Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2026. № 4. С. 31–44
Lomonosov Journal of Anthropology. 2026. No 4, pp. 31–44

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АНТРОПОЛОГИЯ / BIOLOGICAL ANTHROPOLOGY
Научная статья / Research Article
https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-4-3
УДК/UDC 572.5; 7

Взаимосвязь соматических показателей с возрастом менархе по материалам лонгитудинальных обследований московских школьниц

А.К. Горбачева✉, **Т.К. Федотова**

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Российская Федерация

✉ angoria@yandex.ru

РЕЗЮМЕ

Введение. На материалах продольных исследований рассматривается связь наступления возраста менархе (Me) с достижением критического уровня соматических размеров тела.

Материалы и методы. К работе привлечены материалы лонгитудинальных обследований московских школьниц 8–17 лет 1960–69 и 1982–91 гг. Антропометрическая программа включает длину и массу тела, обхват груди, диаметры плеч и таза, жировую складку под лопаткой – и возраст менархе (Me). Численность выборок 146 и 125 человек соответственно. Для каждого индивидуального случая определялись «критические» уровни или пороговые значения соматических признаков – их величины на момент Me в процентах от дефинитивных значений признаков в 17 лет (КУ). Для критических уровней строились диаграммы рассеяния и рассчитывались корреляции с возрастом Me. Для анализа данных использована программа STATISTICA 10.

Результаты. Для выборки 1960-х гг. самый устойчивый уровень и минимальная изменчивость критического уровня у длины тела – 96,17%, стандартное отклонение SD (1,95). Критический уровень обхвата груди также имеет достаточно устойчивый уровень 92,31% SD (3,98). Критический уровень массы тела явно увеличивается с увеличением возраста Me и имеет самую большую изменчивость SD (7,41). Корреляции Спирмена возраста Me с критическим уровнем соматических признаков уменьшаются от критического уровня длины тела к критическому уровню массы тела, далее к критическому уровню обхвата груди. Для выборки 1980-х гг., как и для 1960-х гг., наиболее стабильными признаками с устойчивым критическим уровнем являются показатели скелетного развития, с более изменчивым уровнем – КУ массы тела. Критический уровень длины тела тяготеет к статусу константы с уровнем 95%. Изменчивость критического уровня массы тела SD (8,07) существенно выше, чем длины тела SD (2,11). Корреляции возраста Me с критическими уровнями соматических признаков уменьшаются от критического уровня длины тела к критическому уровню диаметров плеч и таза, далее к критическому уровню массы тела и обхвата груди и существенно падают к критическому уровню жировой складки.

Заключение. К моменту наступления Me значения скелетных размеров тела, но не массы тела, достигают некоторых критических уровней в процентах от дефинитивной величины размеров. В первую очередь это относится к длине тела, для которой КУ составляет 95–96%. Этот уровень не изменяется в историческом времени, по крайней мере, на интервале 1960-е–1980-е гг. Корреляции критических уровней размеров тела с возрастом Me непостоянны в историческом времени. Длина тела и ее динамика являются неким системообразующим фактором в пубертате и информативным биомаркером.

Ключевые слова: биологическая антропология; лонгитудинальные исследования; пубертат; возраст менархе; скелетные размеры тела; масса тела; критические уровни размеров в возрасте менархе

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова.

Для цитирования: *Горбачева А.К., Федотова Т.К.* Взаимосвязь соматических показателей с возрастом менархе по материалам лонгитудинальных обследований московских школьниц // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2026. № 4. С. 31–44. https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-4-3

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

Relationship between somatic dimensions and age at menarche on base of longitudinal studies of Moscow schoolgirls

Anna K. Gorbacheva ✉, **Tatiana K. Fedotova**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ angoria@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The associations of the age at menarche and the critical levels of somatic dimensions are analysed on base of the longitudinal studies

Materials and methods. The study embraces the material of longitudinal examinations of Moscow schoolgirls aged 8–17 years in 1960–1969 and 1982–1991. Anthropometric program includes height, weight, chest girth, acromion and pelvic diameters, subscapular skinfold – and age at menarche. The number of samples is 146 and 125 persons. Critical/threshold levels (CL) of somatic traits at the age of menarche, as the percent of the definite value of traits were calculated for each person. Scatter plots for critical levels were created and correlations of critical level with menarche were calculated. The data analysis was held using STATISTICA 10.

Results. The sample of 1960s has the stable level and minimal variability of critical level of height – 96,17%, standard deviation (SD) 1,95. Critical level of chest girth also has more or less stable level 92,31% (SD 3,98). Critical level of weight apparently increases with the increase of Me age and has the highest SD variability (7,41). Spearman correlations of Me with CL of somatic traits decrease from critical level of height to critical level of weight and further on to critical level of chest girth. The sample of 1980s, as well as of 1960s, demonstrate the most stable level of critical levels for parameters of skeletal development, and the most variable level for critical level of weight. critical level of height tends towards constant status with the level 95%. Variability of critical level of weight (SD 8,07) is much higher than critical level of height (SD 2,11). Correlations of Me with critical levels of somatic traits decrease from critical level of height to critical level of acromion and pelvic diameters and further on to critical level of weight and chest girth and significantly fall to skinfold.

Conclusion. The values of skeletal dimensions, but not weight, reach some critical levels up to the age of Me. This applies first of all to height, which CL is 95–96%. This level is temporally stable, at least through the time interval 1960s-1980s. Correlations of critical levels of somatic dimensions with Me are not constant through historical time. Body height and its dynamics are some system-forming factor in puberty and informative biomarker.

Keywords: biological anthropology; longitudinal studies; puberty; menarche age; skeletal dimensions; weight; critical levels of dimensions at menarche age

Acknowledgements. The study was conducted under the state assignment of Lomonosov Moscow State University.

For citation: Gorbacheva A.K., Fedotova T.K. Relationship between somatic dimensions and age at menarche on base of longitudinal studies of Moscow schoolgirls. *Lomonosov Journal of Anthropology*. 2026 (4), pp. 31–44. https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-26-4-3

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

Введение

В «иерархии» показателей биологического возраста (соматическое развитие, половое развитие, зубной возраст, скелетный возраст) лидирующее место вне сомнения занимает скелетный (костный) возраст – наиболее универсальный, информативный на протяжении всего целостного онтогенеза, используемый в отечественной антропологии не только как индикатор темпов онтогенеза, но и как мера адаптации популяции к среде (Павловский, 1987; Бацевич, 2022).

Морфологические критерии биологического возраста, в частности, скелетное и половое развитие, в меньшей степени скелетное и соматическое развитие, достаточно тесно связаны и в некоторые периоды взаимозаменяемы (Хрисанфова, 1999). Ведущее значение для пубертатного периода онтогенеза имеет состояние гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы, параметры которой скоррелированы с большим числом морфологических и функциональных признаков, в той или иной мере гормонально зависимых, в их числе скелетное, половое, в меньшей степени соматическое развитие (Хрисанфова, 1999). Меньшая валидность соматических показателей как маркеров биологического возраста отчасти связана с высокой вариабельностью системы соматических размеров. Однако в этом контексте нельзя не отметить, что соматические признаки весьма гетерогенны по своему биологическому содержанию.

Так, масса тела как производное всех трех компонентов сомы и обобщенный показатель обменных процессов, на 90% может определяться образом жизни и структурой питания (Silventoinen et al., 2007; Bondareva et al., 2019). По этой причине масса тела не может быть надежным критерием биологического возраста и с этим обстоятельством связано несовершенство гипотезы Роуз Фриш (Frisch, Revelle, 1970) о критической массе тела в возрасте менархе, опровергаемой целым рядом эмпирических фактов (Балахонова, 1991; Учакина с соавт., 2004; van't Hof, Roede, 1977; Scott, Johnston, 1982). Даже когда в узко-локальных исследованиях, например, девочек 12-15 лет из итальянской провинции Порденон (Pordenone) (Canterin et al., 1977) в 1970-х гг., указывается известное единообразие массы тела в возрасте наступления менархе (здесь: 49,2 кг), сама цифра отличается от уровня критической массы тела по Фриш (от 45 кг), что не подтверждает роль массы тела как видового универсального триггера событий полового созревания, но является следствием минимальной морфофункциональной изменчивости генетически гомогенной этнической группы в условиях средовой тождественности. Аналогичный пример: в Приамурье и Якутии масса тела в возрасте менархе у девочек пришлого населения (европеоидного) примерно 47 кг, коренного населения (якуты Якутии и нанайцы Приамурья) около 40 кг (Учакина с соавт., 2004). Еще пример: по материалам обследования детского и юношеского населения бельгийской Фландрии, где на протяжении 50 лет второй половины 20 века регистрируется стабильность возраста менархе (13 лет) в сочетании с достоверным подекадным увеличением медианных значений массы тела (Roelants et al., 2009). Масса тела, тем не менее, является главным показателем биологического возраста в грудном периоде онтогенеза; динамика массы тела в младенческом периоде «программирует» ритмо-динамику восходящего онтогенеза и коррелирует в первую очередь со скелетным возрастом в процессе роста (Смирнова, Соловьева, 1986; Euser et al., 2005; Wells et al., 2005; Dunger et al., 2006; Ong et al., 2006; Wells et al., 2007; Kuzawa et al., 2012; Tandon et al., 2012).

