

© Т. К. Федотова, А. К. Горбачева

О СООТНОШЕНИИ СОМАТИЧЕСКОЙ И ПОЛОВОЙ ЗРЕЛОСТИ В ПЕРИПУБЕРТАТНОМ ВОЗРАСТЕ (НА ПРИМЕРЕ ЛОНГИТУДИНАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ МОСКОВСКИХ ШКОЛЬНИЦ)

Проблема соотношения соматической и половой зрелости неизменно сохраняет актуальность в популяционном мониторинге, учитывая значительное межгрупповое разнообразие и временную изменчивость этого соотношения. Рассматривается взаимосвязь динамики соматических размеров (длина и масса тела, ширина таза), развития молочных желез и возраст менархе московских школьниц 8–17 лет, обследованных лонгитудинальным методом в 1982–1991 годах; численность выборки 125 человек. Для соматических показателей и развития молочных желез строились линии динамики годовых приростов, которые сглаживались по методу наименьших квадратов, по сглаженным кривым рассчитывались пики приростов размера (в годах), абсолютная величина прироста (в мм, см, кг или баллах); и дельта (в годах) между пиком прироста показателя и возрастом менархе. Для анализа материала использовалась программа STATISTICA 10. Пик приростов длины тела (ПСП) по результатам внутригруппового анализа опережает возраст менархе (13,03 года) на полтора года, ширины таза (ПСТ) опережает возраст менархе на полгода, развития молочных желез на год. Пик прироста массы тела (ПСМ) совпадает с возрастом менархе, и претендовать на роль очевидного триггера возраста менархе может с наибольшим основанием только ПСП. Наиболее высокий уровень корреляций ПСП с возрастом ПСМ и ПСТ и возрастом менархе — 0,62–0,68 — позволяет считать возраст ПСП системообразующим фактором в перипубертатном возрасте и, видимо, отражает единую генетическую регуляцию возрастной динамики перечисленных параметров. Эту закономерность подтверждают и результаты факторного анализа. Первый «генеральный» фактор темпа морфофизиологического развития в пубертате, доля общей изменчивости которого составляет 0,25, имеет максимальные достоверные нагрузки на возраст ПСП (0,88), ПСТ (0,82), ПСМ (0,85) и возраст менархе (0,76). Чем раньше имеет место

Федотова Татьяна Константиновна — д. б. н., ведущий научный сотрудник, НИИ и Музей антропологии им. Д. Н. Анучина МГУ им. М. В. Ломоносова (Российская Федерация, 125009 Москва, ул. Моховая, д. 11). Эл. почта: tatiana.fedotova@mail.ru ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7750-7924>

Горбачева Анна Константиновна — к. б. н., старший научный сотрудник, НИИ и Музей антропологии им. Д. Н. Анучина МГУ им. М. В. Ломоносова, (Российская Федерация, 125009 Москва, ул. Моховая, д. 11). Эл. почта: angoria@yandex.ru ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-7128>

* Научное исследование проведено при поддержке темы НИР МГУ им. М. В. Ломоносова «Евразийская антропология в координатах времени и пространства» (Номер ЦИТиС: 123).

пубертатное ускорение роста соматических размеров, тем раньше наступает менархе — и противоположный вариант. По результатам факторного анализа дефинитивный соматический статус, в частности, длина тела в 17 лет, практически не зависит от событий пубертатного возраста; развитие молочных желез имеет в пубертате автономную динамику.

Ключевые слова: биологическая антропология, девочки школьного возраста 8–17 лет, половое созревание, менархе, пик скорости роста

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

UDC 572

DOI: 10.33876/2311-0546/2026-1/360-375

Original Article

© *Tatyana Fedotova, and Anna Gorbacheva*

SOMATIC AND SEXUAL MATURITY IN PERIPUBERTY (A LONGITUDINAL STUDY OF MOSCOW SCHOOLGIRLS)

The issue of the association between somatic and sexual maturity is relevant in population monitoring due to significant variability in this association between groups and over time. This study examines the age-related changes in somatic dimensions (height, weight and pelvic diameter), breast development and age at menarche in Moscow schoolgirls aged 8–17 years, who were observed over a period of nine years (1982–1991). A total of 125 individuals were included in the study. First, the patterns of one-year dimension gain dynamics were calculated, then they were smoothed using the least squares method. The smoothed curves were used to determine the peak gain of each dimension in years, the absolute level of the peak in centimeters, kilograms or scores, and the delta (in years) between the peak of the dimension and menarche. Peak height velocity (PHV) occurs 1.5 years before menarche (at 13.03 years), peak pelvic velocity (PPV) occurs 0.5 years before, and peak breast development occurs 1 year before menarche. Peak weight velocity (PWV) coincides with menarche; therefore, PHV is the most likely trigger of menarche. The high correlation between PHV and PPV, PMV and menarche (0.62–0.68) suggests that PHV is a key factor in puberty and may reflect common genetic regulation of the dynamics of the parameters under discussion. This conformity is supported by the results of factor analysis. The first ‘general’ factor of development rate in puberty has the most significant positive loadings on PHV (0.88), PPV (0.82), PWV (0.85) and age at menarche (0.75). The earlier somatic pubertal acceleration occurs, the earlier menarche occurs — and vice versa. According to factor analysis, the final somatic status (e.g. definite height) does not depend on pubertal events. The same applies to breast development, which has independent dynamics throughout puberty.

Keywords: biological anthropology, schoolgirls aged 8–17 years, sexual maturation, menarche, peak height velocity

Authors Info: Fedotova, Tatyana K. — Doctor of Biology, Associated Professor, Lomonosov Moscow State University, Anuchin Institute and Museum of Anthropology (Moscow, Russian Federation). E-mail: tatiana.fedotova@mail.ru ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7750-7924>

Gorbacheva, Anna K. — Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Lomonosov Moscow State University, Anuchin Institute and Museum of Anthropology (Moscow, Russian Federation). E-mail: angoria@yandex.ru ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-7128>

For citation: Fedotova, T. K., and A. K. Gorbacheva. 2026. Somatic and Sexual Maturity in Peripuberty (A Longitudinal Study of Moscow Schoolgirls). *Herald of Anthropology (Vestnik Antropologii)* 1: 360–375.

