

DOI: 10.46742/2072-8840-2024-79-3-61-87

УДК: 612.65

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕКА

Сонькин В.Д.

ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребенка»

Москва, РФ

E-mail: sonkin@mail.ru

АННОТАЦИЯ. В статье представлен теоретический анализ ведущих принципов, лежащих в основе индивидуального развития организма человека. Рассмотрены причины и следствия проявления этих принципов. Особое внимание уделено периодизации онтогенеза человека как важному в практическом отношении инструменту.

Ключевые слова: индивидуальное развитие; рост и дифференцировка; возрастная периодизация; принципы онтогенеза

Sonkin V.D.

Physiological principles of individual human development

ABSTRACT. The article presents a theoretical analysis of the leading principles underlying the individual development of the human body. The causes and consequences of the manifestation of these principles are considered. Particular attention is paid to the periodization of human ontogenesis regarded as an important practical tool.

Key words: individual development; growth and differentiation; age periodization; principles of ontogenesis

Индивидуальное развитие человека подчиняется биологическим законам, справедливым для многоклеточных организмов, и характеризуется целым набором свойств, которые могут быть названы физиологическими принципами онтогенеза (индивидуального развития). Наиболее очевидное и основополагающее свойство – неравномерность роста и развития. Эта неравномерность выступает как важнейший фактор в восходящей части онтогенеза, охватывающей младенчество, детство и юность, но продолжается и в стабильной части онтогенеза, когда организм сохраняет неизменными основные морфологические и физиологические характеристики на протяжении десятков лет. С новой силой неравномерность проявляется в нисходящей части онтогенеза, на фоне старческой дегенерации. Именно индивидуальные особенности этой неравномерности формируют уникальный

персональный анатомо-физиологический облик каждого человека в любом возрасте. Мы же ограничим наш анализ эпохой восходящего онтогенеза.

Неравномерность роста и развития как исходная точка понимания механизмов онтогенеза

Если посмотреть на графики увеличения массы или длины тела с возрастом, то они демонстрируют неуклонный рост на протяжении всей восходящей фазы онтогенеза, и этот рост кажется однородным и равномерным.

Однако, если рассмотреть динамику первой производной скорости роста, которую легко вычислить по формуле $DP = (P_2 - P_1)/P_1$, где P – это масса (или длина) тела, 1 и 2 – последовательные точки измерения, то обнаружится неравномерность процессов роста, причем в данном случае именно неравномерность является биологической нормой. Оказывается, на самом деле рост то ускоряется, то сильно замедляется, и примечательно то, что у разных индивидуумов периоды ускорения и торможения роста примерно совпадают по возрасту.

Сходная закономерность проявляется в динамике качественных изменений организма. Созревание тех или иных структур, а вместе с ними и физиологических функций, происходит не хаотично, а последовательно, шаг за шагом, в определенные промежутки времени с момента зачатия. Здесь тоже соответствующие периоды созревания той или иной функции у всех индивидуумов примерно совпадают. Так работает алгоритм возрастных преобразований, выполняющийся под управлением генетического аппарата каждой клетки многоклеточного организма. Неравномерность процессов роста и развития представляет собой фундаментальную закономерность, неуклонно действующую в процессе разворачивания генетической программы онтогенеза.

Здесь необходимо подчеркнуть, что понятия роста и развития – это не синонимы, а принципиально различающиеся ряды событий, в ходе которых либо усложняется организация той или иной функции (развитие), либо увеличивается объем биомассы организма (рост). На клеточном уровне рост выражается в пролиферации – увеличении размеров клеток и/или их числа. Развитие выражается в процессах дифференцировки, благодаря чему клетки приобретают новые свойства и начинают выполнять новые, недоступные им прежде функции.

Еще в 20-е годы прошлого века цитологи пришли к выводу, что каждая клетка может находиться в одном из двух состояний: либо она готова к пролиферации (делению, увеличению размеров), либо к дифференцировке (разворачиванию новых генетических программ и изменению ферментного

состава). Современные данные клеточной биологии, в частности изучения стволовых клеток, многократно подтверждают правильность этого вывода. По меткому выражению академика Ивана Ивановича Шмальгаузена [29], следствием этого цитологического постулата является то, что процессы роста и дифференцировки в многоклеточном организме разнесены либо в пространстве, либо во времени.

Причинный принцип – реципрокность роста и развития

Каждая клетка организма живет не сама по себе, а в составе той или иной ткани. Ткань включает популяцию клеток одного типа (например, эпителиальных), а также структуры, предназначенные для жизнеобеспечения этой клеточной массы, обеспечения её метаболизма и регуляции функциональной активности (сосуды, нервные волокна и окончания, соединительнотканые компоненты). Ткань функционирует как единое целое, хотя и состоящее из отдельных живых существ – клеток, но эти клетки, как правило, не жизнеспособны вне ткани. Каждый орган состоит из нескольких тканей, соединенных в определенные структуры, необходимые для реализации функций и нормального метаболизма. **Рост** органа всегда сопряжен с увеличением размеров входящих в него тканей. **Развитие** органа предполагает приобретение им новых, прежде невыполнимых функций (а иногда утрату функций, переставших быть актуальными). Так вот, не только на уровне отдельных клеток, но и на уровне тканей и органов справедливо утверждение, что рост и развитие не могут идти одновременно в одно и то же время в одном и том же месте – они реципрокны, и это **первый принцип физиологии развития**.