Напротив, длина тела, показатель развития скелетного компонента сомы, в известной степени аналог скелетного возраста, по результатам близнецовых исследований регулируется на 90% и более генетическими факторами (Никитюк, 1978; Алексанянц, Маякова, 2008, Silventoinen et al., 2008; Karlsson et al., 2022), является наиболее надежным соматическим маркером биологического возраста, о чем свидетельствует значимость показателя пика скорости роста длины тела (ПСР), информативность которого велика и как триггера возраста менархе, и как критерия секулярных соматических трендов, и как маркера качества среды в целом (Tanner, 1962; Hoshi, Kouchi, 1981; Onat, 1997; Aksglaede et al., 2008; Durda-Masny et al., 2019; Tsutsui et al., 2022; Higuchi et al., 2023; Sabinkar et al., 2023; Chun et al., 2024; Gerber, Pienaar, 2024; Kozieł et al., 2024; Retzepis et al., 2024). Именно возраст ПСР (но не возраст пика скорости массы тела, или менархе, или уровня достижения 4й стадии развития вторичных по-

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

ловых признаков) дифференцирует выборку по уровню соматической зрелости – средним весоростовым показателям (Lindgren, 1978). Соотношение между показателями скелетной и половой зрелости и возрастом ПСР отчетливо дифференцирует выборку по темпам созревания (позднее созревание в случае запаздывающего ПСР) для подростков обоего пола (Hagg, Taranger, 1992).

Связь соматического показателя пик скорости роста со скелетным возрастом как индексом биологической зрелости, отражающим биохимическую структуру ткани, позволяет заключить, что два разных по биологическому содержанию индикатора контролируются однотипными биологическими механизмами под эгидой генетических факторов (Widén et al., 2010; Dvornyk, Waqar-ul-Haq, 2012; Gasser et al., 2013; Molinari et al., 2013; Witchel, 2016; Bradfield et al., 2024; Tsinopoulou et al., 2025). По материалам продольного исследования в Цюрихе наступление менархе связано с достижением 95,3% (SD 1,7) уровня дефинитивной длины тела (Largo, Prader, 1987). Триггером или пусковым механизмом возраста менархе в ауксологической литературе традиционно обозначают некий порог физического развития, как-то «критический вес» у Фриш, или уровень длины тела от дефинитивной, как показано Ларго и Прадер (Largo, Prader, 1987). «Триггер» не является причиной, а возраст менархе следствием; еще раз повторим сказанное выше — ведущее значение для пубертатного периода онтогенеза имеет состояние гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы, параметры которой скоррелированы с большим числом морфологических и функциональных признаков, в той или иной мере гормонально зависимых. Но достижение обсуждаемых пороговых критических значений соматических признаков предшествует наступлению менархе, предвосхищает наступление менархе и именно поэтому используется термин «триггер».

Целью собственного исследования является оценка/проверка гипотезы о достижении некоторого критического уровня соматических размеров на момент наступления возрасте менархе, иначе оценка степени информативности соматических показателей как маркеров темпов морфофизиологического развития в пубертатном периоде, на материалах продольных исследований.

Материалы и методы

К работе привлечены данные двух лонгитудинальных обследований московских школьниц 8–17 лет (автор Ю.А. Ямпольская) 1960-69 и 1982-91 гг., задействованных ранее в совместной монографии (Дерябин с соавт., 2006). В выборке 1960-х гг. присутствуют 3 соматических признака – длина и масса тела, обхват груди – и возраст менархе (Me); в выборке 1980-х гг. помимо перечисленных признаков присутствуют диаметры плеч и таза, а также жировая складка под лопаткой. Измерения проводились ежегодно в одно и то же календарное время. Численность выборок 146 и 125 человек.

Для каждого индивидуального случая определялись «критические» (пороговые) уровни (КУ) соматических признаков – их величины на момент возраста менархе в процентах от дефинитивных значений признаков в 17 лет. Для полученных КУ строились диаграммы рассеяния и рассчитывались коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (непараметрический критерий, не требующий нормальности распределения) с возрастом Me. Для анализа данных использована программа STATISTICA 10.

Результаты

На рисунках 1–3 представлены гистограммы распределения «критических» уровней (КУ) длины и массы тела и обхвата груди на материалах выборки 1960-х гг. обследования; в таблице 1 – статистические параметры КУ для трех размеров. Наиболее устойчивый уровень и минимальная изменчивость КУ отмечены для длины тела – 96,17% (SD 1,95) в сочетании с большим эксцессом (3,37). КУ обхвата груди также достаточно устойчивый признак – 92,31% (SD 3,98). Наименьшая устойчивость и самая большая изменчивость выявлена у показателя КУ массы тела (SD 7,41). Как показано на диаграммах рассеяния (рис. 4), КУ длины тела является почти константой с уровнем около 96% окончательной длины тела, в то время как КУ массы тела повышается с увеличением возраста менархе. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена возраста менархе с КУ соматических признаков (табл. 2) уменьшаются: от 0,44 и 0,40 для длины и массы тела соответственно, до 0,17 для обхвата груди.

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

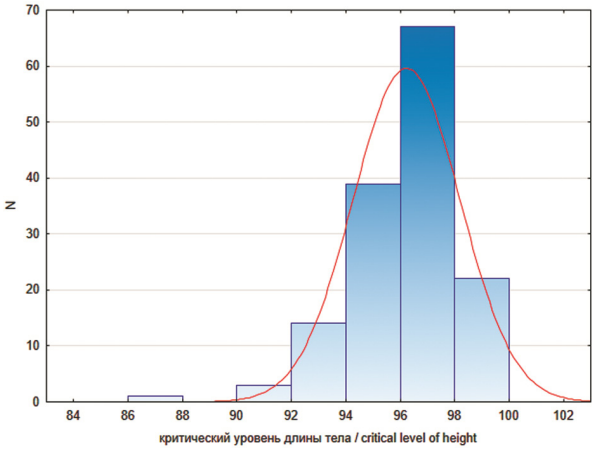


Рисунок 1. Гистограмма распределения критических уровней длины тела московских школьниц по материалам выборки 1960-х гг.
Figure 1. Distribution histogram of critical levels of height of Moscow schoolgirls based on a study of the 1960's

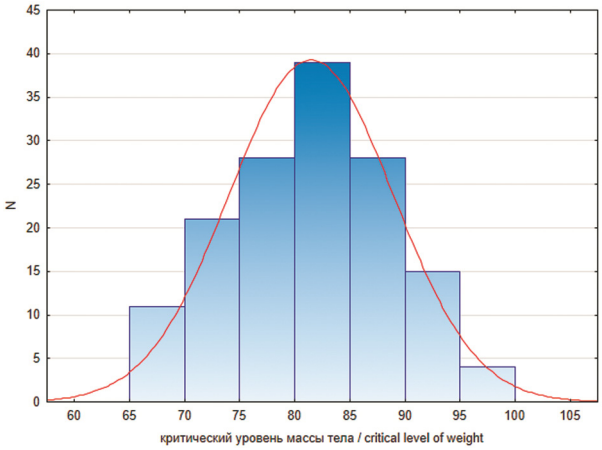


Рисунок 2. Гистограмма распределения критических уровней массы тела девочек по материалам выборки 1960-х гг.
Figure 2. Distribution histogram of critical levels of weight of Moscow schoolgirls based on a study of the 1960's

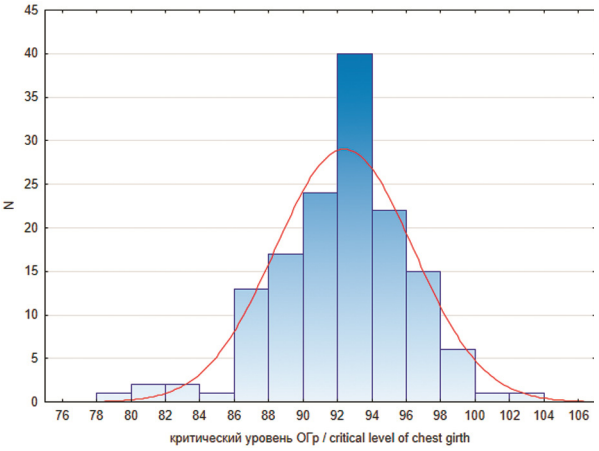


Рисунок 3. Гистограмма распределения критических уровней окружности груди девочек по материалам выборки 1960-х гг.
Figure 3. Distribution histogram of critical levels of chest girth of Moscow schoolgirls based on a study of the 1960's

