

DOI: 10.16359/j.cnki.cn11-1963/q.2017.0053

学龄双生子儿童身体围度与宽度指标的遗传学分析

王燕, 李玉玲, 刘燕, 弓剑

内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 呼和浩特 010022

摘要: 为探讨遗传和环境因素对学龄双生子儿童身体围度及宽度等体格指标的影响, 对 351 对 6~12 岁双生子儿童身高、胸围、腰围、臀围、肩宽、骨盆宽指标进行测量, 计算各指标的相关指数。应用 Mx 软件拟合最佳结构方程模型计算各指标遗传度, 分析年龄与性别的作用。结果发现, 各指标拟合的最佳模型均为 ACES, 各测量指标的年龄方差较大 (0.21~0.76), 衍生指数中除腰臀比 (女 0.15, 男 0.05) 外几乎均不存在年龄方差; 各指标的共同环境方差变异较大 (0.00~0.53); 衍生指数的特殊环境因素方差 (0.09~0.25) 总体上高于测量指标 (0.01~0.09)。校正年龄后, 各指标遗传度为身高 (女 63%, 男 59%)、胸围 (女 84%, 男 88%)、身高胸围指数 (女 87%, 男 55%)、腰围 (女 46%, 男 64%)、臀围 (女 61%, 男 61%)、腰臀比 (女 44%, 男 44%)、肩宽 (女 78%, 男 78%)、骨盆宽 (女 62%, 男 62%)、身高肩宽指数 (女 40%, 男 40%)、身高骨盆宽指数 (女 35%, 男 48%)、肩宽骨盆宽指数 (女 24%, 男 24%)。结果表明学龄双生子儿童身高、胸围、身高胸围指数、臀围、肩宽、骨盆宽主要受遗传因素影响; 腰臀比、身高肩宽指数、身高骨盆宽指数及肩宽骨盆宽指数受环境因素影响更大; 遗传与环境因素对身高胸围指数、腰围指标的影响可能存在一定性别差异; 年龄对学龄双生子儿童身体围度及宽度相关指数的影响较小。

关键词: 学龄儿童; 双生子; 围度发育; 宽度发育

中图分类号: Q984; 文献标识码: A; 文章编号: 1000-3193(2017)03-0396-10

Genetic analysis of body circumference and breadth in school-age twins

WANG Yan, LI Yuling, LIU Yan, GONG Jian

Institute of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022

Abstract: To analyze the genetic and environmental factors influences on the development of

收稿日期: 2016-08-14; 定稿日期: 2016-12-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31260265; 30960167)

作者简介: 王燕 (1992-), 女, 内蒙古师范大学在读硕士研究生, 主要从事人类生物学研究。E-mail: 925142207@qq.com

通讯作者: 李玉玲, 女, 内蒙古师范大学生命科学与技术学院教授, 硕士生导师, 主要从事体质人类学与儿少卫生学研究。

E-mail: liyuling137@163.com

Citation: Wang Y, Li YL, Liu Y, et al. Genetic analysis of body circumference and breadth in school-age twins[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2017, 36(3): 396-405

body circumference and breadth in school-age twins, six body measurements including stature, chest circumference, waist circumference, hip circumference, shoulder breadth and crista breadth were measured and the related indices were calculated in 351 twin pairs aged from 6 to 12 years old. Mx software was used to fit the best structural equation model to calculate the heritability of each index and analyze the effect of age and gender. The results indicated that the best fitting model of each index was ACES. The age variance (S) of each body measurement (0.21~0.76) was obviously higher than that of derivative indices except for the waist-hip ratio (female 0.15, male 0.05). The common environmental variance (C) of each index (0.00~0.53) varied largely. The special environmental variance (E) of derivative indices (0.09~0.25) was generally higher than that of body measurements (0.01~0.09). After adjusting age, the heritability of each index was as follows: Stature (female 63%, male 59%), chest circumference (female 84%, male 88%), stature-chest circumference index (female 87%, male 55%), waist circumference (female 46%, male 64%), hip circumference (female 61%, male 61%), waist-hip ratio (female 44%, male 44%), shoulder breadth (female 78%, male 78%), crista iliaca breadth (female 62%, male 62%), stature-shoulder breadth index (female 40%, male 40%), stature-crista iliaca index (female 35%, male 48%) and acromio-cristal index (female 24%, male 24%). The above-mentioned results showed that the stature, waist circumference, stature-chest circumference index, hip circumference, shoulder breadth and crista iliaca breadth of school-age children were mainly influenced by the genetic factors, while the other indexes were mainly impacted by the environmental factors. Meanwhile, there were gender differences in genetic effect to some extent for stature-chest circumference index and waist circumference, and the age effect on the related indices of body circumference and breadth was not obvious in this study.