Funding: This work was supported by the Lomonosov Moscow State University research topic “Eurasian Anthropology in Space and Time Coordinates” (CITA S number: 123).

Введение

Проблема соотношения соматической и половой зрелости имеет такую же долгую историю, как и систематический мониторинг ростовых процессов в странах мира в целом. Однако и сегодня она так же далека от окончательного разрешения, как и в прошлом веке. Не только потому, что это соотношение, наиболее наглядно иллюстрируемое связанностью пика скорости роста длины тела и наступления возраста менархе, имеет значительную межгрупповую вариацию, но и потому, что эта корреляция не является константой и для отдельно взятой популяции и подвержена временным колебаниям, как и сами соматические размеры и возраст менархе. Так, начало III тысячелетия ознаменовалось на фоне замедления/окончания процесса акцелерации нарастанием ряда негативных тенденций, в том числе грацилизацией телосложения и снижением связи между половым созреванием и формированием дефинитивных размеров тела, что показано на материалах многолетнего систематического обследования детей Москвы (*Ямпольская* 2000). Информативность соматических показателей, в частности, длины и массы тела, как биомаркеров полагается небольшой в связи со значительной вариабельностью дефинитивных размеров тела и трудностью их точного количественного учета для определения конкретной стадии полового созревания. Помимо прочего, вопрос о причинно-следственных связях при рассмотрении динамики соматического развития и процессов полового созревания остается открытым — можно ли считать соматические изменения триггером, в частности, наступления менархе или оба явления суть следствия нового уровня обменных процессов.

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).

Тем не менее, возраст максимального ускорения роста размеров тела, в первую очередь скелетных, предшествует появлению вторичных половых признаков, в

частности, опережает на год-два появление менархе, что систематически отмечалось и отмечается в ростовых исследованиях (Соловьева 1973; Largo, Prader 1983), минимальное отставание по результатам продольных исследований на один год, максимальное на три (Zhu et al. 2008). Приводимые в литературе коэффициенты корреляции между возрастом пика скорости роста и возрастом менархе составляют значительную величину 0,71–0,77, в отдельных случаях даже 0,93 (Tanner 1962; Hoshi, Kouchi 1981), что существенно превышает уровни корреляций менархе с показателями поперечного развития тела — массой тела, жировыми складками и обхватом плеча — 0,13–0,3 (Billewicz et al. 1981). При рассмотрении взаимосвязи пяти показателей физиологической зрелости — менархе, пик скорости роста, 75% скелетной зрелости, появление локтевой сесамовидной кости (ulnar sesamoid), 90% зубной зрелости — самые высокие корреляции выявлены для возраста менархе с возрастом пика скорости роста (Demirjian et al. 1985). В литературе обсуждается общая причина динамики длины тела (пика скорости роста) и полового созревания — скорость прироста массы тела в младенчестве, стратегическом повышено чувствительном периоде онтогенеза, когда закладывается долгосрочная программа всего онтогенеза (Dunger et al. 2006; Ong et al. 2006). Результаты морфологических исследований хорошо соответствуют результатам современных генетических работ: генетические детерминанты пубертатного роста связаны, в том числе, и с репродуктивными показателями (Bradfield et al. 2023; Tsinopoulou et al. 2025).

В задачу настоящего исследования входит оценка ассоциации соматической и половой зрелости в перипубертатном возрасте, в частности, корреляции возраста менархе и развития молочных желез как наиболее информативных показателей полового созревания с динамикой соматических показателей — динамикой приростов длины тела, массы тела, ширины таза — на материалах продольного обследования московских школьниц 8–17 лет в 1982–1991 годах. Результаты работы позволят, во-первых, дать сравнительную оценку тесноты связи соматических показателей разного биологического содержания с показателями полового созревания, во-вторых, еще раз вернуться к вопросу о триггерах возраста менархе, в-третьих, подтвердить информативность пика скорости роста как самостоятельного маркера биологического возраста.

Материалы и методы

К исследованию привлечена продольная серия данных, собранная на протяжении 1982–1991 годов в московских школах Ю. А. Ямпольской, и задействованная ранее в нашей совместной монографии (Дерябин и др. 2006). Численность выборки девочек 125 человек, измерения проводились с частотой раз в год в одно и то же календарное время (весной), на момент начала исследования детям было 8 лет, в конце — 17 лет. В настоящей работе используются длина тела, масса тела, ширина таза, возраст менархе (Me), зафиксированный с точностью до месяца, развитие молочной железы (Ma) в баллах. Напомним порядок появления вторичных половых признаков в широком смысле: увеличение ширины таза — округление бедер (увеличение обхвата бедер) — появление молочных желез — волос на лобке — волос в подмышечных впадинах — менархе. К сожалению, обхват бедер измерялся только с 11 лет, и построить корректно динамику приростов не представилось возможным, а появление аксиллярного

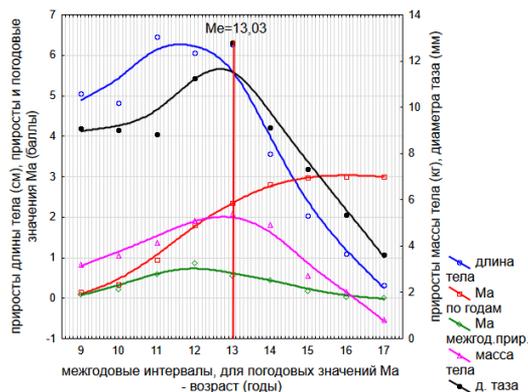


Рис. 1. Межгодовая динамика приростов длины тела (см), массы тела (кг), диаметра таза (мм), приростов и годовых уровней развития молочной железы у московских школьниц 8–17 лет 1982–1991 гг. (по оси X: 9 — интервал между 8 и 9 годами, ... 17 — между 16 и 17 годами)

Fig. 1. Year increments dynamics of height (cm), weight (kg), pelvic diameter (mm), year increments and mean values of breast (points) of Moscow schoolgirls aged 8–17 years 1982–1991. (Ахе X: 9 — age interval between 8 and 9 years, ..., 17 — between 16 and 17 years)

роста была подробно изложена в наших предыдущих работах (Федотова и др. 2025). Для анализа материала использовалась программа STATISTICA 10.