Диаграммы рассеяния «критических» уровней длины и массы тела, обхвата груди, диаметров плеч и таза для выборки 1980-х гг. обследования (рис. 5) свидетельствуют, что соотносительное расположение показателей повторяет картину, полученную для выборки 1960-х гг. Наиболее устойчивыми «критическими» уровнями обладают показатели скелетного развития (длина тела и диаметры), наиболее изменчивым – КУ массы тела. Критический уровень длины тела почти совпадает по уровню с показателем 1960-х гг., что позволяет с осторожностью говорить о КУ длины тела как о некоторой константе. Статистические параметры критических уровней рассматриваемых признаков приведены в таблице 1. Очень значительная вариабельность КУ жировой складки (SD 25,71) объясняет абсолютную неинформативность показателя в контексте рассматриваемой проблемы и причину его отсутствия на диаграмме рассеяния. Уровень и направление связи величины жировой складки с хронологическим возрастом слишком неопределенны, чтобы иметь дифференцирующее значение в пубертате. Так, в ряде случаев значения признака на момент Me могут превышать таковые в возрасте 17 лет, например, для одной из обследованных девочек в 13 лет (возраст менархе) жировая складка имеет значение 12,2 мм, а в 17 лет – 7,4 мм, что приводит к величине КУ в 165%. Другой крайний вариант: величина жировой складки у испытуемой на момент появления Me составила 2,8 мм, а в 17 лет достигла 7,4 мм, КУ соответственно составил 38%. Изменчивость КУ массы тела (SD 8,07) существенно выше, чем длины тела (SD 2,11). Корреляции Me с КУ соматических признаков (табл. 2) уменьшаются: от 0,60 для длины тела к 0,53 и 0,56 для диаметров плеч и таза соответственно, далее к 0,45 и 0,46 для массы и обхвата груди и существенно падают до 0,16 для жировой складки под лопаткой. Абсолютные значения массы тела в возрасте менархе для выборок 1960-х гг. и 1980-х гг. также обнаруживают значительную изменчивость: 46,60 кг (SD 6,68) в первом случае, 47,13 кг (SD 7,90) во втором; т.е. разница между минимальными и максимальными индивидуальными значениями массы тела на момент наступления менархе очень значительна.

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

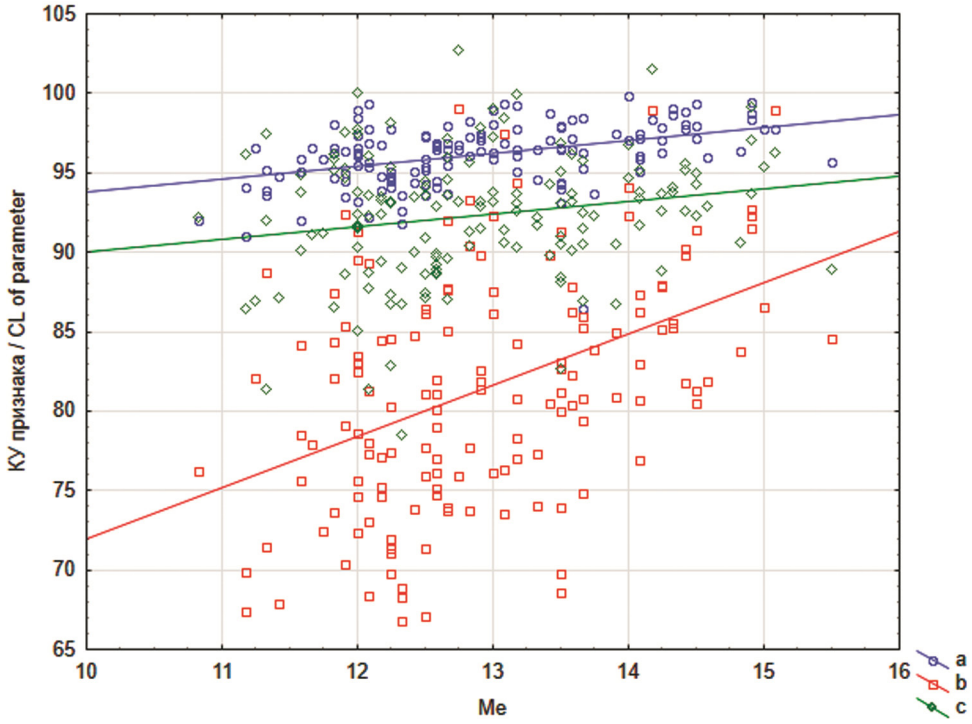


Рисунок 4. Диаграмма рассеяния значений критических уровней размеров тела московских школьниц по материалам выборки 1960-х гг. Ось X – возраст Me, ось Y – значения критических уровней (a – длины тела, b – массы тела, c – окружности груди)
Figure 4. Scatterplot of critical levels of body dimensions of Moscow based on a study of the 1960's. Axis X – age at menarche, axis Y – critical levels values (a – of height, b – of weight, c – of chest girth)

Таблица 1. Статистические параметры критических уровней размеров тела московских школьниц 1960-х и 1980-х гг. обследования
Table 1. Statistic parameters of critical levels of body dimensions of Moscow schoolgirls of the 1960's and 1980's

1960-1969 гг.							
Признак / Parameter	**N**	**M**	**Min**	**Max**	**SD**	**g1 (асимметрия) / g1 (skewness)**	**g2 (эксцесс) / g2 (kurtosis)**
Критический уровень длины тела Critical level of height	146	96,17	86,46	99,82	1,95	-1,10	3,37
Критический уровень массы тела Critical level of weight	146	81,37	66,75	99,09	7,41	0,13	-0,51
Критический уровень окружности груди Critical level of chest girth	145	92,31	78,49	102,70	3,98	-0,46	0,95
1982-1991 гг.							
Признак/Parameter	**N**	**M**	**Min**	**Max**	**SD**	**g1**	**g2**
Критический уровень длины тела Critical level of height	125	95,62	88,57	99,93	2,11	-0,33	0,27
Критический уровень массы тела Critical level of weight	125	82,02	64,87	100,03	8,07	0,04	-0,75
Критический уровень окружности груди Critical level of chest girth	121	90,33	77,23	99,38	4,78	-0,28	-0,22
Критический уровень диаметра плеч Critical level of acromion diametr	121	93,65	85,48	99,51	2,77	-0,29	0,15
Критический уровень диаметра таза Critical level of pelvic diameter	124	90,88	80,13	99,55	3,95	-0,18	-0,19
Критический уровень жировой складки под лопаткой Critical level of subscapular skinfold	117	92,58	38,30	165,55	25,71	0,35	0,32

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

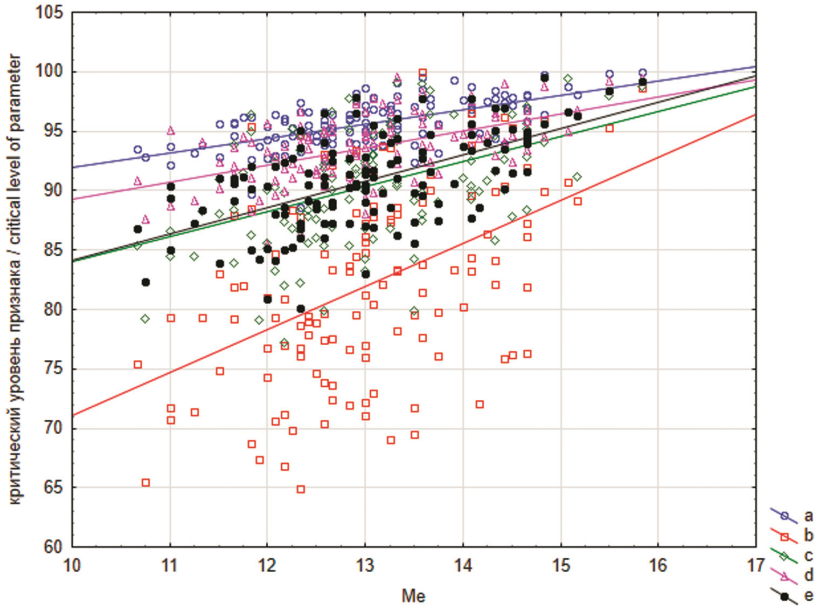


Рисунок 5. Диаграмма рассеяния значений критических уровней размеров тела московских школьниц по материалам выборки 1980-х гг. Ось X – возраст Me, ось Y – значения критических уровней (a – длины тела, b – массы тела, c – окружности груди, d – диаметра плеч, e – диаметра таза)