Key words: School-age children; Twins; Circumference development; Breadth development

近年来, 伴随我国工业化、都市化和人民生活方式的改变, 儿童体格发育也呈现新的特点, 一方面表现为多数体格发育指标呈现生长发育的长期加速趋势, 另一方面超重肥胖比例明显提高^[1]、胸廓和肩盆部骨骼发育不够理想^[2], 因此, 儿童体格发育规律性及其影响因素的研究受到更多关注^[3]。学龄儿童正处于生长发育的关键时期, 在众多体格发育指标中, 身高、坐高、体重、胸围和皮褶厚度作为我国学生体质调研的监测指标^[4], 在相关研究中一直广受重视。相比较而言, 对于能较好地反映成人营养状况及肥胖的腰围、臀围等围度指标, 以及与体态相关的肩宽、骨盆宽等宽度指标, 在学龄儿童的相关研究中则较少被关注。

Döring 等^[5]研究发现, 儿童腰围发育与成年期肥胖密切相关, 儿童期肥胖干预是预防成年期疾病发生的关键期; 富杰等^[2]研究发现, 近 20 多年来达斡尔族中小学生肩宽、骨盆宽发育有增幅现象, 但肩宽指数、骨盆宽指数以及肩宽骨盆宽指数均下降, 提示儿童肩部、盆腔发育水平有待提高。因此, 无论是从肥胖预防角度还是体型发育角度而言, 深入了解儿童围度、宽度指标的发育规律及其影响因素, 对于全面促进儿童体格发育都具有重要意义。

国内外双生子研究发现, 儿童体格发育受遗传和环境因素的双重制约。Silventoinen 等^[6]

对日本 0~1 岁双生子胸围遗传学分析, 发现随着婴儿月龄的增长, 胸围受遗传因素的影响越来越高。Mustelin 等^[7]对芬兰成年双生子研究发现, 腰围主要受遗传因素影响。Tse 等^[8]对 14 对成年双生子骨盆宽遗传度进行报道, 发现女性骨盆宽更易受遗传因素影响, 且男女之间存在性别差异。李小燕等^[9]采用传统的双生子法对 4~14 岁双生子儿童身高进行遗传学分析, 发现身高主要受遗传因素影响。栾天抒等报道, 学龄前双生子儿童腰围主要受遗传因素影响, 而胸围、臀围受环境因素影响更大^[10]。但总体而言, 目前国内外有关围度与宽度的双生子研究对象多数为婴幼儿或成人, 国内有关双生子的研究样本量不大, 且较多应用传统双生子方法估算遗传度。因此, 为更好地了解遗传和环境因素对学龄儿童身体围度与宽度指标发育的影响, 本研究以较大样本量的学龄双生子儿童为研究对象, 依据最大似然法原理、运用 Mx 软件拟合最佳结构方程模型, 对各指标的影响因素进行较为全面的系统分析。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

在父母及学生知情同意情况下, 以学校为单位在内蒙古呼和浩特市和包头市共募集 6~12 岁 351 对同性别双生子儿童。每对双生子均生活在同一家庭、就读于同一学校, 身心发育健康, 无先天性疾病和慢性病史。平均年龄男 (9.27±1.91) 岁, 女 (9.28±1.91) 岁。

1.2 研究方法

1.2.1 双生子卵型鉴定方法

同性别双生子取口腔上皮细胞, 提取 DNA 采用 ABI 公司的 AmpFISTR® Sinofiler™ 试剂盒, 对 16 个 STR 位点 (D8S1179, D21S11, D7S820, CSF1PO, D3S1358, D12S391, D13S317, D16S539, D2S1338, D19S433, vWA, D6S1043, D5S818, D18S51, FGA 和性别标记 Amelogenin) 的一致性进行卵型鉴定, 可靠性达 99.9% 以上。

1.2.2 双生子体格指标测量

体格指标的测量方法依据席焕久的《人体测量方法》^[11]进行, 测量前统一测量标准, 由专业人员进行测量, 并保证每对双生子的测量在同一时间段内完成, 测量指标包括身高 (height, h)、胸围 (chest circumference, C_c)、腰围 (waist circumference, C_w)、臀围 (hip circumference, C_h)、肩宽 (shoulder breadth, B_s)、骨盆宽 (crista iliaca breadth, B_{ci})。计算各指标的衍生指数包括身高胸围指数 (stature-chest circumference index, I_{sc})、腰臀比 (waist-hip ratio, WHR)、身高肩宽指数 (stature-shoulder breadth index, I_{ss})、身高骨盆宽指数 (stature-crista iliaca index, I_{sci}) 和肩宽骨盆宽指数 (acromio-cristal index, I_{ac})。

1.2.3 统计学分析

采用 Epidata 录入数据, 双录入核查逻辑检错。采用 SPSS16.0 进行统计学分析。由于年龄因素对儿童体格发育各指标均有不同程度的影响, 因此, 要用校正年龄后的残差代替原始指标进行双生子对内方差、对间方差及组内相关系数的计算, 同卵双生子