Ещё раз повторим, что этот принцип является прямым следствием свойства клеток нашего тела в каждый момент времени пребывать только в одном из двух возможных состояний: в одном случае готовом к пролиферации (росту), в другом случае к дифференцировке (развитию). Это означает, что быстро растущее сообщество клеток в конкретном органе в этот период не способно к развитию, то есть изменению своих функциональных активностей. И наоборот, временная остановка роста клеток может означать их подготовку к очередному этапу дифференцировки, то есть приобретения нового качества. При этом однотипные клетки, расположенные в разных органах, могут находиться как в сходных состояниях, так и в «противофазе» – поскольку они разнесены в пространстве.

Реципрокные взаимоотношения между ростом и развитием, пролиферацией и дифференцировкой, служат **причиной** для целого ряда других принципов физиологии развития (Рис. 1), они представляют собой краеугольный камень всего здания физиологической теории онтогенеза.

Рассмотрим важнейшие следствия, составляющие каркас этого здания.



Рис. 1 Иерархия физиологических принципов онтогенеза

Пояснения в тексте.

Принципы-следствия: гетерохрония, гетеротопия, гетеросенситивность, нарастающая гетерогенность, гетеродинамность.

Главным для физиологии развития многие годы считался *принцип гетерохронии развития*, применительно к онтогенезу сформулированный академиком П.К. Анохиным [1]. Согласно Анохину, развитие физиологических систем протекает не синхронно или одновременно, а разновременно (гетерохронно) – по мере актуализации тех или иных биологических задач. Например, у новорожденного нет зубов и хорошо развит сосательный рефлекс, потому что его пища – это молоко матери, а зубы мешали бы процессу сосания. На следующем этапе онтогенеза зубы прорежутся и научатся кусать, измельчать пищу, а молочное вскармливание перестанет быть главным источником пищевых веществ. Функциональная система питания поднимется на новый уровень своего развития.

Надо отметить, что принцип гетерохронности развития тесно увязан с кибернетической по своей сути концепцией функциональной системы, разработанной П.К. Анохиным [2]. Анохин подчеркивает разновременное развитие компонентов функциональной системы, которая на протяжении жизни может неоднократно изменяться качественно и количественно в координации с условиями окружающей среды, меняющимися по ходу роста и развития. Если продолжать рассматривать в качестве примера

функциональную систему питания, то можно заметить, что постепенное разворачивание ферментативной активности желудочно-кишечного тракта корреспондирует с качественным изменением состава употребляемой пищи. Вслед за периодом новорожденности, когда молозиво и грудное молоко полностью покрывают потребности детского организма в калориях и питательных веществах, ребенок переходит к более сложным и грубым продуктам, для чего должны быть подготовлены соответствующие ферментные системы пищеварительного тракта. Они не созревают заранее, они созревают как раз в срок – к моменту их оптимального использования.

При этом П.К. Анохин подчеркивает, что и структура, то есть состав и взаимодействие компонентов развивающейся функциональной системы, меняется по ходу развития. Для эффективной работы функциональной системы вовсе не обязательно, чтобы все её компоненты достигли финальной зрелости – напротив, даже частичное созревание нужных компонентов может обеспечить достижение целей данного этапа развития, а именно это – главный критерий дееспособности системы. Так два выдающихся обобщения академика П.К. Анохина – теория функциональных систем и принцип гетерохронности развития – объединяются в фундаменте физиологической теории онтогенеза.

Следующим в ряду непосредственных следствий реципрокности роста и развития может быть назван *принцип гетеротопности развития*, то есть зависимости темпов и траектории развития от местоположения клеток (тканей, органов) в организме. В эмбриогенезе этот принцип начинает работать на 3-4 день после зачатия, когда завершается первичный этап дробления зиготы, на котором все клетки ещё равноценны, и формируется гастрולה, у которой уже можно выделить апикальный (головной) и каудальный (хвостовой) конец, и появляется качественное различие между клетками, расположенными в апикальном и каудальном регионах. На этом этапе онтогенеза начинает работать правило кранио-каудального градиента, то есть неравномерности развития «от головы к хвосту», и как частный случай – «от центра к периферии». Действие этого правила в онтогенезе является одним из признаков, сближающих онтогенез с филогенезом – ведь в историческом развитии позвоночных животных тоже работает кранио-каудальный градиент: органы и ткани, расположенные ближе к голове, созревают в процессе эволюции раньше, чем дистально расположенные структуры [23, 30]. При этом дистальные органы могут достигать больших размеров, поскольку они растут дольше. Это влияет на формирующиеся пропорции тела. Подтверждения действенности этих принципов возрастного развития имеются

на материале роста звеньев скелета, отделов скелетной мускулатуры, развития центральной нервной системы, и т.д.

По мере дифференцировки клеток и усложнения организма эмбриона формируются три зародышевых листка – эктодерма, мезодерма и энтодерма, принадлежность к которым уже сама по себе означает качественное своеобразие клеток по сравнению с другими, и определяет их судьбу в смысле формирования различных тканей организма. Так, нервная ткань и кожа формируются из эктодермы, жировая ткань и паренхиматозные внутренние органы – из энтодермы, а все виды мышечной ткани – из мезодермы. Таким образом, местоположение клеток зародыша определяет их качественные свойства и дальнейшую судьбу.

Около 100 лет назад этот феномен активно изучал известный эмбриолог профессор А.Г. Гурвич. Он разработал теорию морфогенетического (биологического) поля [11], которое обеспечивает дистантное взаимодействие между клетками организма. Эти идеи многократно подвергались экспериментальной проверке [5], однако надежных результатов получено недостаточно, чтобы всерьез рассуждать о биополях. Возможно, еще не изобретен такой измерительный инструмент, который позволит выявлять эти сверхслабые, но очень важные взаимодействия.