Figure 5. Scatterplot of critical levels of body dimensions of Moscow schoolgirls based on a study of the 1980's. Axis X – age at menarche, axis Y – critical levels values (a – of height, b – of weight, c – of chest girth, d – of acromion diameter, e – of pelvic diameter)

Таблица 2. Корреляции (по Спирмену) критических уровней размеров тела с возрастом Me московских школьниц 1960-х и 1980-х гг. обследования
Table 2. Correlations (Spearman's rank correlation coefficients) between critical levels of body dimensions and age at menarche of Moscow schoolgirls of the 1960's and 1980's

1960-1969 гг.				
Показатель / Parameter	***N***	**R**	**t(N-2) (критический уровень для N-2 степеней свободы) t(N-2) (critical level to N-2 degrees of freedom)**	**P**
Критический уровень длины тела Critical level of height	146	0,44	5,93	0,00
Критический уровень массы тела Critical level of weight	146	0,40	5,23	0,00
Критический уровень окружности груди Critical level of chest girth	145	0,17	2,06	0,04
1982-1991 гг.				
Показатель / Parameter	**N**	**R**	**t(N-2) (критический уровень для N-2 степеней свободы) t(N-2) (critical level to N-2 degrees of freedom)**	**P**
Критический уровень длины тела Critical level of height	125	0,60	8,37	0,00
Критический уровень массы тела Critical level of weight	125	0,45	5,60	0,00
Критический уровень окружности груди Critical level of chest girth	121	0,46	5,58	0,00
Критический уровень диаметра плеч Critical level of acromion diametr	121	0,53	6,84	0,00
Критический уровень диаметра таза Critical level of pelvic diameter	124	0,56	7,56	0,00
Критический уровень жировой складки под лопаткой Critical level of subscapular skinfold	117	0,16	1,71	0,09

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

Обсуждение

Результаты настоящего исследования свидетельствуют о закономерных корреляциях соматической и половой зрелости в перипубертатном периоде, о неслучайных связях динамики скелетных размеров с Ме и особом статусе длины тела в процессах морфофизиологической дифференцировки в подростковом возрасте; значительно меньшей, сравнительно со скелетными размерами, ассоциированности с Ме показателей, характеризующих поперечное развитие тела и жироотложение – массы тела и особенно жировой складки под лопаткой.

Следует отметить, что результаты анализа соотношений соматической и половой зрелости в выборках 1960-х гг. и 1980-х гг. обследования достаточно похожи, в частности, фиксируется разный «вклад» в половое созревание показателей скелетного развития и показателей поперечного развития тела, но полного совпадения не наблюдается. Так, в 1960-х гг. относительно наибольшая связь Ме с КУ длины тела составляет 0,44, в 1980-х гг. она выше – 0,60; корреляция с КУ массы тела близка по уровню в 1980-х гг. и 1960-х гг. (0,45 и 0,40 соответственно); связь с КУ обхвата груди существенно выше в 1980-х гг., чем в 1960-х гг. (0,46 против 0,17). Это иллюстрирует тот факт, что теснота ассоциаций показателей соматической и половой зрелости не является константой и имеет, как минимум, хронологические различия. Эффект снижения тесноты связи между сроками менархе и динамикой компонентов тела и формированием дефинитивных размеров тела (или «ослабления» биологических связей между процессами роста и созревания организма человека) обсуждается, в частности, на модели московских школьниц по данным второй половины 20 столетия (Ямпольская, 2000). Напомним, что лонгитудинальное исследование 1960-х гг. описывает ростовые процессы манифестных акселератов, характеризуемых тотальной акселерацией всех размеров тела, в то время как лонгитудинальное исследование 1980-х гг. проводилось в период стабилизации ростовых процессов детей Москвы на фоне усиления уровня антропогенной нагрузки в мегаполисе (значительный рост промышленного производства, значительное увеличение численности населения с 6 до 8 млн., масштабное жилищное строительство с увеличением нагрузки на городскую экологию и инфраструктуру, транспортный «коллапс» и техногенные загрязнения среды). Увеличение соизменчивости физиологических и морфологических переменных при изменении экологической нагрузки и возрастании напряжения механизмов адаптации организма при усилении стрессовой нагрузки соответствует положениям корреляционной адаптометрии (Смирнова, 2000; Гудкова, 2017; Горбачева с соавт., 2025). В нашем исследовании эти секулярные различия проявляются, в частности, в показателях изменчивости КУ длины тела в 1960-х гг. – большим эксцессом и левосторонней асимметрией — на фоне близкого к нормальному распределению КУ длины тела в 1980-х гг. Возможно указанная специфика изменчивости КУ длины тела определяет более умеренный уровень ее корреляций с возрастом менархе в 1960-х гг. Тем не менее уровень КУ длины тела остается наиболее стабильным по сравнению с другими исследованными показателями (обхват груди, диаметры плеч и таза, масса тела) в период 1960-е–1980-е гг., составляя примерно 95 – 96%. Это дополняет представления ауксологии о значимости показателя длины тела как биомаркера, в частности, пика скорости роста длины тела (ПСР) и его ассоциированности с классическими показателями биологического возраста – скелетным возрастом и возрастом менархе (Demirjian et al, 1985). По результатам факторного анализа ПСР является системообразующим фактором в пубертатном возрасте (Федотова, Горбачева, 2026). Также в нашем исследовании выявлен устойчивый уровень КУ ширины таза (90,88%, SD 3,95) и его значительная корреляция с возрастом менархе (0,56; P=0,00). Ширина таза это один из признаков, ассоциированных с пубертатом. В ходе полового созревания девушек проявляется следующая последовательность изменений: увеличение ширины таза – округление бедер (увеличение обхвата бедер) – появление молочных желез – оволосение лобка – оволосение в подмышечных впадинах – менархе. Рост таза в онтогенезе имеет достаточно автономную регуляцию, только отчасти связанную с регуляцией скелетного роста в целом. Так, корреляции размеров таза девочек с другими скелетными размерами, в частности, длиной тела, имеют высокие значения вплоть до 7 лет, ослабляются в интервале 7–13, далее не выявляются совсем (Блуштейн,

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

1967); по результатам факторного анализа в интервале 8–17 лет динамика роста ширины таза автономна и описывается отдельным фактором (Дерябин, Федотова, 2002).

В то же время уровень связи критического уровня массы тела с возрастом менархе значимый, но более умеренный (0,40–0,45; P=0,00 в обоих случаях), что противоречит гипотезе Фриш (Frisch, Revelle, 1970) о критической массе тела как триггера менархе. Связь Me с величиной абсолютной массы тела в возрасте Me для выборки 1960-х гг. практически отсутствует (R= -0,04). Отметим, что Роуз Фриш предложила свою гипотезу, основываясь на обследовании подростков 1960-х гг, т.е. тех самых манифестных акселератов Европы, характеризовавшихся тотальной акселерацией размеров тела. Вероятно, в тот период времени масса тела имела несколько иное биологическое содержание и в меньшей степени зависела от дистрессового уровня антропогенной нагрузки, как это имеет место в современном мире. Масса тела не может рассматриваться как исключительный маркер возраста менархе также по причине существенно большей изменчивости сравнительно с длиной тела, в том числе и показателя КУ – SD 7,41-8,07 для выборок 1960-х гг. и 1980-х гг. соответственно, против 1,95 и 2,11 для длины тела. Абсолютные значения массы тела в возрасте менархе для выборок 1960-х гг. и 1980-х гг. обнаруживают значительную изменчивость (см. Результаты) и разница между минимальными и максимальными индивидуальными значениями массы тела на момент наступления менархе очень значительна. Критика гипотезы Фриш не отрицает значения жироотложения (важной составляющей массы тела) как главного энергоресурса репродуктивной функции. Связь антропометрических размеров, ассоциированных с массой тела (жировая складка под лопаткой, процент жировой массы тела, обхват талии) с возрастом менархе подтверждена научными исследованиями (Wells, 2010; Bruserud et al., 2025), хотя масса тела и не может претендовать на роль основного триггера возраста менархе.