и лобкового оволосения значительно уступает в информативности развитию молочных желез и менархе: степень развития третичного волосяного покрова категорически не подходит, например, для межгрупповых сравнений. Так, по материалам обследования 1960-х, по развитию волос на лобке и в подмышечных впадинах долганские школьники Таймыра (монголоидная группа) обоего пола существенно отставали от русских подростков Москвы (европеоидной группы) при идентичности возраста менархе обеих групп (Соловьева, Фетисов 1968). Для всех соматических показателей и развития молочных желез строились линии динамики годовых приростов, которые сглаживались по методу наименьших квадратов, по сглаженным кривым рассчитывались пики приростов размера (в годах), абсолютная величина прироста (в мм, см, кг или баллах); и дельта (в годах) между пиком прироста показателя и возрастом менархе. Методика определения возраста пика скорости

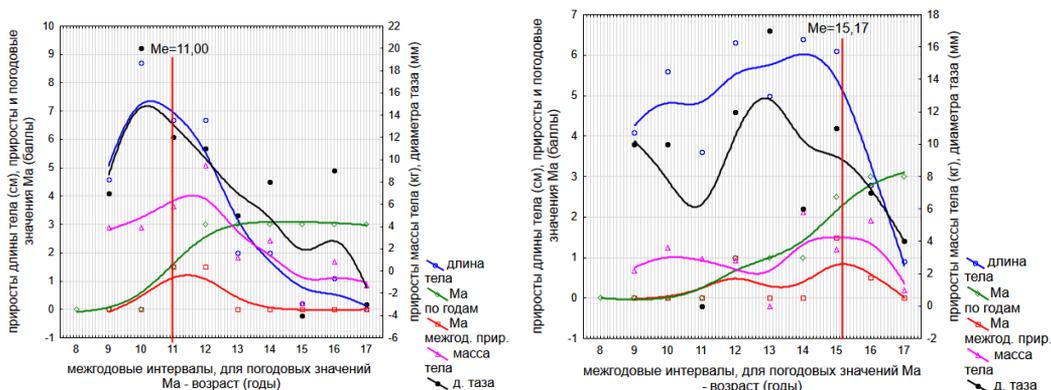


Рис. 2. Пример межгодовой динамики приростов длины тела (см), массы тела (кг), диаметра таза (мм), приростов и годовых уровней развития молочной железы у девушки с ранним (а) и поздним (б) возрастом менархе

Fig. 2. The samples of year increments dynamics of height (cm), weight (kg), pelvic diameter (mm), year increments and mean values of breast (points) of schoolgirl with early (a) and late (b) age at menarche

Результаты

На *Рис. 1* приведена динамика приростов размеров тела (длина, масса, ширина таза) и развития молочных желез для всей лонгитудинальной выборки 1982–1991 гг. обследования, и отмечен возраст менархе. Рисунок является классической иллюстрацией закономерного чередования периодов роста и развития на восходящем отрезке онтогенеза — пики приростов длины тела (ПСР) и ширины таза (ПСТ) предшествуют появлению менархе, показателю физиологической зрелости организма (13,03 года). ПСР опережает возраст менархе примерно на полтора года, ПСТ на полгода, развития молочных желез на год. Пик прироста массы тела (ПСМ) практически совпадает с возрастом менархе, и претендовать на роль очевидного триггера возраста менархе может соответственно с наибольшим основанием только ПСР.

На *Рис. 2* приведена индивидуальная динамика приростов размеров тела и величины M_a и динамика абсолютных значений развития молочной железы сквозь весь интервал 8-17 лет у девочек с ранним возрастом менархе — 11 лет (*Рис. 2a*) и поздним возрастом менархе 15, 17 лет (*Рис. 2б*). В случае раннего возраста менархе 11 лет пик пубертатного ускорения роста скелетных размеров (длины тела и ширины таза) приходится примерно на 10 лет (10,25–10,20), опережая возрасте M_e чуть меньше, чем на год, пик приростов массы тела и молочной железы, напротив, отстает от возраста M_e примерно на полгода, развитие молочной железы M_a на момент наступления менархе составляет 1,5 балла. В случае позднего возраста менархе (15,17 лет) динамика приростов длины тела имеет слабо выраженный пик, приходящийся на 14,04 года, т. е. также примерно на год раньше возраста M_e , как и в случае раннего M_e ; пик приростов ширины таза в 12,89 года — двумя с лишним годами ранее возраста M_e , пик приростов массы тела и уровня развития молочной железа практически совпадает с возрастом M_e , развитие молочной железы M_a на момент наступления менархе составляет почти 2,5 балла.

На *Рис. 3* приведена гистограмма распределения возраста ПСР с отчетливой двувершинностью в 10,5–11 лет и в 12–12,5 лет, которые условно «делят» выборку на девочек

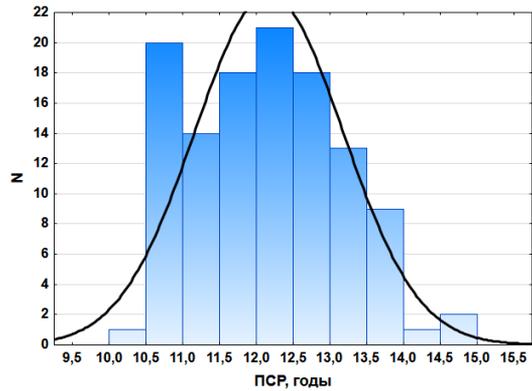


Рис. 3. Гистограмма распределения возраста ПСР в выборке московских школьниц 8–17 лет
Fig. 3. Histogram of distribution of PHV in Moscow schoolgirls aged 8–17 years

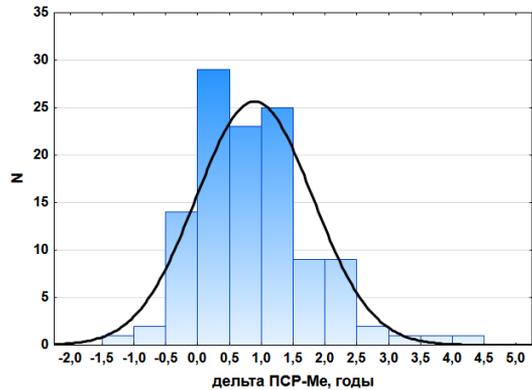


Рис. 4. Гистограмма распределения величины дельты между возрастaми ПСР и менархе в выборке московских школьниц 8–17 лет
Fig. 4. Histogram of distribution of delta between PHV and age at menarche in Moscow schoolgirls aged 8–17 years