(monozygotic twins, MZ)、同性别异卵双生子 (dizygotic twins, DZ) 对内方差和对间方差齐性检验用 F 检验, 组内相关系数检验用 Z 检验。相关公式如下:

$$\text{双生子对内方差 } (V_P^W) = \frac{\sum(A-B)^2}{2N}$$

$$\text{双生子对间方差 } (V_P^B) = \frac{1}{N-1} \left\{ \frac{\sum(A+B)^2}{2} - \frac{[\sum(A+B)]^2}{2N} \right\}$$

$$\text{组内相关系数 } (r) = \frac{V_P^B - V_P^W}{V_P^B + V_P^W}$$

注: A、B 分别为一对双生子中两个成员同一性状的测量值; N 为 MZ 或 DZ 相对应的对数。

依据最大似然法原理, 采用基于通径分析法的 Mx 软件构建最佳结构方程模型^[12], 进行遗传度估计。通径图示 ACDE 模型 (图 1), 其中遗传因素 (genetic variation, G) 可分解为加性遗传效应 (additive genetic variation, A) 和显性效应 (dominance genetic variation, D), 环境因素 (environmental variation, E) 包括双生子共同环境效应 (common environmental variation, C) 和特殊环境效应 (specific environmental variation, E) 两部分。某生物性状的表型方差 (phenotypic variance, V_p) 等于遗传方差 (genetic variance, V_G) 与环境方差 (environmental variance, V_E) 之和 ($V_p = V_G + V_E$), 根据双生子组内相关系数 (interclass correlation coefficient, r) 的比较, 可将 ACDE 模型分为 ACE 和 ADE 两个独立的模型, 因此, $V_p = V_A + V_C + V_E$ 或 $V_p = V_A + V_D + V_E$ 根据狭义的遗传度 $h^2 = V_A / V_p$, 当双生子组内相关系数 $r_{MZ} < 2r_{DZ}$ 时, 拟合 ACE 模型, 若 $r_{MZ} > 2r_{DZ}$ 时, 则拟合 ADE 模型^[13]。

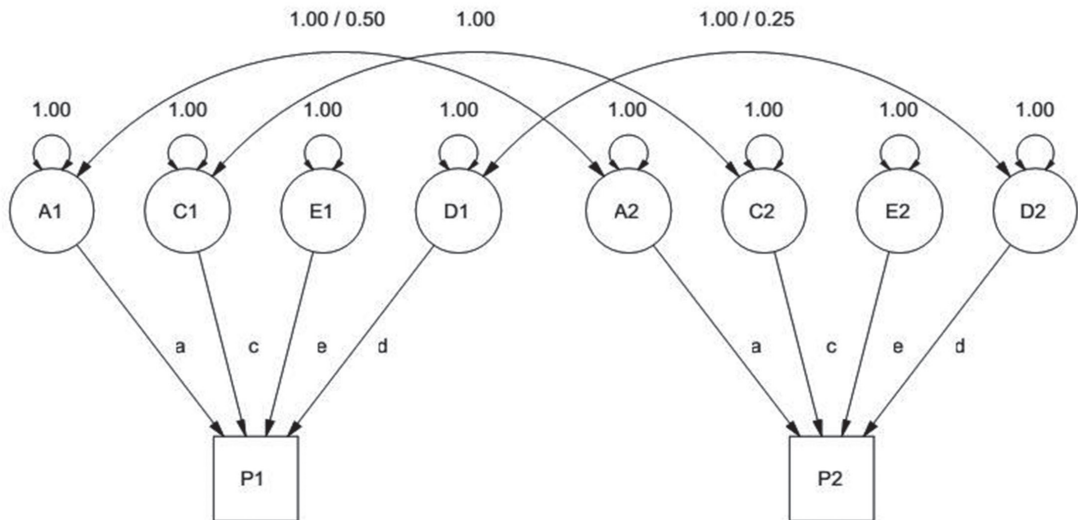


图 1 遗传与环境的隐变量对表型值的影响

Fig.1 Genetic and environmental latent variables cause the phenotypes P1 and P2

注: A、C、D、E 分别为加性遗传方差、共同环境方差、显性遗传方差、特殊环境方差, a、c、d、e 分别为其相应的通径系数。P1、P2 分别为一对双生子两个成员的表型值。加性遗传方差的相关, MZ 为 1.0, DZ 为 0.5; 共同环境方差的相关, MZ、DZ 均为 1.0; 显性遗传方差 MZ 为 1.0, DZ 为 0.25

2 结果

2.1 双生子样本年龄构成

经卵型鉴定此次共募集有效双生子 351 对, 其中同卵双生子 (MZ) 共 201 对, 同性别异卵双生子 (DZ) 共 150 对, DZ:MZ 为 1:1.34 (表 1), 同卵、异卵双生子样本量基本平衡且具有代表性。