По причине непостоянства во времени уровня ассоциаций соматической и половой зрелости проблема этих корреляций не имеет окончательного решения и сохраняет актуальность. Именно комплексный подход с привлечением разных систем признаков и учетом целостности биологического статуса человека удовлетворяет критерию наиболее точной оценки биологического возраста. Следует отметить, что в пубертатном периоде интеграция разных систем признаков неизбежно усиливается, поскольку широкий спектр морфологических и функциональных признаков, в той или иной мере гормонально зависимых, в этом периоде онтогенеза связан с состоянием гипоталамо–гипофизарно–гонадной системы (Хрисанфова, 1999). Значительная межиндивидуальная и межгрупповая изменчивость соматических признаков снижает их информативность как показателей биологического возраста, не удовлетворяя критерию тождества дефинитивного статуса. Однако помимо абсолютных значений соматических признаков есть их динамические характеристики, в частности, для длины тела – это пик скорости роста (уже упоминавшийся выше) и критический (пороговый) уровень размера на момент Me в процентах от дефинитивного статуса, рассматриваемый в настоящей работе. Оба показателя имеют высокие корреляции с возрастом менархе – классическим и общепризнанным критерием биологического возраста, что выделяет длину тела из спектра параметров общего соматического развития. В то же время определение дефинитивной (окончательной) величины массы тела сильно затруднено в силу не просто значительной межиндивидуальной и межгрупповой изменчивости, но даже и индивидуальной, учитывая многократную смену образа жизни (питание, мобильность, проч.) и неизбежную, иногда резкую, смену экологических и социально–культурных условий среды, что в первую очередь и отражается на массе тела. Критерию тождества дефинитивного статуса удовлетворяют немногие признаки, имеющие возрастную динамику, в первую очередь критерии костного и зубного возраста и отчасти полового развития, относительно мало (сравнительно с признаками соматического развития) варьирующие внутри популяции и между популяциями (Хрисанфова, 1999, с.148).

Работа в целом подтверждает информативность соматического уровня изменчивости как маркера темпов морфофизиологического развития в пубертатном периоде. Классическая иллюстрация информативности сомы как отражения уровня стрессоустойчивости организма и давления среды представлена в исследовании отечественных антропологов с привлечением результатов антропометрического обследования

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

47 групп детского населения мужского пола 3–17 лет общей численностью 35 тысяч человек; при оценке соматической нормы у детей использовались соотношения величин обхватов груди и талии (Куршакова с соавт., 1994).

Упоминавшийся выше возраст пика скорости роста длины тела как возможный соматический биомаркер, имеет корреляции с возрастом менархе уровня 0,68-0,72, полученные по материалам лонгитудинальных исследований 1960-х гг. и 1980-х гг. (Федотова, Горбачева, 2026). Коэффициент корреляции КУ длины тела в возрасте менархе с самим возрастом менархе в настоящей работе достигает 0,60 (в частности,для выборки 1980-х гг.), что также с осторожностью позволяет рассматривать КУ длины тела как биомаркер; в то же время остальные анализируемые в работе корреляции имеют более умеренный уровень, не превышающий отметки 0,5. Таким образом, динамика длины тела, описываемая показателями ПСР и КУ, имеет очевидно особый статус в пубертате как некий системообразующий фактор, что закономерно, учитывая высокую наследственную обусловленность длины тела в целом. Так, длина тела считается столь надежным биомаркером, что на ее основе строится определение зиготности близнецов в случае отсутствия этой информации в материале (Karlsson et al., 2022). Вклад наследственного фактора в длину тела увеличивается на интервале от новорожденности до 17 лет по материалам семейных исследований (родители–дети) от уровня 0,46 до уровня 0,76; по материалам близнецовых исследований остается константой 0,70 на всем рассматриваемом интервале (Dewau et al., 2025).

Заключение

К моменту наступления менархе значения скелетных размеров тела **–** длины и диаметров плеч и таза **–** но не массы тела **–** достигают некоторых критических уровней в процентах от дефинитивной величины размеров. В первую очередь это относится к длине тела, для которой критический уровень составляет 95-96%. Этот уровень не изменяется на протяжении 1960-е–1980-е гг., что совпадает с результатами лонгитудинального исследования в Швейцарии в 1987 году (95,3%); хотя величина ассоциаций показателей полового и соматического развития не является константой во времени. Корреляция критического уровня длины тела с возрастом менархе для поколения манифестных акселератов 1960-х гг. обследования составляет 0,44, для поколения 1980-х гг. на фоне стабилизации секулярных процессов и увеличения уровня антропогенной нагрузки в мегаполисе – 0,60. Невысокий уровень корреляций для выборки 1960-х гг. может быть связан с особенностями распределения длины тела – большой эксцесс в сочетании с левосторонней асимметрией. Таким образом, длина тела и ее динамика являются особым системообразующим фактором в пубертате и информативным биомаркером.

Библиография

Алексанянц Г.Д., Маякова О.В. Генетические и средовые детерминанты, определяющие прогнозирование длины тела // Фундаментальные исследования. 2008. № 11. С. 91–93.

Балахонова Е.И. Изменчивость соматических параметров у девочек в группах разного биологического возраста в перипубертатный период: Автореф. дисс. канд. биол. наук, 1991, 20 с.

Бацевич В.А. Темпы возрастной изменчивости скелета в современных популяциях человека (антропоэкологические аспекты): Автореф. дисс. ... докт. биол. наук, 2022, 46 с.

Блуштейн Л.Я. Возрастные особенности роста таза // Избранные вопросы акушерства и гинекологии. 1967. Т.1. С. 224–229.

Горбачева А.К., Калюжный Е.А., Федотова Т.К. Новые материалы к проблеме эффективности корреляционного анализа в современной антропоэкологии // Вестник антропологии. 2025. № 3. С. 347-361.

Гудкова Л. К. Корреляционный анализ и его значение в экологической антропологии. Часть II // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2017. № 4. С. 4–16.

Дерябин В.Е., Федотова Т.К. Стабильность структуры межиндивидуальных распределений размеров тела у детей в период роста. М.: ВИНИТИ № 1686- В-2002. 2002. 217 с.

Дерябин В.Е., Федотова Т.К., Ямпольская Ю.А. Устойчивость морфологической структуры внутригрупповой изменчивости детей школьного возраста. М.: ВИНИТИ № 50–В2006. 2006. 303 с.

Куршакова Ю.С., Дунаевская Т.Н., Смирнова Н.С., Шугаева Г.Ш. Исследование доли соматической нормы у детей от 3х до 17 лет с целью выявления периодов онтогенеза с повышенной чувствительностью к воздействию среды // Биология, экология, биотехнология и почвоведение. М.: Изд-во Московского университета, 1994. С. 32–41.

Никитюк Б.А. Факторы роста и морфофункционального созревания организма. М.: Наука. 1978. 144 с.

Павловский О.М. Биологический возраст человека. М: Изд-во Московского университета. 1987. 280 с.

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

Смирнова Е.В. Моделирование адаптации к экстремальным условиям, эффект группового стресса и корреляционная адаптометрия: Дисс. ... докт. физ.-мат. наук, 2000, 275 с.

Смирнова Н.С., Соловьева В.С. Биологический возраст человека. М.: Знание. 1986. 64 с.

Учакина Р.В., Филиппова В.В., Соловьева М.И., Козлов В.К. Физическое и половое развитие девочек, проживающих в различных экологических зонах Приамурья и Якутии // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2004. Вып.19. с. 42–46.

Федотова Т.К., Горбачева А.К. Соотношение соматической и половой зрелости в перипубертатном возрасте (на примере лонгитудинального обследования московских школьниц) // Вестник антропологии. 2026. № 1. С. 360–375.

Хрисанфова Е.Н. Возрастная антропология // Антропология. Учебник. 2-е изд. М.: Изд-во Московского университета, 1999. С. 126–174.

Ямпольская Ю.А. Физическое развитие школьников — жителей крупного мегаполиса в последние десятилетия: состояние, тенденции, прогноз, методика скрининг-оценки: Дисс. докт. биол. наук, 2000, 76 с.

Aksglaede L., Olsen L.W., Sorensen T.I., Juul A. Forty years trends in timing of pubertal growth spurt in 157, 000 Danish school children. *PLoS One*, 2008, 3, pp. 1–8.