с более ранним ускорением роста тела в длину и более поздним, иначе с относительно ускоренным и относительно замедленным пубертатом. Такую же двувёршинность имеет и распределение показателя «дельта» (Рис. 4) — возрастной интервал в годах между ПСР и возрастом менархе: либо фактически нулевой «зазор», или различия в год-полтора. В первом случае ПСР и наступление менархе почти совпадают по возрасту и весь ускоренный пубертатный период укладывается в сжатые сроки, во втором случае ПСР значительно опережает наступление менархе и пубертат растянут во времени.

В Табл. 1 приведены корреляции Спирмена для ряда переменных, описывающих динамику соматической и половой зрелости в перипубертатном периоде: возраст пика скорости роста длины тела (ПСР), массы тела (ПСМ), диаметра таза (ПСТ), абсолютные значения прироста длины тела, массы тела, ширины таза в возрасте пика, возраст менархе, дельта между возрастом ПСР и возрастом менархе, значения M_a и массы тела в возрасте менархе, дельта между возрастом начала и завершения развития M_a , длина тела в 17 лет — фактически дефинитивный показатель у 17-летних девушек. Достоверные корреляции отмечены красным цветом. Обращает на себя внимание наиболее высокий в целом уровень корреляций ПСР с другими показателями: возрастом ПСМ и ПСТ и возрастом менархе — 0,62–0,68, что позволяет считать ПСР неким системообразующим фактором в перипубертатном возрасте. Возраст ПСР связан отрицательной корреляцией с величиной абсолютного прироста и дельтой — чем раньше имеет место пубертатное ускорение роста, тем выше его интенсивность и тем длительнее (продолжительнее) пубертат. Возраст M_e связан с величиной дельты положительной корреляцией, что, видимо, и отражает двувёршинность распределения как последнего признака, так и ПСР, и, соответственно, наличие значительной изменчивости соотношения возрастов пика скорости роста и наступления менархе. Дефинитивная длина тела связана корреляциями преимущественно очень небольшой величины только с абсолютными приростами размеров тела и массой тела в возрасте менархе. Балл развития молочной железы в возрасте менархе обнаруживает значительную корреляцию только с продолжительностью пубертата (0,61).

В Табл. 2 приведены результаты факторного анализа тех же выше перечисленных переменных. Первый фактор, доля общей изменчивости которого составляет 0,25, имеет максимальные достоверные нагрузки на возраста ПСР (0,88), ПСТ (0,82) и ПСМ (0,85) и возраст менархе (0,76). Чем раньше имеет место пубертатное ускорение роста соматических размеров, тем раньше наступает менархе — и противоположный вариант. Таким образом, это генеральный фактор темпа морфофизиологического развития в пубертате. Наибольшая нагрузка фактора на показатель ПСР подтверждает статус ПСР как «цементирующего», если угодно, организующего фактора в пубертате, что фиксирует также и корреляционный анализ. Второй фактор имеет высокие нагрузки только на два показателя — степень развития молочной железы в возрасте менархе (0,74) и продолжительность пубертата (0,89). Чем более растянут во времени пубертат, тем больший балл M_a будет иметь место по его завершении (т. е. в возрасте начала менархе). Третий фактор имеет высокие положительные достоверные нагрузки на массу тела в возрасте начала M_e (0,71) и абсолютные приросты массы тела (0,77). Для этого фактора отмечается также достаточно высокая (0,66), хоть и недостоверная нагрузка на длину тела в возрасте 17 лет, так что условно его можно обозначить как фактор дефинитивного соматического статуса, практически не зависящий от событий пубертата. Четвертый фактор имеет единственную достоверную положительную нагрузку уровня 0,81 на длительность формирования молочной железы, происходящую, соответственно, автономно от упомянутых выше процессов.

Таблица 1
Уровни корреляций (по Спирмену) показателей, описывающих динамику соматической и половой зрелости в перипубертагном периоде

	ПСР	ПСМ	ПСТ	тах/пр. роста	тах/пр. массы	тах/пр. д.таза	Ме	дельта ПСР-Ме	Ma/Me	масса/Me	дельта Ma	рост 17
ПСР	1,00	0,68	0,68	-0,33	-0,02	0,05	0,62	-0,42	-0,29	-0,08	0,17	-0,01
ПСМ	—	1,00	0,69	-0,26	0,04	-0,04	0,60	-0,17	-0,25	-0,21	0,08	-0,01
ПСТ	—	—	1,00	-0,25	0,04	0,06	0,51	-0,19	-0,19	-0,17	0,17	0,04
тах пр.роста	—	—	—	1,00	0,25	0,34	-0,47	-0,14	-0,19	-0,11	-0,24	0,23
тах пр.массы	—	—	—	—	1,00	0,49	-0,15	-0,19	-0,10	0,44	-0,03	0,28
тах пр.д.таза	—	—	—	—	—	1,00	-0,22	-0,26	-0,18	0,12	-0,01	0,21
Ме	—	—	—	—	—	—	1,00	0,37	0,18	0,21	0,33	0,00
дельта ПСР-Ме	—	—	—	—	—	—	—	1,00	0,62	0,39	0,27	-0,00
Ma/Me	—	—	—	—	—	—	—	—	1,00	0,30	0,01	0,01
масса/Me	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,00	0,23	0,45
дельта Ma	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,00	-0,05
рост 17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,00

Примечание: красным цветом выделены значения с уровнем достоверности $p < 0,05$
 Note: Red marks fix significant values, $p < 0,05$

Таблица 2

Результаты факторного анализа показателей, описывающих динамику соматической и половой зрелости в перипубертатном периоде