表 1 双生子样本年龄构成 (对)
Tab.1 Age composition of twins sample (pairs)

年龄 Age	同卵双生子 MZ		异卵双生子 DZ		总数 Total
	男 Male	女 Female	男 Male	女 Female	
6	12	9	5	4	30
7	12	10	11	17	50
8	15	13	7	12	47
9	24	18	8	9	59
10	22	10	8	16	56
11	13	18	10	9	50
12	11	14	19	15	59
Total	109	92	68	82	351

表 2 6-12 岁男性双生子各指标对内、对间方差及组内相关系数比较

Tab.2 Comparison of intrapair, interpair variance and interclass correlation coefficient of each index in male twins of 6~12 years old

指标 Variable	对内方差 Intrapair variance			对间方差 Interpair variance			组间相关系数 Interclass correlation coefficient		
	MZ	DZ	F	MZ	DZ	F	MZ	DZ	Z
身高 h	3.57	17.82	4.99**	71.22	68.76	0.96	0.90	0.59	5.24**
胸围 C_w	2.49	19.18	7.70**	79.73	57.90	0.73	0.94	0.50	7.54**
身高胸围指数 I_{sc}	1.27	5.01	3.93**	27.78	22.26	0.80	0.91	0.63	5.07**
腰围 C_w	4.44	21.55	4.86**	109.09	89.95	0.82	0.92	0.61	5.66**
臀围 C_h	3.34	17.06	5.11**	79.51	67.18	0.84	0.92	0.59	5.74**
腰臀比 WHR	6.81	11.54	1.69	48.05	32.57	0.68	0.75	0.48	2.92**
肩宽 B_s	0.38	1.67	4.42**	5.13	4.38	0.85	0.86	0.45	5.25**
骨盆宽 B_{ci}	0.33	1.33	3.99**	4.97	4.33	0.87	0.87	0.53	4.85**
身高肩宽指数 I_{ss}	0.18	0.28	1.51	1.25	1.22	0.97	0.74	0.62	1.41
身高骨盆宽指数 I_{sci}	0.17	0.37	2.23*	1.75	1.77	1.01	0.82	0.66	2.51*
肩宽骨盆宽指数 I_{bc}	4.16	7.29	1.75	31.85	38.37	1.20	0.77	0.68	1.19

注: MZ 与 DZ 间比较, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

表 3 6-12 岁女性双生子各指标对内、对间方差及组内相关系数比较

Tab. 3 Comparison of intrapair, interpair variance and interclass correlation coefficient of each index in female twins of 6~12 years old

指标 Variable	对内方差			对间方差			组间相关系数		
	Intrapair variance			Interpair variance			Interclass correlation coefficient		
	MZ	DZ	F	MZ	DZ	F	MZ	DZ	Z
身高 h	1.78	13.58	7.65**	82.98	67.06	0.81	0.95	0.66	7.27**
胸围 C_w	3.37	18.66	5.34**	51.27	58.41	1.14	0.88	0.52	5.12**
身高胸围指数 I_{sc}	1.41	6.77	4.80**	17.50	15.69	0.90	0.85	0.40	5.43**
腰围 C_w	4.46	13.43	3.01**	57.72	69.20	1.20	0.86	0.67	2.98**
臀围 C_h	2.45	12.82	5.22**	63.31	59.09	0.93	0.92	0.64	5.57**
腰臀比 WHR	6.15	11.39	1.85	42.50	35.74	0.84	0.96	0.57	2.55*
肩宽 B_s	0.39	1.57	4.03**	5.36	5.15	0.96	0.86	0.53	4.64**
骨盆宽 B_{ci}	0.35	1.01	2.89**	3.96	4.31	1.09	0.84	0.62	3.16**
身高肩宽指数 I_{sw}	0.19	0.40	2.04*	1.47	1.27	0.87	0.76	0.52	2.77**
身高骨盆宽指数 I_{sci}	0.19	0.35	1.78	1.44	1.23	0.85	0.76	0.56	2.39*
肩宽骨盆宽指数 I_{ac}	4.68	6.78	1.45	29.74	34.54	1.16	0.73	0.67	0.71