Bondareva E.A., Popova E.V., Ketlerova E.S., Kodaneva L.N., Otgon G. Physical activity attenuates the effect of the fto t/a polymorphism on obesity-related phenotypes in adult russian males. *Hum. Sport Med*., 2019, 19 (3), pp. 119–124. https://doi.org/10.14529/hsm190315

Bradfield J.P., Kember R.L., Ulrich A., Balkhiyarova Z., Alyass A. et al. Trans-ancestral genome-wide association study of longitudinal pubertal height growth and shared heritability with adult health outcomes. *Genome Biol*., 2024, 25 (1), pp. 1–19. https://doi.org/10.1186/s13059-023-03136-z

Bruserud I.S., Roelants M., Forthun I.H., Viste K., Bjerknes R. et al. Associations between weight-related measurements and pubertal markers in Norwegian girls: the Bergen growth study 2. *J. Endocr. Soc*., 2025, 9 (8), pp. 1–9. https://doi.org/10.1210/jendso/bvaf100

Canterin A.A., Donadon V., Menin A. Body weight, body height and menarche. Epidemiological study, in the Province of Pordenone, of the school population from 12 to 15 years old (12,000). *Arch. Sci. Med. (Torino)*, 1977, 134 (2), pp. 211–218.

Chun D., Kim S.J., Kim Y.H., Suh J., Kim J. The estimation of pubertal growth spurt parameters using the superimposition by translation and rotation model in Korean children and adolescents: a longitudinal cohort study. *Front. Pediatr*., 2024, 12, pp. 1–10. https://doi.org/10.3389/fped.2024.1372013

Demirjian A., Buschang P.H., Tanguay R., Patterson D.K. Interrelationships among measures of somatic, skeletal, dental, and sexual maturity. *Am. J. Orthod*., 1985, 88 (5), pp. 433–438. https://doi.org/10.1016/0002-9416(85)90070-3

Dewau R., Boomsma A., Doyle C., Byrne S., Hyppönen E. et al. Meta-analysis of the heritability of childhood height from 560 000 pairs of relatives born between 1929 and 2004. *Am. J. Hum. Biol*., 2025, 37 (1), pp. 1–15. https://doi.org/10.1002/ajhb.24188

Dunger D.B., Ahmed M.L., Ong K.K. Early and late weight gain and the timing of puberty. *Mol. Cell. Endocrinol.,* 2006, 254-255, pp. 140–145. https://doi.org/10.1016/j.mce.2006.04.003

Durda-Masny M., Hanć T., Czapla Z., Szwed A. BMI at menarche and timing of growth spurt and puberty in Polish girls - longitudinal study. *Anthropol. Anz*., 2019, 76 (1), pp. 37–47. https://doi.org/10.1127/anthranz/2019/0920

Dvornyk V., Waqar-ul-Haq. Genetics of age at menarche: a systematic review. *Hum. Reprod. Update,* 2012, 18 (2), pp. 198–210. https://doi.org/10.1093/humupd/dmr050

Euser A.M., Finken M.J., Keijzer-Veen M.G., Hille E.T., Wit J.M. et al. Associations between prenatal and infancy weight gain and BMI, fat mass, and fat distribution in young adulthood: a prospective cohort study in males and females born very preterm. *Am. J. Clin. Nutr.,* 2005, 81 (2), pp. 480–487. https://doi.org/10.1093/ajcn.81.2.480

Frisch R.E., Revelle R. Height and weight at menarche and a hypothesis of critical body weights and adolescent events. *Science,* 1970, 169 (3943), pp. 397–398. https://doi.org/10.1126/science.169.3943.397

Gasser T., Molinari L., Largo R. A comparison of pubertal maturity and growth. Ann. Hum. Biol., 2013, 40, pp. 341–347.

Gerber B., Pienaar A.E. Exploratory study into the classification agreement between self-reported age of menarche and calculated maturity offset in adolescent girls: a two-year follow-up study. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.,* 2024, 9 (3), pp. 1–15. https://doi.org/10.3390/jfmk9030127

Hagg U., Taranger J. Pubertal growth and maturity pattern in early and late maturers. A prospective longitudinal study of Swedish urban children. *Swed. Dent. J.,* 1992, 16 (5), pp. 199–209.

Higuchi Y., Matsumoto N., Fujiwara S., Ebuchi Y., Furujo M. et al. Association between infant breastfeeding practices and timing of peak height velocity: A nationwide longitudinal survey in Japan. *Pediatr. Res.,* 2023, 94 (5), pp. 1845–1854. https://doi.org/10.1038/s41390-023-02706-y

Hoshi H., Kouchi M. Secular trend of the age at menarche of Japanese girls with special regard to the secular acceleration of the age at peak height velocity. *Hum. Biol.,* 1981, 53 (4), pp. 593–598.

Karlsson O., Domingue B.W., Kim R., Subramanian S.V. Estimating heritability of height without zygosity information for twins under five years in low- and middle-income countries: an application of normal finite mixture distribution models. *SSM Popul. Health,* 2022, 17, pp.1–6. https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2022.101043

Kozieł S.M., Suder A., Chrzanowska M., Králík M., Malina R.M. Growth status and age at peak height velocity among youth participants in several sports: the Cracow longitudinal study. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.,* 2024, 16 (1), pp. 1–11. https://doi.org/10.1186/s13102-024-00905-6

Kuzawa C.W., Hallal P.C., Adair L., Bhargava S.K., Fall C.H. et al. Birth weight, postnatal weight gain, and adult body composition in five low and middle income countries. *Am. J. Hum. Biol.,* 2012, 24 (1), pp. 5–13. https://doi.org/10.1002/ajhb.21227

Largo R.H., Prader A. Somatic puberty development in girls. *Monatsschr. Kinderheilkd.,* 1987, 135 (8), pp. 479–84.

Lindgren G. Growth of schoolchildren with early, average and late ages of peak height velocity. *Ann. Hum. Biol.,* 1978, 5 (3), pp. 253–267. https://doi.org/10.1080/03014467800002871

Molinari L., Gasser T., Largo R. A comparison of skeletal maturity and growth. *Ann. Hum. Biol.,* 2013, 40, pp. 333–340.

Onat T. Growth of metacarpal II during female adolescence: Relationships to stature, weight, and skeletal and sexual maturity. *Am. J. Hum. Biol.,* 1997, 9 (4), pp. 425–438. https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6300(1997)9:4<425::AID-AJHB2>3.0.CO;2-V

Ong K.K., Ahmed M.L., Dunger D.B. Lessons from large population studies on timing and tempo of puberty (secular

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

trends and relation to body size): the European trend. *Mol. Cell. Endocrinol.,* 2006, 254–255, pp. 8-12.

Retzepis N.O., Avloniti A., Kokkotis C., Protopapa M., Stampoulis T. et al. Identifying key factors for predicting the age at peak height velocity in preadolescent team sports athletes using explainable machine learning. *Sports (Basel),* 2024, 12 (11), pp. 1–14. https://doi.org/10.3390/sports12110287

Roelants M., Hauspie R., Hoppenbrouwers K. References for growth and pubertal development from birth to 21 years in Flanders, Belgium. *Ann. Hum. Biol.,* 2009, 36 (6), pp. 680–694. https://doi.org/10.3109/03014460903049074

Sabinkar G., Sabinkar B., Sarathi V., Kumar D.K. Growth velocity in South Indian children between three and 18 years of age. *Cureus,* 2023, 15 (12), pp. 1–7. https://doi.org/10.7759/cureus.50865

Scott E.C., Johnston F.E. Critical fat, menarche, and the maintenance of menstrual cycles: a critical review. *J. Adolesc. Health Care*, 1982, 2 (4), pp. 249–260. https://doi.org/10.1016/s0197-0070(82)80059-4

Silventoinen K., Pietiläinen K.H., Tynelius P., Sørensen T.I., Kaprio J. et al. Genetic and environmental factors in relative weight from birth to age 18: the Swedish young male twins study. *Int. J. Obes. (Lond).,* 2007, 31 (4), pp. 615–621. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803577

Silventoinen K., Haukka J., Dunkel L., Tynelius P., Rasmussen F. Genetics of pubertal timing and its associations with relative weight in childhood and adult height: the Swedish Young Male Twins Study. *Pediatrics,* 2008, 121 (4), pp. 885–891. https://doi.org/10.1542/peds.2007-1615

Tandon N., Fall C.H., Osmond C., Sachdev H.P., Prabhakaran D. et al. Growth from birth to adulthood and peak bone mass and density data from the New Delhi Birth Cohort. *Osteoporos Int.,* 2012, 23 (10), pp. 2447–2459. https://doi.org/10.1007/s00198-011-1857-x

Tanner J.M. *Growth at adolescence.* 2nd ed. Oxford, Blackwell, 1962. 325 p.