Признаки	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
ПСР	0,88	0,23	-0,01	0,11
ПСМ	0,85	0,12	-0,09	-0,08
ПСТ	0,82	0,16	0,05	0,06
тах пр.роста	-0,38	0,29	0,32	-0,46
тах пр.массы	-0,04	0,28	0,77	0,15
тах пр.д.таза	-0,08	0,41	0,66	0,04
Ме	0,76	-0,53	-0,03	0,20
дельта ПСР-Ме	-0,13	-0,89	-0,01	0,10
масса Ме	-0,09	-0,54	0,71	0,19
Ма/Ме	-0,22	-0,74	-0,07	0,01
дельта Ма	0,16	-0,17	0,18	0,81
рост 17	0,13	-0,26	0,66	-0,48
Общ.дис.	3,02	2,42	2,13	1,23
Доля общ	0,25	0,20	0,18	0,10

Примечание: красным выделены нагрузки > 0,700

Note: Red marcs fix loads > 0,700

Обсуждение

Основной глобальный итоговый результат работы — ПСР является системообразующим фактором морфофизиологического развития и надежным индикатором биологического возраста в перипубертатном периоде. Это принципиально новый и актуальный статус ПСР на фоне других соматических критериев. Еще раз обращаем внимание читателя, что из спектра морфологических критериев биологического возраста (соматическое развитие, половое развитие, зубной возраст, скелетный (костный) возраст) наиболее универсальным, информативным на протяжении всего онтогенеза, тесно связанным с соматическим статусом, является скелетный возраст, используемый в отечественной антропологии не только как индикатор темпов онтогенеза, но и как мера адаптации популяции к среде (Бацевич 2022). Морфологические критерии биологического возраста (например, скелетное и половое развитие, в меньшей степени скелетное и соматическое развитие) достаточно тесно связаны и в некоторые периоды взаимозаменяемы (Хрисанфова 1999). Скелетный возраст имеет значимые связи с соматическим развитием, но последнее отражает изменение размеров, в то время как первый является исключительно индексом зрелости и отражает биохимическую структуру ткани. Это позволяет заключить, что два разных по биологическому содержанию индикатора контролируются однотипными биологическими механизмами под эгидой генетических факторов (Gasser et al. 2013; Molinari et al. 2013).

По материалам межгрупповых исследований ПСР является самостоятельным информативным маркером темпов онтогенеза популяции, триггером возраста менархе,

индикатором межгруппового соматического разнообразия и секулярной динамики и обсуждается в разных контекстах в современных акусологических работах (*Hoshi, Kouchi* 1981; *Higuchi et al.* 2023; *Sabinkar et al.* 2023; *Koziet et al.* 2024; *Retzepis et al.* 2024); разделяет выборки на более патриархальные (традиционные) и более «модернизированные», по определению Бацевича (*Бацевич* 2022), и является, таким образом, эквивалентом скелетного возраста в отсутствие рентгенантропологических данных.

В настоящем исследовании ПСР определяет два полюса внутригрупповой вариации морфофизиологического развития. Ранний возраст ПСР сочетается с более интенсивным скачком роста длины тела, более ранним возрастом менархе и растянутым во времени пубертатом, т. е. большой дельтой между возрастными ПСР и менархе (индивидуально встречаются и ранние варианты развития с короткой дельтой). Поздний возраст ПСР сочетается с менее интенсивным скачком роста, поздним возрастом менархе и сжатым во времени пубертатом. Аналогичное наблюдение обсуждает Е. Балахонова (*Балахонова* 1991): пубертатный рост у раносозревающих девочек занимает меньший отрезок времени и происходит более интенсивно, чем у поздносозревающих; на момент начала подросткового спурта вес и состав тела постоянен в группах разного биологического возраста (по возрасту менархе) при достоверных отличиях возраста и длины тела. Динамика массы тела и развития молочной железы находится в естественной логичной связке, поскольку то и другое является производным поперечного развития тела, в первую очередь жиросложения. Развитие молочной железы на момент возраста Me имеет значительную вариативность от 1,2 до 3 баллов. Последний тезис хорошо согласуется с тем фактом, что показатели полового созревания связаны друг с другом интенсивностью небольшой степени, но каждый из них, особенно возраст менархе, имеет более существенные связи с возрастом ПСР. (*Largo, Prader* 1983). Пик скорости роста неизменно входит в комплекс параметров, характеризующих темпы морфофункциональной дифференцировки в пубертатном возрасте (*Durda-Masny et al.* 2019). Интерпретировать связь маркеров биологического возраста (скелетный возраст, менархе) с пиком скорости роста длины тела следует с известной осторожностью, имея в виду уникальные характеристики роста разных/отдельных гомогенных популяций (*Gerber, Pienaar* 2024).

Ранее авторами на материалах лонгитудинального исследования московских школьниц в 1960-х отмечено (работа в печати), как и в настоящем исследовании, что возраст ПСР четко предшествует возрасту менархе, чем быстрее темпы соматического роста, тем в более раннем возрасте наступает менархе. Для индивидуальной динамики приростов массы тела и наступления менархе таких четких соответствий не выявлено, динамика приростов ИМТ имеет флуктуирующий почти случайный характер. Корреляции возраста ПСР с возрастом менархе имеют значительную величину 0,72, корреляции абсолютной величины (уровня) ПСР связаны с возрастом менархе ассоциациями существенно меньшего уровня -0,37. Величина корреляций с возрастом менархе для однолетних возрастных групп на интервале 8–17 лет имеет примерно один и тот же уровень для абсолютных значений длины и массы тела, а динамика корреляций совпадает вплоть до 13-летнего возраста включительно, а далее плавно уменьшается для массы тела, продолжая оставаться достоверной, и резко падает для длины тела, будучи уже недостоверной в возрастах 15–17 лет. Высокие корреляции возраста менархе с возрастом ПСР, отмечаемые в мировой литературе (*Bradfield et al.* 2024; *Tsinopoulou et al.* 2025), иллюстрируют факт единой генетической регуляции, что позволяет говорить