Принцип гетеросенситивности подразумевает, что чувствительность организма к внешним воздействиям меняется с течением времени, обостряясь в определенные «сенситивные» периоды.

Прямым доказательством этого принципа служит тот факт, что в отсутствии общения ребенка с людьми не может сформироваться членораздельная речь и прямохождение. Сказка про Маугли правдива в той части, что дикие звери могут выкормить и вырастить человеческое дитя, приучив его к своим повадкам, но вернуться к людям оно уже не сможет – не только из-за проблем с речью, но и невозможности реализовать вертикальную позу, которая для нас привычна, а для большинства видов животных невозможна. Приучить этих детей, выращенных волками или другими дикими зверьями, к прямохождению бывает крайне сложно, а развить речь просто невозможно, если ребенок упустил в общении с людьми свой сенситивный период, который для речи продолжается в возрасте от 1.5 до 4-5 лет.

Концепция сенситивных периодов родилась в этологии (раздел зоопсихологии) и отмечена Нобелевской премией. Её получил австрийский биолог Конрад Лоренц в 1973г. за свои исследования поведения животных [17]. В частности, он изучал поведение птенцов утки и курицы, которые в первые несколько часов после вылупления из яйца должны «запечатлеть» крупный объект, за которым в дальнейшем будут следовать. Обычно в нор-

мальных условиях это бывает их мать – и утята или цыплята гуськом идут вслед за матерью, куда бы она ни пошла. Лоренц демонстрировал птенцам вместо матери большой мяч или даже себя самого – и они запечатлевали подложенный объект и следовали за ним, не обращая внимания на настоящих родителей. Лоренц назвал это явление «импринтингом» и доказал, что для его реализации у птенцов имеется достаточно узкий интервал времени. Этот интервал и является «сенситивным периодом».

В теории спортивной тренировки детей и подростков нередко используется понятие «окно тренируемости», близкое по смыслу к сенситивному периоду. Проблемой сенситивных периодов в физическом воспитании детей и подростков много занимался белорусский ученый профессор А.А. Гужаловский [10], считавший, что сенситивный период в развитии того или иного двигательного качества наступает тогда, когда показатели этого качества наиболее быстро увеличиваются в процессе нормального онтогенеза.

Теория сенситивных периодов страдает недостаточной доказанностью своих положений, потому что методически крайне сложно провести убедительный эксперимент, выявляющий чувствительность к внешнему воздействию. А пройдя тот или иной возрастной период, вернуться в него уже невозможно. Поэтому для выявления периодов сенситивности нужны сложные статистические расчеты, базирующиеся на больших выборках – что усложняет поиск надежных доказательств. Одно из наиболее полных исследований сенситивности было проведено С.Н. Блинковым [16] на базе крупной сельской школы с большим числом учащихся. Автору удалось показать не только наличие различных сенситивных периодов для развития разных двигательных качеств, но выявить их специфику для представителей разных типов телосложения. Материалы С.Н. Блинкова в целом подтвердили предположение А.А. Гужаловского о том, что наиболее восприимчивыми к внешним влияниям свойствами являются те, которые в данный период быстро формируются.

Следующий принцип, который определяет динамику развития организма в восходящем онтогенезе – *принцип нарастающей гетерогенности*. Его суть состоит в том, что на начальных этапах возрастного развития свойства разных по своей функциональной характеристике тканей организма имеют значительные сходства, а по мере развития между ними становится все больше различий. В качестве примера можно привести данные об организации энергетического метаболизма в ткани печени и ткани скелетных мышц, полученные в лаборатории И.А. Корниенко работами к.б.н. Галины Михайловны Масловой [20] и к.б.н. Владимира Ильича Дёмина [12]: в раннем возрасте свойства митохондрий и форматы организации окислительно-

го процесса в этих тканях очень близки, тогда как с возрастом усиливаются различия, и к завершению полового созревания организация энергетического метаболизма в печени и скелетных мышцах существенно различается. Как следствие этой разницы, зрелые скелетные мышцы могут менять интенсивность энергетического метаболизма в диапазоне от уровня покоя до максимума, превышающего покой примерно в 100 раз, тогда как в печени аналогичный диапазон составляет не более 4-кратного. Для реализации такой специфики метаболизма в мышцах формируется специфическая креатинкиназная система, обеспечивающая не только челночную функцию креатинфосфата по транспорту макроэргов из митохондрий в цитоплазму, но и резервную – чего нет в печени, поскольку её функциональная активность не колеблется в таких огромных пределах как в скелетных мышцах. Печень всегда функционирует в рамках возможностей окислительной системы, тогда как скелетные мышцы могут выполнять свою главную функцию – сократительную активность – за счет анаэробных механизмов, обладающих значительно превосходящей мощностью [13]. Следует отметить, что с возрастом гетерогенность, по крайней мере некоторых тканей, возрастает –