注: MZ 与 DZ 间比较, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

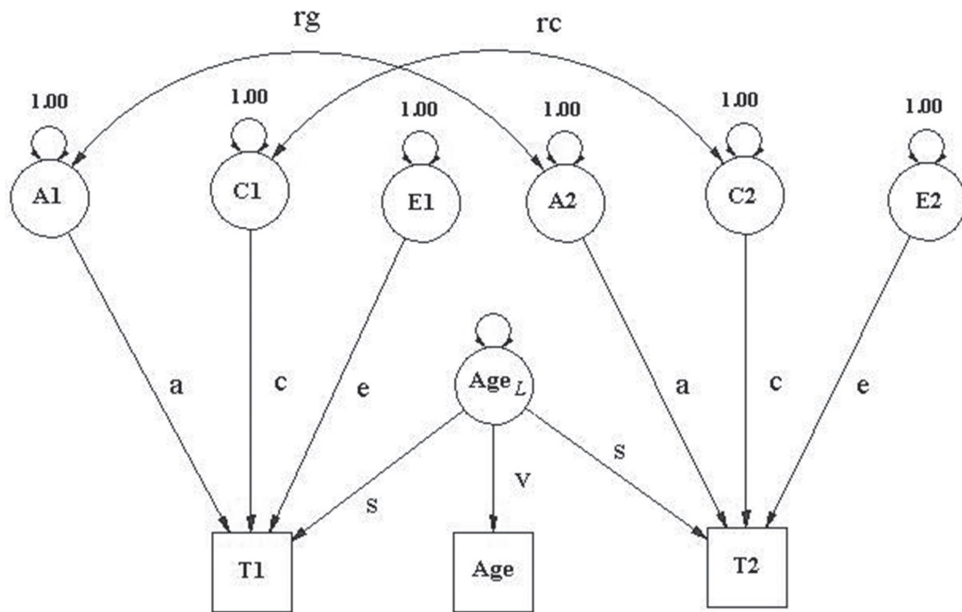


图 2 年龄作为隐变量的 ACES 模型

Fig.2 Age as a latent variable in ACES model

注: A、C、E、Age_L 分别为加性遗传方差、共同环境方差、特殊环境方差、隐变量年龄的方差, a、c、e、s 分别为其相应的通路系数, v 为年龄的标准差。T1、T2 分别为一对双生子两个成员的表型值。rg 为遗传方差的相关, MZ 为 1.0, DZ 为 0.5; rc 为共同环境方差的相关, MZ、DZ 均为 1.0。

2.2 各指标对内方差、对间方差及组内相关系数比较

校正年龄后, 同性别双生子各指标对内方差、对间方差及组内相关系数比较(表 2、3)发现, 男、女各指标的对内方差均为 $DZ > MZ$, 除男、女腰臀比、肩宽骨盆宽指数以及男性身高肩宽指数、女性身高骨盆宽指数外, 其余各指标存在显著差异 ($P < 0.05$)。男、女双生子各指标的对间差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 表明样本总体具有可比性。男、女各指标的组内相关系数均为 $r_{MZ} > r_{DZ}$, 且除男、女肩宽骨盆宽指数以及男性身高肩宽指数外, MZ 、 DZ 间差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 表明各指标 MZ 较 DZ 具有更高的相似性; 除女性身高胸围指数外, 男、女各指标的组内相关系数均为 $r_{MZ} < 2r_{DZ}$, 提示其拟合结构模型可能为 ACE 模型。

为分析性别和年龄因素对体格发育指标遗传度的影响, 将年龄作为一个独立的隐变量 (senescence or age) 引入模型以分析年龄效应 (senescence or age variation, S), 并引入性别特有的遗传变量, 拟合 ACES 模型, 构建以下 7 种模型: 模型 I 假设表型方

表 4 6~12 岁双生子各指标在最佳模型下的方差组分估计

Tab.4 Variance components estimates of each index in the best model of 6~12 years old twins