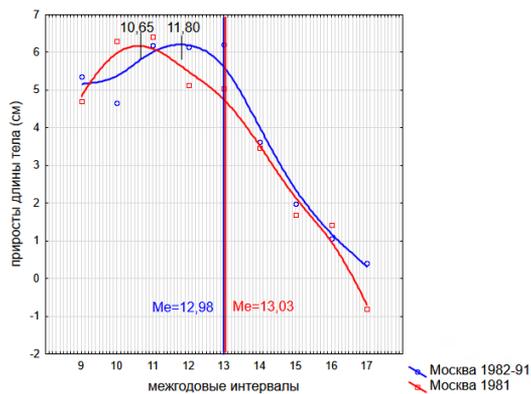


Рис. 5. Сравнительная динамика межгодовых приростов длины тела (см) в выборках московских школьниц 1980-х, обследованных продольным и поперечным методами

Fig. 5. Comparative dynamics of year increments of height (cm) of Moscow schoolgirls, examined by cross-sectional and longitudinal methods

массы тела при наступлении менархе имеет также и значительную межгрупповую вариабельность, например, у аборигенов Приамурья и Якутии достоверно ниже, чем у девочек пришлого населения (Учакина и др. 2004). Этот факт, очевидно, также не соответствует гипотезе Р. Фриш критического «универсального» порогового веса как причине (триггеру) наступления менархе, апеллирующей к жировой ткани как главному энергоресурсу функции воспроизводства.

Оговорим важный аспект нашего исследования. Для получения несмещенных представлений о механизмах, темпах и динамике роста, корректной оценке биологических связей процессов роста и созревания организма в аукологии и возрастной физиологии идеальной стратегией является лонгитудинальное (продольное) исследование, представляющее собой последовательное измерение одних и тех же детей в течение ряда лет с постоянными, например, годовыми или полугодовыми интервалами (Бунак 1962; Ямпольская 2000; Tanner 1962). Насколько сопоставимы или не сопоставимы результаты продольных и поперечных и следований, например, при оценке соотношения пика скорости роста и возрасте менархе? На Рис. 5 приведена динамика длины тела и возраст менархе для выборки 1982–1991 гг., обследованной продольным методом, и поперечного обследования московских школьниц 8–17 лет исторически сопоставимого 1981 года обследования. Соответственно год рождения участниц продольного обследования — 1974-й, года рождения участниц поперечного обследования с 1964 по 1973-й. Возраст менархе практически не различается в выборках, обследованных разными методами — 12,98 и 13,03 года. В свою очередь пик скорости роста в поперечной выборке опережает этот же показатель в продольной выборке примерно на год — 10,65 vs 11,8 лет, что логично, учитывая более ранний год рождения девочек пубертатного возраста в поперечной выборке. Этот пример, видимо, позволяет с **оговорками** использовать при необходимости и результаты поперечных исследований для анализа некоторых закономерностей онтогенеза.

о высокой информативности морфологического уровня изменчивости, в частности, показателя ПСР как уверенного триггера возраста менархе и информативного самостоятельного маркера биологического возраста.

Низкий уровень корреляций возраста менархе с величиной массы тела в этом возрасте (0,21) опровергает гипотезу Роуз Фриш (Frisch, Revelle 1970), постулировавшую, что достижение критической массы тела является триггером, запускающим ростовой спурт и одновременно наступление менархе, соответственно должно предшествовать пику скорости прироста длины тела, чего не наблюдается для рассматриваемой выборки, равно и для выборки 1960-х. В целом средний показатель

Заключение

Показатели соматической и половой зрелости в пубертатном возрасте составляют единую систему со своей иерархией, в которой пик скорости роста длины тела является системообразующим фактором, связанным наиболее высокими корреляциями с пиком скорости роста массы тела и ширины таза и возрастом менархе; высокий уровень корреляций может отражать единую генетическую регуляцию перечисленных параметров. Интенсивность пика скорости роста длины тела находится в обратной связи с возрастом ПСР. Возраст менархе и динамика развития молочных желез, входящие в комплекс показателей полового созревания, связаны между собой корреляциями существенно меньшей интенсивности, чем менархе с ПСР. При этом корреляция динамики развития молочных желез обнаруживает более тесную связь с показателем соматического развития — массой тела на момент первой Ме; автономная динамика этих показателей может отражать интенсивность поперечного развития тела, зависящего в немалой степени от развития жирового отложения и определяемого в значительной, если не в исключительной, степени факторами среды — структурой питания, образом жизни, в первую очередь уровнем гиподинамии. ПСР имеет место ранее других событий морфофизиологического развития в пубертатном возрасте и единственный из соматических показателей может претендовать на роль триггера, в частности, возраста менархе. Длина тела в 17 лет, фактически дефинитивная длина тела для девушек, практически не связана с событиями пубертатного возраста.

Научная литература

- Балахонова Е. И. Изменчивость соматических параметров у девочек в группах разного биологического возраста в перипубертатный период. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Москва, 1991. 20 с.
- Бацевич В. А. Темпы возрастной изменчивости скелета в современных популяциях человека (антропозкологические аспекты). Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Москва, 2022. 46 с.
- Бунак В. В. Факторы, определяющие физическую дееспособность и физическое развитие в период роста // Труды V Науч. конф. по возрастной морфол., физиол. и биохимии. М.: Изд-во Акад. пед. наук РСФСР, 1962. С. 37–44.
- Дерябин В. Е., Федотова Т. К., Ямпольская Ю. А. Устойчивость морфологической структуры внутригрупповой изменчивости детей школьного возраста. М.: ВИНТИ № 50–В2006, 2006. 303 с.
- Соловьева В. С. Уровень полового созревания как один из показателей биологического возраста организма подростка и аспекты его применения // Рост и развитие ребенка. М.: Издательство Московского университета, 1973. С. 152–188.
- Соловьева В. С., Фетисов Г. В. Сравнительные данные по половому созреванию русских школьников Москвы и долган Таймыра // Вопросы антропологии. 1968. Вып. 29. С. 72–89.
- 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., Пермякова Е. Ю. Информативность показателей биологического возраста в популяционном мониторинге (возраст менархе и пик скорости роста и их ассоциированность) // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2025. № 3. С. 40–50. <http://dx.doi.org/10.55959/MSU2074-8132-25-3-3>
- Хрисанфова Е. Н. Возрастная антропология // Антропология. М.: Издательство МГУ, 1999. С. 126–174.
- Ямпольская Ю. А. Физическое развитие школьников — жителей крупного мегаполиса в по-