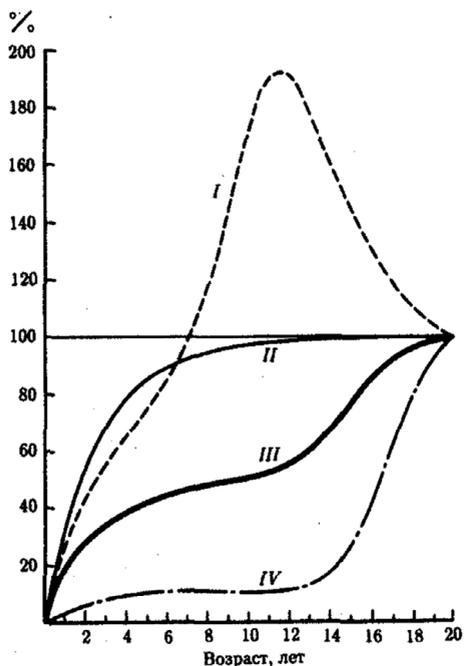


Рис. 2 Типы роста тканей человека

I – кривая роста лимфатической ткани
 II – кривая роста мозга
 III – кривая роста тела
 IV – кривая роста органов размножения

так, скелетные мышцы новорожденного представлены, главным образом, неспециализированными волокнами эмбрионального типа, а к юношескому возрасту формируются 3 типа четко специализированных волокон: типа А (окислительные медленные, выносливость); типа В1 (промежуточные, мощность); типа В2 (гликолитические быстрые, сила) [26]. Есть основания полагать, что в нервной ткани также наблюдается нарастающая гетерогенность структур по мере движения к юношескому возрасту [24].

Ещё одну закономерность возрастного развития различающихся по функции и организации метаболизма тканей представляет принцип *гетеродинамности*, который проявляется в разной динамике функциональных возможностей на протяжении онтогенеза (рис. 2).

На рис. 2 разные органы и ткани представлены в динамике своего роста в процентах от взрослого состояния. Быстрее всех достигает взрослых (дефинитивных) размеров головной мозг и связанные с ним органы – уже к 14 годам размеры этих структур достигают взрослого уровня. Все другие ткани и органы растут иначе, и достигают взрослых размеров только к 18-20 годам, то есть уже после завершения полового созревания. Причем это не означает, что эти органы растут медленнее – так, например, лимфоидная ткань (а это железы, аденоиды, аппендикс, тимус, лимфатические железы и т.п.) достигает 100%-го уровня уже в 6-8 лет, затем к 12-13 годам демонстрирует увеличение до 200% от взрослой нормы, но вскоре начинает быстро снижаться, и эта инволюция завершается вместе с половым созреванием. Кривая III отражает динамику роста всего тела, включая костный, мышечный и жировой компоненты. Медленнее всего в детстве растут органы размножения (кривая IV), но к завершению полового созревания скорость их роста резко возрастает, и они достигают взрослых размеров к 16-18 годам.

Гетеродинамность напрямую связана с гетерохронностью развития и является одним из проявлений этой узловатой закономерности онтогенеза. Органы растут настолько, насколько функциональные системы организма нуждаются в их активном участии. Например, лимфатические ткани, играющие принципиальную роль в адаптации детского организма к внешней среде благодаря их участию в формировании иммунного ответа, достигают наивысшего уровня развития в период детства, для которого характерно формирование социальных контактов и взаимодействие с широким кругом сверстников, являющихся потенциальными источниками патогенной флоры и фауны. Мозговые структуры уже в детстве достигают такого уровня, который позволяет решать разнообразные задачи, связанные с процессами обучения и воспитания. Позже всего вырастают органы размножения, поскольку они не нужны, пока не созреют специализированные железы внутренней секреции, а также скелетно-мышечная система. Это предотвращает чрезмерно раннее вступление в половую жизнь и защищает незрелый детский организм от драматических ошибок.

Все эти принципы-следствия первого порядка определяют возникновение следствий второго порядка, которые представляют собой практически реализующиеся закономерности, обеспечивающие расширение с возрастом адаптивных возможностей организма и достижение высшей эффективности физиологических функций. Это и есть признаки зрелости организма.

Принципы-результаты: специализация, экономизация, периодизация, биологическая надежность

Одним из важных результатов роста и развития является формирование специализированных свойств, характерных для конкретного организма. Иными словами, выполнение некоторых вариантов функций становится предпочтительным, поскольку к этому есть особые приспособления. ***Специализацию*** можно рассмотреть на примере мышечной функции, поскольку в строении скелетных мышц есть аспекты, непосредственно связанные со специализацией. Как уже было отмечено, зрелые скелетные мышцы состоят из трех типов мышечных волокон (клеток), специализированных для выполнения движений различного характера, причем формирование дефинитивного паттерна состава мышц из разных волокон происходит только на завершающих стадиях полового созревания и зависит от местоположения мышцы (и, соответственно, типичной для нее формы активности), типа морфофункциональной конституции человека и генетических предикторов развития двигательных качеств [26]. Спортивные педиатры называют детей до полового созревания «метаболическими неспециалистами» [33], тогда как после завершения пубертатных преобразований в организме каждый человек может быть отнесен к одной из трёх групп «специализации» – с преимущественным развитием аэробной энергетики, анаэробно-гликолитической энергетики, либо анаэробной фосфагенной энергетики [4]. Эти три варианта организации метаболизма определяют предрасположенность к упражнениям на выносливость, силу или проявление скоростно-силовых качеств, соответственно. Такая специализация развивается начиная с 4-5 лет, но полностью проявляется не ранее 14-15 лет на фоне пубертатных перестроек организма [25]. Специализация напоминает по эффекту целенаправленную адаптацию, но протекает в онтогенезе естественно, без давления со стороны окружающей среды.

