-14.
- Szopa J. (1991) Longitudinalna stabilność rozwojowa jako metoda określania genetycznych uwarunkowań rozwoju (analiza na przykładzie wybranych cech somatycznych i funkcjonalnych). *Antropomotoryka*, 5, 35-42.
- Welon Z., Bielicki T. (1971) Further investigations of parent-child similarity in stature as assessed from longitudinal data. *Hum. Biol.*, 43, 331-338.
- Williams L.R.T., Hearfield V. (1973) Heritability of gross motor balance task. *Res. Q. Assoc. Health Phys. Educ. Recreat.*, 44, 109-112.
- Williams L.R.T., Gross J.B. (1980) Heritability of motor skill. *Acta Genet. Med. Gemellol.*, 29, 127-136.
- Wolański N. (1969) Współzależności i współdziałanie między czynnikami genetycznymi i ekologicznymi w procesie rozwoju ontogenetycznego człowieka. *Kosmos*, A, 5.
- Wolański N., Kasprzak E. (1979) Similarity in some physiological, biochemical and psychomotor traits between parents and 2-45 years offspring. *Stud. Hum. Ecol.*, 3, 85-131.
- Wolański N., Pyżuk M. (1973) Psychomotor properties in 1.5-99 years old inhabitants of Polish rural areas. *Stud. Hum. Ecol.*, 1, 134-162.
- Żychowska M. (2004) Genetyka niektórych cech fizjologicznych i psychomotorycznych człowieka: metodologia i stan badań. *Antropomotoryka*, 28, 93-100.

Otrzymano: 18.12.2008

Przyjęto: 15.02.2009