- следние десятилетия: состояние, тенденции, прогноз, методика скрининг-оценки. Дисс. докт. биол. наук. Москва, 2000. 76 с.
- Billewicz W. Z., Fellowes H. M., Thomson A. M.* Menarche in Newcastle upon Tyne Girls // *Annals of Human Biology*. 1981. Vol. 8. № 4. P. 313–320. <https://doi.org/10.1080/03014468100005111>
- 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 Biology*. 2024. Vol. 25. № 1. P. 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13059-023-03136-z>
- Demirjian A., Buschang P. H., Tanguay R., Patterson D. K.* Interrelationships Among Measures of Somatic, Skeletal, Dental, and Sexual Maturity // *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1985. Vol. 88. № 5. P. 433–438. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(85\)90070-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(85)90070-3)
- Dunger D. B., Ahmed M. L., Ong K. K.* Early and Late Weight Gain and the Timing of Puberty // *Molecular and Cellular Endocrinology*. 2006. Vol. 254–255. P. 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 // *Anthropologischer Anzeiger*. 2019. Vol. 76. № 1. P. 37–47. <https://doi.org/10.1127/anthranz/2019/0920>
- Frisch R. E., Revelle R.* Height and Weight at Menarche and a Hypothesis of Critical Body Weights and Adolescent Events // *Science*. 1970. Vol. 169. № 3943. P. 397–398. <https://doi.org/10.1126/science.169.3943.397>
- Gasser T., Molinari L., Largo R.* A Comparison of Pubertal Maturity and Growth // *Annals of Human Biology*. 2013. № 40. P. 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 // *The Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2024. Vol. 9. № 3. P. 1–15. <https://doi.org/10.3390/jfmk9030127>
- 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 // *Pediatric Research*. 2023. Vol. 94. № 5. P. 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 // *Human Biology*. 1981. Vol. 53. № 4. P. 593–598.
- Koziel 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 Science, Medicine and Rehabilitation*. 2024. Vol. 16. № 1. P. 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13102-024-00905-6>
- Largo R. H., Prader A.* Pubertal Development in Swiss Girls // *Helvetica Paediatrica Acta*. 1983. Vol. 38. № 3. P. 229–243.
- Molinari L., Gasser T., Largo R.* A Comparison of Skeletal Maturity and Growth // *Annals of Human Biology*. 2013. Vol. 40. P. 333–340.
- 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 // *Molecular and Cellular Endocrinology*. 2006. Vol. 254–255. P. 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. Vol. 12. № 11. P. 1–14. <https://doi.org/10.3390/sports12110287>
- Sabinkar G., Sabinkar B., Sarathi V., Kumar D.K.* Growth Velocity in South Indian Children Between Three and 18 Years of Age // *Cureus*. 2023. Vol. 15. № 12. P. 1–7. <https://doi.org/10.7759/cureus.50865>

- Tanner J. M. Growth at Adolescence. London, Oxford: Blackwell Scientific Publications, 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*. 2025. Vol. 24. № 1. P. 167–177. <https://doi.org/10.1007/s42000-024-00594-3>
- Zhu K., Greenfield H., Zhang Q., Du X., Ma G. et al. Growth and Bone Mineral Accretion During Puberty in Chinese Girls: a Five-Year Longitudinal Study // *Journal of Bone and Mineral Research*. 2008. Vol. 23. № 2. P. 167–172. <https://doi.org/10.1359/jbmr.071006>

References

- Balakhonova, E. I. 1991. *Izmenchivost' somaticheskikh parametrov u devochek v gruppakh raznogo biologicheskogo vozrasta v peripubertatnyi period* [Variability of somatic parameters of girls in groups of different biological age in peripubertal period]. PhD diss. abstract, Moscow State University. 20 p.
- Batsevich, V. A. 2022. *Tempy vozrastnoi izmenchivosti skeleta v sovremennykh populiatsiakh cheloveka (antropoekologicheskie aspekty)* [The Rate of Age-Related Skeletal Variability in Modern Human Populations (Anthropoecological Aspects)]. Doctoral diss. abstract, Moscow State University. 46 p.
- Billewicz, W. Z., H. M. Fellowes and A. M. Thomson. 1981. Menarche in Newcastle upon Tyne girls. *Annals of Human Biology* 8(4): 313–320. <https://doi.org/10.1080/03014468100005111>
- Bradfield, J. P., R. L. Kember, A. Ulrich, Z. Balkhiyarova, A. Alyass, et al. 2024. Trans-Ancestral Genome-Wide Association Study of Longitudinal Pubertal Height Growth and Shared Heritability with Adult Health Outcomes. *Genome Biology* 25(1): 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13059-023-03136-z>
- Bunak, V. V. 1962. *Faktory, opredelivaiushchie fizicheskuiu deesposobnost' i fizicheskoe razvitiye v period rosta* [Factors Determining Physical Capacity and Physical Development During the Growth Period]. In *V nauchnoy konferentsii po vozrastnoy morfologii, fiziologii i biohimii* [Proceedings of the V Scientific Conference on Age-Related Morphology, Physiology, and Biochemistry]. Moscow: Izdatel'stvo Akademii pedagogicheskikh nauk RSFSR. 37–44.
- Demirjian, A., P. H. Buschang, R. Tanguay, and D. K. Patterson. 1985. Interrelationships Among Measures of Somatic, Skeletal, Dental, and Sexual Maturity. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 88(5): 433–438. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(85\)90070-3](https://doi.org/10.1016/0002-9416(85)90070-3)
- Deriabin, V. E., T. K. Fedotova, and Yu. A. Yampolskaia. 2006. *Ustoichivost' morfologicheskoi struktury vnutrigruppovoi izmenchivosti detei shkol'nogo vozrasta* [Stability of the Morphological Structure of Intragroup Variability in School-Age Children]. Moscow: VINITI 50–V2006. 303 p.
- Dunger, D. B., M. L. Ahmed, and K. K. Ong. 2006. Early and Late Weight Gain and the Timing of Puberty. *Molecular and Cellular Endocrinology* 254–255: 140–145. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2006.04.003>
- Durda-Masny, M., T. Hanć, Z. Czaplá, and A. Szwed. 2019. BMI at Menarche and Timing of Growth Spurt and Puberty in Polish Girls — Longitudinal Study. *Anthropologischer Anzeiger* 76(1): 37–47. <https://doi.org/10.1127/anthranz/2019/0920>
- Fedotova, T. K., A. K. Gorbacheva, and E. Yu. Permiakova. 2025. Informativnost' pokazatelei biologicheskogo vozrasta v populiatsionnom monitoringe (vozrast menarkhe i pik skorosti rosta i ikh assotsiirovannost') [Urgency of Parameters of Biological Age in Population Monitoring of Growth Processes (Age at Menarche and Peak Height Velocity and Their Correlations)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya* 3: 40–50. <http://dx.doi.org/10.55959/MSU2074-8132-25-3-3>
- Frisch, R. E., and R. Revelle. 1970. Height and Weight at Menarche and a Hypothesis of Critical Body Weights and Adolescent Events. *Science* 169(3943): 397–398. <https://doi.org/10.1126/science.169.3943.397>