Наряду со специализацией, и во многом благодаря ей, функции организма становятся более экономичными. ***Принцип экономизации*** сближает онтогенез человека с долговременной адаптацией, потому что в обоих случаях изменения в организме направлены на повышение эффективности функций. Только в онтогенезе это происходит благодаря разворачиванию программы развития, а при адаптации – благодаря ремоделированию органов и тканей, несущих ключевую нагрузку при конкретном виде адаптации. Механизм реализации принципа экономизации также очень близок в ходе онтогенеза и адаптации (в частности, спортивной тренировки): благодаря специфическим морфофункциональным преобразованиям, организм получает возможность повысить свою максимальную производительность в том

или ином режиме активности, и тогда наиболее типичные, привычные зоны активности оказываются существенно ниже зоны функционального напряжения. В этом случае затраты организма на полезную функциональную активность становятся значительно меньше, чем при приближении к максимуму (рис. 3). Кстати, эту разницу между ребенком и взрослым необходимо учитывать при планировании любой дополнительной активности в детском возрасте – не следует забывать, что ребенок живет постоянно в более высоком темпе, чем взрослый, и все его функции в норме активированы сопоставительно выше. Выполняя относительно более высокие нагрузки, ребенок нуждается и в более продолжительном и эффективном отдыхе.

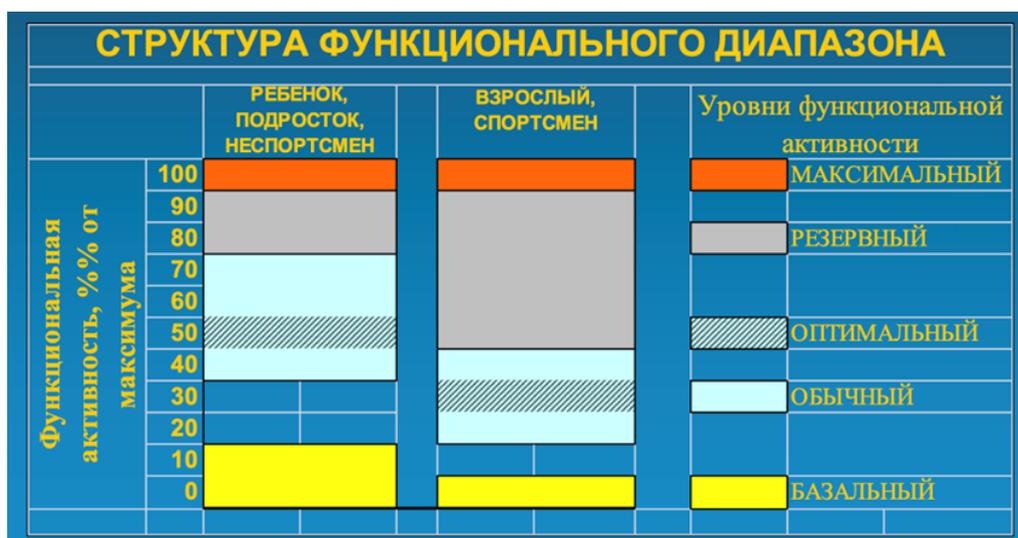


Рис. 3 Сравнение структуры функционального диапазона ребенка и взрослого

Для иллюстрации возрастной экономизации функций можем рассмотреть изменения кислородного пульса – показателя количества кислорода, которое доставляется к работающим органам за 1 сокращение сердца. У 7-летнего мальчика в покое эта величина составляет 2.68 мл/уд, при умеренной по мощности физической нагрузке – 4.47 мл/уд. У 17-летнего юноши в покое кислородный пульс составляет 4.76 мл/уд, а при такой же по относительной мощности работе, как у 7-летнего – 11.6 мл/уд. Увеличение показателя за 10 лет в покое составляет 78%, при нагрузке 159%. Это различие отражает повышение с возрастом экономичности кислородтранспортной функции.

Следствием повышения гетерогенности, специализации и экономизации является **повышение биологической надежности** физиологических функ-

ций, выделенное в качестве важного принципа онтогенеза Акопом Арташесовичем Маркосяном в конце 1960-х годов по результатам исследований системы свертывания крови [19]. Пожалуй, еще более выразительные иллюстрации этого теоретического положения физиологии онтогенеза можно найти в возрастной динамике физической работоспособности (рис. 4).

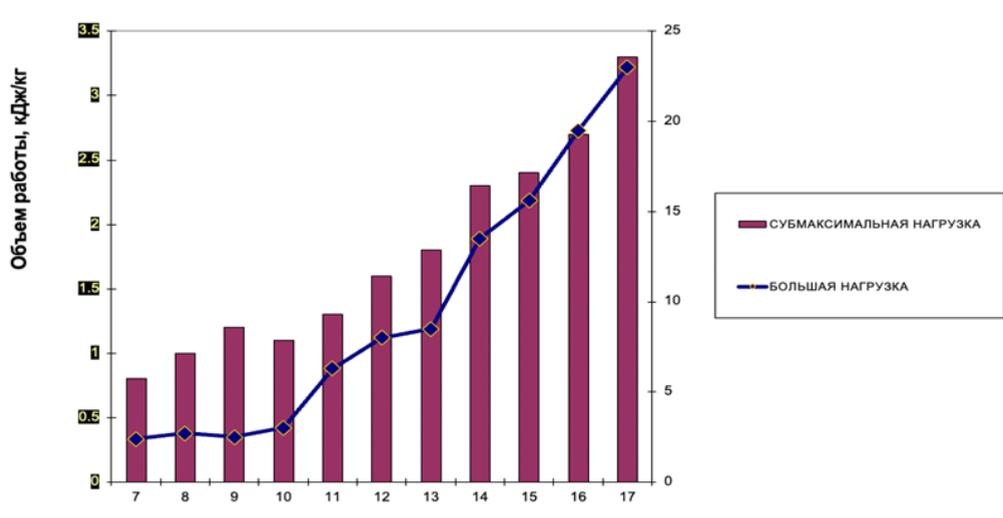


Рис. 4 Повышение с возрастом надежности системы, проявляющееся в 30-кратном увеличении объема выполненной работы при нагрузках разной мощности (мальчики 7-17 лет, работа на велоэргометре «до отказа»)