指标 Variable	模型 Model	性别 Sex	遗传效应 A (95%CI)	共同环境效应 C (95%CI)	特殊环境效应 E (95%CI)	年龄效应 S (95%CI)	校正年龄后 h^2
身高 h	ACES	女	0.15 (0.11~0.21)	0.08 (0.03~0.13)	0.01 (0.00~0.02)	0.76 (0.70~0.80)	0.63
	IV	男	0.17 (0.12~0.24)	0.09 (0.03~0.15)	0.03 (0.02~0.04)	0.71 (0.64~0.77)	0.59
胸围 C_w	ACES	女	0.46 (0.32~0.57)	0.03 (0.00~0.15)	0.05 (0.04~0.08)	0.47 (0.37~0.56)	0.84
	IV	男	0.58 (0.43~0.71)	0.03 (0.00~0.16)	0.04 (0.03~0.06)	0.35 (0.25~0.44)	0.88
身高胸围指数 I_{sc}	ACES	女	0.87 (0.81~0.90)	—	0.13 (0.09~0.19)	0.00 (0.00~0.03)	0.87
	III	男	0.55 (0.33~0.86)	0.36 (0.05~0.58)	0.09 (0.06~0.12)	0.00 (0.00~0.03)	0.55
腰围 C_w	ACES	女	0.33 (0.20~0.49)	0.30 (0.14~0.44)	0.09 (0.06~0.12)	0.29 (0.19~0.39)	0.46
	IV	男	0.50 (0.37~0.64)	0.22 (0.10~0.34)	0.06 (0.05~0.09)	0.21 (0.12~0.31)	0.64
臀围 C_h	ACES	女	0.28 (0.20~0.38)	0.14 (0.05~0.23)	0.03 (0.02~0.04)	0.55 (0.46~0.63)	0.61
	VI	男	0.36 (0.26~0.50)	0.18 (0.06~0.29)	0.04 (0.03~0.06)	0.41 (0.31~0.51)	0.61
腰臀比 WHR	ACES	女	0.38 (0.19~0.61)	0.25 (0.03~0.43)	0.22 (0.18~0.28)	0.15 (0.07~0.24)	0.44
	VI	男	0.42 (0.21~0.68)	0.28 (0.03~0.48)	0.25 (0.20~0.31)	0.05 (0.01~0.12)	0.44
肩宽 B_s	ACES	女	0.27 (0.20~0.37)	0.03 (0.00~0.11)	0.04 (0.03~0.06)	0.65 (0.57~0.71)	0.78
	VI	男	0.32 (0.23~0.42)	0.04 (0.00~0.13)	0.05 (0.04~0.07)	0.59 (0.51~0.66)	0.78
骨盆宽 B_{ci}	ACES	女	0.25 (0.17~0.36)	0.10 (0.01~0.18)	0.05 (0.04~0.07)	0.60 (0.51~0.67)	0.62
	VI	男	0.35 (0.24~0.49)	0.14 (0.01~0.25)	0.07 (0.06~0.09)	0.44 (0.35~0.53)	0.62
身高肩宽指数 I_{ss}	ACES	女	0.40 (0.20~0.64)	0.36 (0.13~0.54)	0.23 (0.19~0.30)	0.00 (0.00~0.02)	0.40
	VI	男	0.40 (0.20~0.63)	0.36 (0.13~0.54)	0.24 (0.19~0.30)	0.00 (0.00~0.04)	0.40
身高骨盆宽指数 I_{sci}	ACES	女	0.34 (0.12~0.59)	0.42 (0.19~0.60)	0.23 (0.16~0.32)	0.00 (0.00~0.05)	0.35
	IV	男	0.47 (0.28~0.68)	0.35 (0.15~0.53)	0.17 (0.12~0.23)	0.00 (0.00~0.05)	0.48
肩宽骨盆宽指数 I_{ac}	ACES	女	0.24 (0.07~0.43)	0.52 (0.34~0.67)	0.23 (0.18~0.29)	0.01 (0.00~0.06)	0.24
	VI	男	0.24 (0.07~0.43)	0.53 (0.35~0.67)	0.23 (0.18~0.29)	0.00 (0.00~0.03)	0.24

差中存在男性特异的加性遗传方差 ($D_{AM} \neq 0$)；模型 II 假设男性特异的加性遗传方差不存在 ($D_{AM} = 0$)；模型 III 在模型 II 的基础上限制女性的共同环境效应为 0 ($E_{CF} = 0$)；模型 IV 假设男女共同环境效应相等 ($E_{CF} = E_{CM}$)；模型 V 假设男女均无共同环境效应 ($E_{CF} = E_{CM} = 0$)；模型 VI 假设男女遗传度相等，但男性共同环境效应为女性的 k 倍 ($E_{CM} = kE_{CF}$)；模型 VII 在模型 VI 的基础上，限制男性共同环境效应为 0 ($E_{CM} = kE_{CF} = 0$)。对各模型比较可分析性别、年龄对各指标遗传度的影响，选择最优模型估计 A、C、E、S 对表型方差的贡献 (图 2)。

2.3 各指标的遗传度估计

运用 Mx 软件进行模型拟合结果显示，6~12 岁男、女两类双生子各指标最佳模型均为 ACES 模型，拟合优度均较好 ($P > 0.05$)，表明学龄双生子儿童身体围度、宽度等指标受遗传、环境及年龄的共同影响。身高、胸围、腰围、身高骨盆宽指数拟合后最佳模型为 IV，IV 模型男女共同环境效应相等 ($E_{CF} = E_{CM}$)；臀围、腰臀比、肩宽、骨盆宽、身高肩宽指数及肩宽骨盆宽指数拟合最佳模型为 VI，VI 模型男女遗传度相等，但男性共同环境效应为女性的 k 倍 ($E_{CM} = kE_{CF}$)；身高胸围指数拟合最佳模型为 III，III 模型限制女性的共同环境效应为 0 ($E_{CF} = 0$)。最佳模型下各指标的遗传与环境方差及置信区间 (95%CI)、校正年龄后的遗传度 (h^2) 见表 4。