Tsinopoulou V.R., Bacopoulou F., Fidani S., Christoforidis A. Genetic determinants of age at menarche: does the LIN28B gene play a role? A narrative review. *Hormones (Athens),* 2025, 24 (1), pp. 167–177. https://doi.org/10.1007/s42000-024-00594-3

Tsutsui T., Iizuka S., Sakamaki W., Maemichi T., Torii S. Growth until peak height velocity occurs rapidly in early maturing adolescent boys. *Children (Basel),* 2022, 9 (10), pp. 1–7. https://doi.org/10.3390/children9101570

van't Hof M.A., Roede M.J. A Monte Carlo test of weight as a critical factor in menarche, compared with bone age and measures of height, width, and sexual development. *Ann. Hum. Biol.,* 1977, 4 (6), pp. 581–585. https://doi.org/10.1080/03014467700002581

Wells J.C.K. *The Evolutionary Biology of Human Body Fatness: Thrift and Control.* Cambridge, Cambridge University Press, 2010. 382 p.

Wells J.C., Chomtho S., Fewtrell M.S. Programming of body composition by early growth and nutrition. *Proc. Nutr. Soc.,* 2007, 66 (3), pp. 423–434. https://doi.org/10.1017/S0029665107005691

Wells J.C., Hallal P.C., Wright A., Singhal A., Victora C.G. Fetal, infant and childhood growth: relationships with body composition in Brazilian boys aged 9 years. Int. J. *Obes. (Lond.),* 2005, 29 (10), pp. 1192–1198. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803054

Widén E., Ripatti S., Cousminer D.L., Surakka I., Lappalainen T. et al. Distinct variants at LIN28B influence growth in height from birth to adulthood. Am. J. Hum. Genet., 2010, 86 (5), pp. 773-782. https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2010.03.010

Witchel S.F. Genetics, genome-wide association studies, and menarche. Semin. Reprod. Med., 2016, 34 (4), pp. 205-214. https://doi.org/10.1055/s-0036-1585405

References

Aksglaede L., Olsen L.W., Sorensen T.I., Juul A. Forty years trends in timing of pubertal growth spurt in 157, 000 Danish school children. *PLoS One*, 2008, 3, pp. 1–8.

Aleksanyants G.D., Mayakova O.V. Genetic and environmental determinants of body height prediction. *Fundamental research*, 2008, 11, pp. 91–93. (In Russ.).

Balakhonova E.I. *Variability of somatic dimensions of girls in groups of different biological age through puberty period*. PhD in Biology Thesis. Moscow, 1991. 20 p. (In Russ.).

Batsevich V.A. *The rate of age-related variability of the skeleton in modern human populations (anthropoecological aspects).* Doctor in Biology Thesis. Moscow, 2022. 46 p. (In Russ.).

Blushteyn L.Ya. Age specificities of pelvic growth. *Selected questions of obstetric and gynecology*, 1967, 1, pp. 224-229. (In Russ.).

Bondareva E.A., Popova E.V., Ketlerova E.S., Kodaneva L.N., Otgon G. Physical activity attenuates the effect of the fto t/a polymorphism on obesity-related phenotypes in adult russian males. *Hum. Sport Med*., 2019, 19 (3), pp. 119–124. https://doi.org/10.14529/hsm190315

Bradfield J.P., Kember R.L., Ulrich A., Balkhiyarova Z., Alyass A. et al. Trans-ancestral genome-wide association study of longitudinal pubertal height growth and shared heritability with adult health outcomes. *Genome Biol*., 2024, 25 (1), pp. 1–19. https://doi.org/10.1186/s13059-023-03136-z

Bruserud I.S., Roelants M., Forthun I.H., Viste K., Bjerknes R. et al. Associations between weight-related measurements and pubertal markers in Norwegian girls: the Bergen growth study 2. *J. Endocr. Soc*., 2025, 9 (8), pp. 1–9. https://doi.org/10.1210/jendso/bvaf100

Canterin A.A., Donadon V., Menin A. Body weight, body height and menarche. Epidemiological study, in the Province of Pordenone, of the school population from 12 to 15 years old (12,000). *Arch. Sci. Med. (Torino)*, 1977, 134 (2), pp. 211–218.

Chun D., Kim S.J., Kim Y.H., Suh J., Kim J. The estimation of pubertal growth spurt parameters using the superimposition by translation and rotation model in Korean children and adolescents: a longitudinal cohort study. *Front. Pediatr*., 2024, 12, pp. 1-10. https://doi.org/10.3389/fped.2024.1372013

Demirjian A., Buschang P.H., Tanguay R., Patterson D.K. Interrelationships among measures of somatic, skeletal, dental, and sexual maturity. *Am. J. Orthod*., 1985, 88 (5), pp. 433–438. https://doi.org/10.1016/0002-9416(85)90070-3

Deryabin V.E., Fedotova T.K. *Stability of structure of interindividual distributions of somatic dimensions of children through growth period*. Moscow, VINITI RAS Publ., 2002. 217 p. (In Russ.).

Deryabin V.E., Fedotova T.K., Yampolskaya Yu.A. *Stability of morphological structure of intraindividual variability of schoolchildren.* Moscow, VINITI RAS Publ., 2006. 303 p. (In Russ.).

Dewau R., Boomsma A., Doyle C., Byrne S., Hyppönen E. et al. Meta-analysis of the heritability of childhood height from 560 000 pairs of relatives born

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

between 1929 and 2004. *Am. J. Hum. Biol.*, 2025, 37 (1), pp. 1–15. https://doi.org/10.1002/ajhb.24188

Dunger D.B., Ahmed M.L., Ong K.K. Early and late weight gain and the timing of puberty. *Mol. Cell. Endocrinol.,* 2006, 254-255, pp. 140-145. DOI: 10.1016/j.mce.2006.04.003

Durda-Masny M., Hanć T., Czapla Z., Szwed A. BMI at menarche and timing of growth spurt and puberty in Polish girls - longitudinal study. *Anthropol. Anz.,* 2019, 76 (1), pp. 37–47. https://doi.org/10.1127/anthranz/2019/0920

Dvornyk V., Waqar-ul-Haq. Genetics of age at menarche: a systematic review. *Hum. Reprod. Update*, 2012, 18 (2), pp. 198–210. https://doi.org/10.1093/humupd/dmr050

Euser A.M., Finken M.J., Keijzer-Veen M.G., Hille E.T., Wit J.M. et al. Associations between prenatal and infancy weight gain and BMI, fat mass, and fat distribution in young adulthood: a prospective cohort study in males and females born very preterm. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2005, 81 (2), pp. 480–487. https://doi.org/10.1093/ajcn.81.2.480

Fedotova T.K., Gorbacheva A.K. Somatic and sexual maturity in peripuberty (a longitudinal study of Moscow shcoolgirls). *Herald of anthropology*, 2026, 1, pp. 360–375. (In Russ.).

Frisch R.E., Revelle R. Height and weight at menarche and a hypothesis of critical body weights and adolescent events. *Science,* 1970, 169 (3943), pp. 397–398. https://doi.org/10.1126/science.169.3943.397

Gasser T., Molinari L., Largo R. A comparison of pubertal maturity and growth. *Ann. Hum. Biol.,* 2013, 40, pp. 341–347.

Gerber B., Pienaar A.E. Exploratory study into the classification agreement between self-reported age of menarche and calculated maturity offset in adolescent girls: a two-year follow-up study. *J. Funct. Morphol. Kinesiol*., 2024, 9 (3), pp. 1-15. https://doi.org/10.3390/jfmk9030127

Gorbacheva A.K., Kaluzhniy E.A., Fedotova T.K. The structure of morphofunctional correlations among children and adolescents as a mirror of the anthropogenic pressure in the developmental niche. *Herald of anthropology*, 2025, 3, pp. 347-361. (In Russ.).

Gudkova L.K. The correlation analysis and its significance in ecological anthropology. Part II. *Lomonosov Journal of Anthropology* [Moscow University Anthropology Bulletin], 2017, 4, pp. 4–16. DOI: 10.55959/MSU2074-8132-24-1-5

Hagg U., Taranger J. Pubertal growth and maturity pattern in early and late maturers. A prospective longitudinal study of Swedish urban children. *Swed. Dent. J.*, 1992, 16 (5), pp. 199–209.

Higuchi Y., Matsumoto N., Fujiwara S., Ebuchi Y., Furujo M. et al. Association between infant breastfeeding practices and timing of peak height velocity: A nationwide longitudinal survey in Japan. *Pediatr. Res*., 2023, 94 (5), pp. 1845–1854. https://doi.org/10.1038/s41390-023-02706-y

Hoshi H., Kouchi M. Secular trend of the age at menarche of Japanese girls with special regard to the secular acceleration of the age at peak height velocity. *Hum. Biol.*, 1981, 53 (4), pp. 593–598.