Как при нагрузке большой относительной мощности (в классификации В.С. Фарфеля), так и субмаксимальной мощности, в период от 7 до 17 лет происходит примерно 30-кратное увеличение объема работы, который могут выполнить мальчики при работе «до отказа». Это однозначно свидетельствует о повышении надежности работы тех систем, которые участвуют в вегетативном и энергетическом обеспечении циклической работы соответствующей мощности – а это широкий круг физиологических процессов как на уровне организма, так и на уровне тканей и отдельных специализированных клеток. Будучи привнесенным из технической литературы, термин «биологическая надежность» прижился в словаре исследователей возрастного развития человека, так как объективно и выразительно отражает сущность происходящих в онтогенезе процессов.

Периодизация возрастного развития

Несколько особняком стоит **принцип этапности**, или периодичности, онтогенетического процесса. Он не вытекает непосредственно из других

принципов, хотя и не противоречит ни одному из них. Можно сказать, что это системообразующий принцип, поскольку его признание ведет к пониманию того факта, что на разных этапах (в разных периодах) своего развития организм преследует различные этапные цели, ни разу не повторяющиеся, которые являются движущей силой онтогенетического процесса на каждом из этапов. В представленной ниже таблице 1 приведена последовательность основных этапов восходящего постнатального онтогенеза, дана характеристика биосоциальных целей каждого этапа, а также обозначены узловые морфофункциональные преобразования, характерные для каждого из этапов.

Важно подчеркнуть, что цели этапов меняются достаточно радикально, хотя и последовательно. Так, например, начальное освоение окружающего мира, характерное для раннего детства, не могло бы происходить до реализации антигравитационных реакций (1-й год жизни), но и не могло бы непосредственно предшествовать созреванию репродуктивных функций, что происходит только в подростковом возрасте.

Что касается содержания морфофункциональных преобразований на каждом этапе, то это вопрос дискуссионный, и в таблице представлены те события в организме, которые являются ключевыми для соответствующих этапов с моей субъективной точки зрения. Важно отметить, что эти события не повторяются, и формируют своеобразную «биологическую тему» каждого из этапов постнатального развития.

Возрастная периодизация базируется на тех или иных фундаментальных закономерностях онтогенеза (понимаемых, кстати, по-разному разными исследователями), и при этом носит явно выраженный прикладной характер, поскольку представляет собой естественно-научный фундамент для социально значимых действий: поступление в ясли и детский сад, начало обучения в школе, переход с одной ступени образования на другую, сроки призыва в армию, и т.п. Поэтому возрастная периодизация имеет административное значение, хотя ни одна из схем возрастной периодизации не получила статуса нормативного документа.

Практическая важность возрастной периодизации стимулировала проведение в 1965г. специального международного симпозиума для обсуждения биомедицинских основ периодизации и возрастных границ периодизации для применения в системе образования. Симпозиум проходил под эгидой Академии педагогических наук СССР и был организован усилиями академика АПН СССР Аюпа Артасесовича Маркосяна с участием видных ученых – антрополога В.В. Бунака, физиолога И.А. Аршавского, знаменитого английского биолога Дж. Таннера, и других. Таннер выступил с теоретическим докладом, в котором критиковал саму идею возрастной периодизации,

Возрастные этапы восходящей части постнатального онтогенеза

Возрастной этап		Биосоциальные цели этапа	Морфофункциональные преобразования
Название	Возраст		
Новорожденный	1-10 дней	Первичная адаптация к физическим, химическим и биологическим факторам среды	«Гормональная буря», завершающаяся формированием устойчивого равновесия между организмом и новой (внеутробной) средой его обитания
Грудной	До 1 года	Подготовка к реализации прямохождения и самостоятельному передвижению; восприятие мира	Структурно-функциональное развитие мышц и простейших движений; формирование иммунитета, микрофлоры организма; бурное развитие анализаторов и когнитивных функций
Раннее детство	1 – 3 года	Начальное освоение окружающего мира	Формирование целенаправленных движений; созревание анализаторных систем
Первое детство	4 – 7 лет	Первичная социализация	Полуростовой скачок роста; преобразование вегетативной регуляции; созревание высших корковых функций; формирование индивидуально-типологических свойств
Второе детство	8 – 12 лет М. 8 – 11 лет Д.	Формирование индивидуального и группового опыта целенаправленной деятельности	Созревание центральных и периферических механизмов, обеспечивающих поддержание устойчивой умственной и физической работоспособности
Подростковый	13 – 16 лет М. 12 – 15 лет Д.	Созревание репродуктивной функции и формирование полового поведения	«Пубертатная революция» – кардинальная перестройка структур и нейроэндокринной регуляции под воздействием гормонов
Юношеский	17 – 21 год М. 16 – 20 лет Д.	Социальная адаптация биологически зрелого организма. Реализация наследственных задатков.	Завершение развития структурных и функциональных компонентов организма как биосистемы; проявление конституциональных особенностей индивида

полагая, что между этапами нет четких границ, а развитие непрерывно и последовательно. Маркосян, Бунак и Аршавский представили свои схемы периодизации постнатального восходящего онтогенеза – они отражены в таблице 2. Дополнительно в этой таблице приведена схема периодизации, разработанная И.А. Корниенко и мной при участии Р.В. Тамбовцевой в 2001г. [15], физиологические основания для этой схемы будут обсуждены ниже.