可见年龄效应对身高胸围指数、腰臀比、身高肩宽指数、身高骨盆宽指数及肩宽骨盆宽指数影响 (0.00~0.15) 较小，对其余指标作用相对较大 (0.21~0.76)；加性效应对各指标均有不同程度影响 (0.15~0.87)；身高肩宽指数、身高骨盆宽指数及肩宽骨盆宽指数的共同环境效应 (0.36~0.53) 较明显，身高胸围指数男、女的共同环境效应存在明显差异；各指标特殊环境效应较小且相对接近 (0.01~0.25)。结果发现，身高、胸围、身高胸围指数、臀围、肩宽和骨盆宽的遗传度较高，易受遗传因素影响；腰臀比、身高肩宽指数、身高骨盆宽指数及肩宽骨盆宽指数遗传度相对较低更易受环境因素的影响；身高胸围指数、腰围存在一定性别差异。

3 讨 论

双生子是一类极为特殊的人群，运用双生子法来研究某些性状中遗传和环境因素相互作用的程度，最早是由 Galton (1876) 提出并应用于研究遗传与人类智力和才能的关系。百余年来，遗传度的估算从简单传统双生子法发展到较实用的双生子通径分析法，方法学上有了根本性的突破。传统双生子法是根据组内相关系数法和方差分析法来设计遗传度估算公式，如 Falconer 公式、Holzinger 公式和 Vogel 公式等，各遗传度的估算方法有各自偏差^[14]，而这些公式即使对遗传、环境影响因素的假设合理，也不能避免系统误差等问题而产生的偏差，且传统双生子研究发现在 ACDE 模型中 C、D 不能被同时估计^[15]，此方法不能充分利用双生子资料中的信息，其把握度小，标准误差大。本研究采用了双生子通径分析方法，通径分析，即隐变量分析，是一种灵活的模型拟合方法，该方法是对参数进行估计 (传统双生子法仅对参数进行计算)，结构方程模型可给出参数估计的置信区间，可定量衡量模型的好坏。隐变量分析不仅可以尽可能地过滤误差及双生子的个体差异，且

将年龄作为隐变量、对性别加以限制，通过建立最佳结构方程模型来估算各指标遗传度，可分析性别和年龄因素对表型方差的影响，充分利用双生子的方差和协方差信息，将表型方差分解的更细，估计加性遗传方差、共同环境方差、显性遗传方差和个体特殊环境方差（其中包括测量误差）组分大小，比传统双生子方法更为精准、更具有科学性^[16]。

本研究中学龄双生子儿童腰围、臀围遗传度与 Schousboe 等^[17]利用 Fisher 程序对丹麦平均年龄为 37 岁双生子人群估算的遗传度相近，但腰围的遗传度低于国内 3~6 岁学龄前双生子儿童的研究结果（女 0.72，男 0.77）^[10]，腰围、腰臀比的遗传度也均低于 Lee 等对青岛、丽水成年双生子的研究结果^[18]，提示学龄儿童腰围、腰臀比受环境因素影响较大，可通过改善后天环境因素，例如增强体育锻炼、饮食调节等预防肥胖的发生；本文学龄双生子儿童身高的遗传度与张栋^[19]对 11~19 岁青少年双生子的研究结果（0.66）接近，但高于丁一等^[20]对 5~8 岁双生子的研究结果（女 0.60，男 0.43），提示身高的遗传度可能与样本的年龄构成有关；本文骨盆宽的遗传度接近于 Park 等^[21]利用双能 X 射线骨密度仪对韩国成年双生子测量分析的遗传度（0.71）。此外，本研究各指数中身高胸围指数的遗传度较高，女童的遗传度明显高于男童，男童对共同环境因素敏感而女童则无共同环境效应，提示可通过同伴作用等共同影响促进男童的胸廓及心肺功能发育；其他指数中，身高肩宽指数、身高骨盆宽指数、肩宽骨盆宽指数的遗传度均较低，且除腰臀比外，各衍生指数几乎均无年龄效应，但共同及特殊环境效应均较明显，提示改善营养、锻炼等环境条件对于促进学龄儿童体型发育具有重要作用。

综上所述，本研究多数指标的遗传度与国内外相关研究接近，少数指标的遗传度存在一定差异性，其原因可能是多方面的。一方面，儿童青少年体格发育具有一定的性别和年龄差异，女童一般在 10 岁左右开始体格突增，男童比女童晚 1~2 年左右，突增期儿童的体格发育对环境因素的变化更为敏感。本研究中大多数儿童处于青春期前，少部分儿童已进入青春期并开始体格突增，因此，样本的性别和年龄构成可能是导致遗传度差异的主要因素之一；另一方面，本研究样本为汉族双生子儿童，均取自内蒙古呼和浩特市和包头市，两市地处中国北部高原地区，当地汉族饮食受蒙古族影响较大，蒙汉族人群长期的基因交流对汉族基因构成也有一定作用，这些因素对遗传度会产生一定影响；此外，遗传度估算方法的不同也会导致遗传度的差异^[14]。目前普遍认为，遗传度作为一个描述性统计量，易受族群、性别、年龄、营养状况、地理环境、社会文化及遗传度估算方法等因素影响^[22]。因此，今后的研究中应把这些相关因素与遗传度结合起来进行更为深入和全面的分析。