- Gasser, T., L. Molinari, and R. Largo. 2013. A Comparison of Pubertal Maturity and Growth. *Annals of Human Biology* 40: 341–347.
- Gerber, B., and A. E. Pienaar. 2024. 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. *The Journal of Functional Morphology and Kinesiology* 9(3): 1–15. <https://doi.org/10.3390/jfmk9030127>
- Higuchi, Y., N. Matsumoto, S. Fujiwara, Y. Ebuchi, M. Furujo, et al. 2023. Association Between Infant Breastfeeding Practices and Timing of Peak Height Velocity: A Nationwide Longitudinal Survey in Japan. *Pediatric Research* 94(5): 1845–1854. <https://doi.org/10.1038/s41390-023-02706-y>
- Hoshi, H., and M. Kouchi. 1981. Secular Trend of the Age at Menarche of Japanese Girls with Special Regard to the Secular Acceleration of the Age at Peak Height Velocity. *Human Biology* 53(4): 593–598.
- Khrisanfova, E. N. 1999. Vozrastnaia antropologiiia [Auxology]. In *Antropologiiia* [Anthropology], by E. N. Khrisanfova, I. V. Perevozchikov. Moscow: Izdatel'stvo MGU. 126–174.
- Kozieł, S. M., A. Suder, M. Chrzanowska, M. Králik, and R. M. Malina. 2024. Growth Status and Age at Peak Height Velocity Among Youth Participants in Several Sports: The Cracow Longitudinal Study. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation* 16(1): 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13102-024-00905-6>
- Largo, R. H., and A. Prader. 1983. Pubertal Development in Swiss Girls. *Helvetica Paediatrica Acta* 38(3): 229–243.
- Molinari, L., T. Gasser, and R. Largo. 2013. A Comparison of Skeletal Maturity and Growth. *Annals of Human Biology* 40: 333–340.
- Ong, K. K., M. L. Ahmed, and D. B. Dunger. 2006. Lessons from Large Population Studies on Timing and Tempo of Puberty (Secular Trends and Relation to Body Size): The European Trend. *Molecular and Cellular Endocrinology* 254–255: 8–12.
- Retzepis, N. O., A. Avloniti, C. Kokkotis, M. Protopapa, T. Stampoulis, and et al. 2024. Identifying Key Factors for Predicting the Age at Peak Height Velocity in Preadolescent Team Sports Athletes Using Explainable Machine Learning. *Sports (Basel)* 12(11): 1–14. <https://doi.org/10.3390/sports12110287>
- Sabinkar, G., B. Sabinkar, V. Sarathi, and D. K. Kumar. 2023. Growth Velocity in South Indian Children Between Three and 18 Years of Age. *Cureus* 15(12): 1–7. <https://doi.org/10.7759/cureus.50865>
- Solovieva, V. S. 1973. Uroven' polovogo sozrevaniia kak odin iz pokazatelei biologicheskogo vozrasta organizma podrostanta i aspekty ego primeneniia [The Level of Puberty as an Indicator of Biological Age of the Adolescent Body and Aspects of Its Application]. In *Rost i razvitie rebenka* [Growth and Development of Children], ed. by N. N. Miklashevskaiia. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta. 152–188.
- Solovieva, V. S., and G. V. Fetisov. 1968. Sravnitel'nye dannye po polovomu sozrevaniuu russkikh shkol'nikov Moskvy i dolgan Taimyra [Comparative Data on Sexual Maturation of Russian Schoolchildren in Moscow and Dolgans of Taimyr]. *Voprosy antropologii* 29: 72–89.
- Tanner, J. M. 1962. *Growth at Adolescence*. London; Oxford: Blackwell Scientific Publications. 325 p.
- Tsinopoulou, V. R., F. Bacopoulou, S. Fidani, and A. Christoforidis. 2025. Genetic Determinants of Age at Menarche: Does the LIN28B Gene Play a Role? A Narrative Review. *Hormones* 24(1): 167–177. <https://doi.org/10.1007/s42000-024-00594-3>
- Uchakina, R. V., V. V. Filippova, M. I. Solovyova, and V. K. Kozlov. 2004. Fizicheskoe i polovoe razvitie devochek, prozhivaiushchikh v razlichnykh ekologicheskikh zonakh Priamur'ia i Yakutii [Physical and Sexual Development of Young Females, Living in Environmentally Different Parts of Pryamurye and Yakutia]. *Biulleten' fiziologii i patologii dykhanii* 19: 42–46.

- Yampolskaia, Yu. A. 2000. *Fizicheskoe razvitie shkol'nikov — zhitelei krupnogo megapolisa v poslednie desiatiletia: sostoianie, tendentsii, prognoz, metodika skrining-otsenki* [Physical Development of Schoolchildren — Residents of a Large Metropolis Through Recent Decades — Status, Trends, Forecast, Screening Assessment Methodology]. Doctoral diss., Moscow State University. 76 p.
- Zhu, K., H. Greenfield, Q. Zhang, X. Du, G. Ma, et al. 2008. Growth and Bone Mineral Accretion During Puberty in Chinese Girls: A Five-Year Longitudinal Study. *Journal of Bone and Mineral Research* 23(2): 167–172. <https://doi.org/10.1359/jbmr.071006>