Возможные подходы к периодизации онтогенеза

Схема В.В. Бунака [6] опирается, главным образом, на антропологический ряд данных, поскольку автор – выдающийся антрополог, создатель алгоритмов измерения и оценки физического развития детей и подростков. Особенности роста и изменения направленности ростовых процессов были теми критериями, которые В.В. Бунак использовал для разграничения возрастных этапов. Всего Бунак выделил 4 эпохи развития в постнатальном онтогенезе: 1-е детство, 2-е детство, подростковый и юношеский возраст, причем 1-е и 2-е детство разделены еще примерно пополам для более точного определения биологического возраста. В целом схема Бунака не имеет социальных привязок и не подчеркивает социальный ранг человека, меняющийся по мере роста и развития.

В противоположность этому, схема И.А. Аршавского [3] даже по названиям этапов полностью социально-ориентированная: ясельный, дошкольный, младший школьный, старший школьный – все это не столько этапы развития, сколько ступени социальной лестницы. И только юношеский возраст избавлен от социальной коннотации. В этой схеме биомедицинские факты и закономерности не являлись предикторами принадлежности тому или иному возрастному этапу, а служили подкреплением для обоснования корректности обозначения границ социальных ступеней развития.

Схема А.А. Маркосяна [18] представляет собой в определенном смысле компромисс между биомедицинским подходом Бунака и социально ориентированным подходом Аршавского. Маркосян заимствует названия возрастных периодов из схемы Бунака, но делает их уникальными, подразделив период детства на три этапа – раннее, первое и второе. При этом подростковый и юношеский этапы сохраняются, причем по срокам юношеский совпадает с предложением Аршавского, а подростковый начинается и заканчивается на 1 год раньше, чем аналогичный этап у Бунака. Последнее может быть объяснено процессами акселерации развития – ведь Бунак опирался на результаты популяционных исследований 40-х годов XX века, а Маркосян – 60-х годов, то есть примерно на 20 лет позже. Между тем, именно в конце 50- начале 60-х процессы акселерации протекали особен-

**Схемы периодизации постнатального восходящего онтогенеза,
предложенные разными авторами (для мальчиков)**

ВОЗ-РАСТ	АВТОРСТВО				
	В.В.Бунак	И.А.Аршавский	А.А.Маркосян	И.А.Корниенко, В.Д.Сонькин, Р.В.Тамбовцева	
1 год	1-е детство: начало	Ясельный	Раннее детство	Недостаточно исследован	
2 года					
3 года					
4 года	1-е детство: конец	Дошкольный	Первое детство	Фаза торможения роста	Период становления школьной зрелости
5 лет				Фаза активации роста	
6 лет					
7 лет	2-е детство: начало	Младший школьный	Второе детство	Фаза торможения роста	Период первой волны пубертатных изменений
8 лет				Фаза активации роста	
9 лет					
10 лет	2-е детство: конец	Старший школьный	Подростковый	Фаза торможения роста	Период второй волны пубертатных изменений
11 лет				Фаза активации роста	
12 лет					
13 лет	Подростковый	Старший школьный	Подростковый	Фаза торможения роста	Период второй волны пубертатных изменений
14 лет				Фаза активации роста	
15 лет					
16 лет	Юношеский	Юношеский	Юношеский	Фаза торможения роста	Период дефинитивного созревания
17 лет				Фаза активации роста	
18 лет				Фаза торможения роста	
19 лет				Фаза индукции роста мышц	
20 лет					
21 год					

но бурно, в результате подростковый период стал наступать на год раньше, и точно так же – юношеский [8, 25].

Будучи компромиссной, схема А.А. Маркосяна получила поддержку большинства участников симпозиума, и была принята в качестве общего стандарта в документах системы образования и некоторых документах здравоохранения. До настоящего времени эта схема широко распространена и используется на практике в педагогике, психологии и медицине [26].

Что касается схемы возрастной периодизации, которую разработали мы с И.А. Корниенко при участии Р.В. Тамбовцевой [15], то она базируется на представлении о реципрокности процессов роста и развития, то есть на 1-м физиологическом принципе онтогенеза. При этом мы сочли, что начальный этап развития – «раннее детство» по Маркосяну – недостаточно исследован для того, чтобы проводить его структурный анализ. Поэтому выделение возрастных этапов в нашей схеме начинается только с 4 лет.

Мы выделяем 4 периода, каждый из которых подразделяется на две фазы. Каждый период начинается с фазы торможения роста – и, соответственно, активации дифференцировочных процессов, ведущих к приобретению качественных новаций в организме. Названия предлагаемых нами периодов развития не несут социальной привязки, а характеризуют критические изменения морфологии и функций организма, достигаемых на соответствующем этапе. Так, первый период называется «становления школьной зрелости», поскольку школьная зрелость предполагает достижение определенного набора морфологических и функциональных свойств, обеспечивающих способность выполнять целенаправленную учебную деятельность в адекватном режиме, то есть достаточный уровень развития психофизиологических, вегетативных, когнитивных и иных функций, делающих пребывание и обучение ребенка в школе не только возможным, но и желательным. Школьная зрелость не возникает мгновенно как некое психологическое новообразование, а постепенно развивается благодаря последовательному и планомерному созреванию отдельных психических и физиологических функций, и часто полностью достигается уже после начала школьного обучения (что может стать причиной некоторых трудностей обучения на начальных этапах) [21].