本研究以大样本量学龄双生子为研究对象，报道了学龄儿童身高、主要围度指标、宽度指标及其衍生指数的遗传度，研究结果对于深入了解学龄双生子儿童身体围度与宽度指标的生长发育特点，以及遗传与环境因素的相对效应具有一定理论意义，也可为制定儿童肥胖预防措施、改善儿童合理膳食行为、运动员选材、人体工效学等研究提供一定科学依据。

参考文献

- [1] 季成叶. 我国中小学生超重肥胖流行现状及其社会经济差异 [J]. 中国学校卫生, 2008, 29(2): 106-108
- [2] 富杰, 鄂勇, 陈德忠, 等. 达斡尔族中小學生体质发育现状及 20 多年来的变化 [J]. 人类学学报, 2015, 34(1): 87-96
- [3] 黄大元, 张惠娟, 吴国运, 等. 武陵山区苗族儿童青少年体质发育 [J]. 人类学学报, 2013, 32(2): 193-203
- [4] 中国学生体质与健康研究组. 2010 年中国学生体质与健康调研报告 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2012
- [5] Döring N, Hansson LM, Andersson ES, et al. Primary prevention of childhood obesity through counselling sessions at Swedish child health centres: design, methods and baseline sample characteristics of the Primrose cluster-randomised trial[J]. BMC Public Health, 2014, 14(1): 1-13
- [6] Silventoinen K, Kaprio J, Dunkel L, et al. Genetic and environmental influences on chest circumference during infancy: a longitudinal study of Japanese twins[J]. Paediatric and Perinatal Epidemiology, 2012, 26(6): 553-560
- [7] Mustelin L, Silventoinen K, Pietiläinen K, et al. Physical activity reduces the influence of genetic effects on BMI and waist circumference: a study in young adult twins[J]. International Journal of Obesity, 2009, 33(1): 29-36
- [8] Tse KY, Macias BR, Meyer RS, et al. Heriability of bone density: regional and gender differences in monozygotic twins[J]. Journal of Orthopaedic Research, 2009, 27(2): 150-154
- [9] 李小燕, 唐久来, 吴德, 等. 双生子法探讨儿童身高、体质量和头围的遗传度研究 [J]. 实用儿科临床杂志, 2008, 23(11): 841-843
- [10] 栾天抒, 李玉玲, 陆舜华, 等. 学龄前双生子儿童围度指标的遗传学研究 [J]. 中国儿童保健杂志, 2012, 20(11): 979-981
- [11] 席焕久, 陈昭. 人体测量方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2010
- [12] Neale MC, Boker SM, Xie G, et al. Mx: statistical modeling(6th ed)[CP]. Richmond VA: Department of Psychiatry, Virginia Institute for Psychiatric and Behavioral Genetics, Virginia Commonwealth University, 2002
- [13] Rijdsdijk FV, Sham PC. Analytic approaches to twin data using structural equation models[J]. Briefings in Bioinformatics, 2002, 3(2): 119-133
- [14] 蔡选清, 许由恩. 应用双生子法计算遗传度 [J]. 国外医学 (遗传学分册), 1983, 4: 174-178
- [15] Ozaki K, Toyoda H, Iwama N, et al. Using Non-Normal SEM to Resolve the ACDE Model in the Classical Twin Design[J]. Behavior Genetics, 2011, 41(2): 329-339
- [16] 季成叶. 现代儿童少年卫生学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2010, 153-169
- [17] Schousboe K, Visscher PM, Erbas B, et al. Twin study of genetic and environmental influences on adult body size, shape, and composition[J]. International Journal Obesity and Related Metabolic Disorders, 2004, 28(1): 39-48
- [18] Lee J, Chen L, Snieder H, et al. Heritability of obesity-related phenotypes and association with adiponectin gene polymorphisms in the Chinese National Twin Registry[J]. Annals of Human Genetics, 2010, 74(2): 146-154
- [19] 张栋. 青少年双生子体型指征相关指标遗传度研究 [D]. 山东: 青岛大学, 2010
- [20] 丁一, 李玉玲, 刘燕, 等. 童年中期双生子下肢长相关指标的遗传学分析 [J]. 中国儿童保健杂志, 2015, 23(4): 348-353
- [21] Park JH, Song YM, Sung J, et al. Genetic influence on bone mineral density in Korean twins and families: the healthy twin study[J]. Osteoporosis International, 2012, 23(4): 1343-1349
- [22] 李玉玲, 季成叶, 刘燕, 等. 学龄双生子儿童头面部特征的遗传学分析 [J]. 人类学学报, 2013, 32(1): 93-100