Karlsson O., Domingue B.W., Kim R., Subramanian S.V. Estimating heritability of height without zygosity information for twins under five years in low- and middle-income countries: an application of normal finite mixture distribution models. *SSM Popul. Health*, 2022, 17, pp.1–6. https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2022.101043

Khrisanfova E.N. Auxology. In *Anthropology. Textbook*. 2nd ed. Moscow, MSU Publ., 1999, pp. 126-174. (In Russ.).

Kozieł S.M., Suder A., Chrzanowska M., Králík M., Malina R.M. Growth status and age at peak height velocity among youth participants in several sports: the Cracow longitudinal study. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil*., 2024, 16 (1), pp. 1–11. https://doi.org/10.1186/s13102-024-00905-6

Kurshakova Yu.S., Dunaevskaya T.N., Smirnova N.S., Shugaeva G.Sh. Research of share of somatic norm in children aged 3-17 years to reveal ontogenesis periods of increased sensitivity to environment. In *Biology, ecology, biotechnology and soil; science*. Moscow, MSU Publ., 1994, pp. 32–41. (In Russ.).

Kuzawa C.W., Hallal P.C., Adair L., Bhargava S.K., Fall C.H. et al. Birth weight, postnatal weight gain, and adult body composition in five low and middle income countries. *Am. J. Hum. Biol*., 2012, 24 (1), pp. 5–13. https://doi.org/10.1002/ajhb.21227

Largo R.H., Prader A. Somatic puberty development in girls. *Monatsschr. Kinderheilkd*., 1987, 135 (8), pp. 479–484.

Lindgren G. Growth of schoolchildren with early, average and late ages of peak height velocity. *Ann. Hum. Biol.*, 1978, 5 (3), pp. 253-267. https://doi.org/10.1080/03014467800002871

Molinari L., Gasser T., Largo R. A comparison of skeletal maturity and growth. *Ann. Hum. Biol.*, 2013, 40, pp. 333–340.

Nikityuk B.A. *Factors of growth and morphofunctional maturity of organism*. Moscow, Nauka Publ., 1978. 144 p. (In Russ.).

Onat T. Growth of metacarpal II during female adolescence: Relationships to stature, weight, and skeletal and sexual maturity. *Am. J. Hum. Biol*., 1997, 9 (4), pp. 425–438. https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6300(1997)9:4<425::AID-AJHB2>3.0.CO;2-V

Ong K.K., Ahmed M.L., Dunger D.B. Lessons from large population studies on timing and tempo of puberty (secular trends and relation to body size): the European trend. *Mol. Cell. Endocrinol*., 2006, 254–255, pp. 8-12.

Pavlovsky O.M. *Biological age in humans*. Moscow, Msu Publ., 1987. 280 p. (In Russ.).

Retzepis N.O., Avloniti A., Kokkotis C., Protopapa M., Stampoulis T. et al. Identifying key factors for predicting the age at peak height velocity in preadolescent team sports athletes using explainable machine learning. *Sports (Basel)*, 2024, 12 (11), pp. 1–14. https://doi.org/10.3390/sports12110287

Roelants M., Hauspie R., Hoppenbrouwers K. References for growth and pubertal development from birth to 21 years in Flanders, Belgium. *Ann. Hum. Biol*., 2009, 36 (6), pp. 680–694. https://doi.org/10.3109/03014460903049074

Sabinkar G., Sabinkar B., Sarathi V., Kumar D.K. Growth velocity in South Indian children between three and 18 years of age. *Cureus*, 2023, 15 (12), pp. 1–7. https://doi.org/10.7759/cureus.50865

Scott E.C., Johnston F.E. Critical fat, menarche, and the maintenance of menstrual cycles: a critical review. *J. Adolesc. Health Care*, 1982, 2 (4), pp. 249–260. https://doi.org/10.1016/s0197-0070(82)80059-4

Silventoinen K., Haukka J., Dunkel L., Tynelius P., Rasmussen F. Genetics of pubertal timing and its associations with relative weight in childhood and adult height: the Swedish Young Male Twins Study. *Pediatrics,* 2008, 121 (4), pp. 885–891. https://doi.org/10.1542/peds.2007-1615

Silventoinen K., Pietiläinen K.H., Tynelius P., Sørensen T.I., Kaprio J. et al. Genetic and environmental factors in relative weight from birth to age 18: the Swedish young male twins study. *Int. J. Obes. (Lond)*., 2007, 31 (4), pp. 615–621. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803577

Smirnova N.S., Solovyova V.S. *Biological age of human*. Moscow, Znanie Publ., 1986. 64 p. (In Russ.).

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026

Smirnova N.S. *Modelling of adaptation to extremal conditions, group stress effect and correlation adaptometry*. Doctor in Physics/Mathematics Dissertation. Krasnoyarsk, 2000. 275 p. (In Russ.).

Tandon N., Fall C.H., Osmond C., Sachdev H.P., Prabhakaran D. et al. Growth from birth to adulthood and peak bone mass and density data from the New Delhi Birth Cohort. *Osteoporos Int.,* 2012, 23 (10), pp. 2447–2459. https://doi.org/10.1007/s00198-011-1857-x

Tanner J.M. *Growth at adolescence*. 2nd ed. Oxford, Blackwell, 1962. 325 p.

Tsinopoulou V.R., Bacopoulou F., Fidani S., Christoforidis A. Genetic determinants of age at menarche: does the LIN28B gene play a role? A narrative review. *Hormones (Athens),* 2025, 24 (1), pp. 167–177. https://doi.org/10.1007/s42000-024-00594-3

Tsutsui T., Iizuka S., Sakamaki W., Maemichi T., Torii S. Growth until peak height velocity occurs rapidly in early maturing adolescent boys. *Children (Basel)*, 2022, 9 (10), pp. 1–7. https://doi.org/10.3390/children9101570

Uchakina R.V., Filipova V.V., Solovyova M.I., Kozlov V.K. Physical and sexual development of young females, living in environmentally different parts of Pryamurye and Yakutiya. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*, 2004, 19, pp. 42–46. (In Russ.).

van't Hof M.A., Roede M.J. A Monte Carlo test of weight as a critical factor in menarche, compared with bone age and measures of height, width, and sexual development. *Ann. Hum. Biol.,* 1977, 4 (6), pp. 581–585. https://doi.org/10.1080/03014467700002581

Wells J.C., Chomtho S., Fewtrell M.S. Programming of body composition by early growth and nutrition. *Proc. Nutr. Soc.,* 2007, 66 (3), pp. 423–434. https://doi.org/10.1017/S0029665107005691

Wells J.C., Hallal P.C., Wright A., Singhal A., Victora C.G. Fetal, infant and childhood growth: relationships with body composition in Brazilian boys aged 9 years. *Int. J. Obes. (Lond.),* 2005, 29 (10), pp. 1192–1198. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803054

Wells J.C.K. *The Evolutionary Biology of Human Body Fatness: Thrift and Control.* Cambridge, Cambridge University Press, 2010. 382 p.

Widén E., Ripatti S., Cousminer D.L., Surakka I., Lappalainen T. et al. Distinct variants at LIN28B influence growth in height from birth to adulthood. *Am. J. Hum. Genet.,* 2010, 86 (5), pp. 773–782. https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2010.03.010

Witchel S.F. Genetics, genome-wide association studies, and menarche. *Semin. Reprod. Med.,* 2016, 34 (4), pp. 205–214. https://doi.org/10.1055/s-0036-1585405

Yampolskaya Yu. A. *Physical development of schoolchildren – residents of large megalopolis through last decades: status, tendencies, prediction, screening assessment methodology*. Doctor in Biology Dissertation. Moscow, 2000. 76 p. (In Russ.).

Информация об авторах/ Information about the authors

Горбачева Анна Константиновна, к.б.н.; Научно-исследовательский институт и Музей антропологии имени Д.Н. Анучина, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация
angoria@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-5201-7128

Федотова Татьяна Константиновна, д.б.н.; Научно-исследовательский институт и Музей антропологии имени Д.Н. Анучина, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация
tatiana.fedotova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7750-7924

Gorbacheva Anna K., Ph.D., Anuchin Research Institute and Museum of Anthropology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation
angoria@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-5201-7128

Fedotova Tatiana K., Ph.D., D.Sci., Anuchin Research Institute and Museum of Anthropology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation
tatiana.fedotova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7750-7924

Поступила в редакцию 03.06.2026.
Получена после доработки 17.08.2026.
Принята к публикации 17.08.2026.

Received 03.06.2026.
Revised 17.08.2026.
Accepted 17.08.2026.

© Горбачева, А.К., Федотова, Т.К., 2026
© Gorbacheva, A.K., Fedotova, T.K., 2026