Далее вступают в игру процессы полового развития, с чем связаны два последовательных возрастных этапа. Не случайно этот многогранный процесс разделен на 2 этапа: на первом стимуляция процессов полового созревания происходит за счет активности мозговых структур, включая гипоталамо-гипофизарную систему как центральный регулятор гормональной активности; на втором этапе управляющие функции все более передаются на периферический уровень – по мере созревания гонад, они все сильнее проявляют свою гормональную активность, и переходят к управлению гормональным статусом организма, сохраняя при этом регулирующую роль гипоталамо-гипофизарной системы [14].

Однако, с половым созреванием развитие организма не заканчивается, поэтому следующий этап назван «период дефинитивного созревания», и характеризуется он в первую очередь созреванием структуры и функции скелетных мышц, особенно у мужчин. Скелетные мышцы составляют около 40% от массы тела, поэтому их вклад в общий облик организма, а также в его метаболические и регуляторные характеристики, очень велик. Наряду с мышцами, в этот период формируется также жировая ткань, играющая важную роль в метаболических реакциях и иммунных процессах в организме. Все это управляется в значительной мере гормонами гонад, разных у мужчин и женщин, поэтому в этот период формируются существенные

различия между мужским и женским организмом. Особенно заметными становятся различия в структуре и свойствах скелетных мышц и жировой ткани. Мышцы в дальнейшем играют важную роль в формировании внутренней среды организма, вырабатывая десятки разнообразных миокинов, влияющих на состояние других тканей организма [7]. Жировые депо, наряду с энергозапасующей функцией, обладают также способностью аккумулировать стероидные гормоны, что влияет на свойства внутренней среды и её стабильность при различных внешних воздействиях [28]. Все эти возможности формируются на фоне уже завершившегося полового созревания.

Границы периодов

При разработке любой схемы возрастной периодизации возникает вопрос об установлении объективных границ периодов, то есть о критериях периодизации. Эти критерии могут быть морфологическими, как в схеме Бунака, либо социальными, как в схеме Аршавского, либо компромиссными, как в схеме Маркосяна. Мы с И.А. Корниенко и Р.В. Тамбовцевой пришли к выводу о целесообразности использования точек перегиба кривой роста для выделения этапов (стадий, периодов) онтогенеза.

Как известно, человек растет неравномерно, этот процесс то ускоряется, то замедляется. Наиболее быстро ребенок растет в утробе матери, а после появления на свет скорость роста быстро снижается. Однако это снижение также может происходить с разной скоростью, отчего на кривой скорости роста возникают точки перегиба – все они имеют биологический смысл, так как всякое снижение скорости ростовых процессов означает одновременное усиление процессов клеточной дифференцировки в тканях организма, и наоборот. Таким образом, точки перегиба на кривой скорости роста отражают границы между фазами торможения и активации роста, и соответственно активации и торможения дифференцировочных процессов. Мы приняли в качестве аксиомы, что каждый очередной возрастной период начинается с фазы торможения роста, то есть активации дифференцировок, в процессе чего формируются новые качественные характеристики организма либо его частей. Вторая фаза – наоборот, представляет собой время относительной активизации роста и торможения дифференцировок, то есть в это время организм увеличивается количественно, но не меняется качественно.

В период пубертатного скачка роста мы наблюдаем не только относительное, но и абсолютное увеличение скорости роста, этот пик скорости роста представляет собой один из критических моментов развития. Количественные изменения в различных частях тела приводят к изменению пропорций, что является фактором качественных перестроек функциони-

рования организма. На этом фоне меняется нейрогуморальная регуляция большинства физиологических функций, формируется взрослый паттерн управления системами организма, проявляется дефинитивный тип реагирования на внешние и внутренние стимулы. Повышается избирательность и эффективность физиологических ответов, увеличивается биологическая надежность при действии разнообразных стимулов – приближается полноценное созревание организма. По мере этого созревания амплитуда активности ростовых и дифференцировочных процессов снижается, и организм постепенно входит в стадию стабильного существования (зрелости), которая длится 2 – 2.5 десятка лет.

Наиболее интегральной функцией организма является величина энергетического обмена, которая в онтогенезе также не стабильна, а демонстрирует закономерные изменения, на основании которых могут быть выделены последовательные стадии онтогенеза человека. Иллюстрацией этого могут служить результаты широкого кооперативного исследования с участием большой группы ученых из разных стран по динамике показателей энергетического метаболизма на протяжении жизни человека [32]. Методически исследование было осуществлено с использованием изотопных дейтериевых технологий, что позволило получить данные о базальном (минимальном) и тотальном (суточном) уровне энергообмена тысяч испытуемых (рис.5). На рисунке представлены данные в процентах к максимальному уровню, соотнесенные с обезжиренной массой тела.

По динамике расхода энергии авторы выделили четыре последовательные стадии жизни:

1. младенчество: расход энергии быстро ускоряется от рождения до 1 года;
2. детство и юность: расход энергии медленно снижается до уровня взрослых от 5 к 20 годам;
3. зрелость: расход энергии более-менее стабилен от 20 до 60 лет, даже во время беременности;
4. старость: расход энергии снижается у пожилых людей старше 60.

Отметим, что авторы этого широкомасштабного исследования также использовали в качестве границ этапов точки перегиба на кривой, отображающей динамику исследованной функции с возрастом испытуемых.

Биологический возраст

Практический смысл схем возрастной периодизации состоит в том, чтобы с их помощью получить возможность определить биологический возраст ребенка, подразумевающий определенный уровень его возможностей

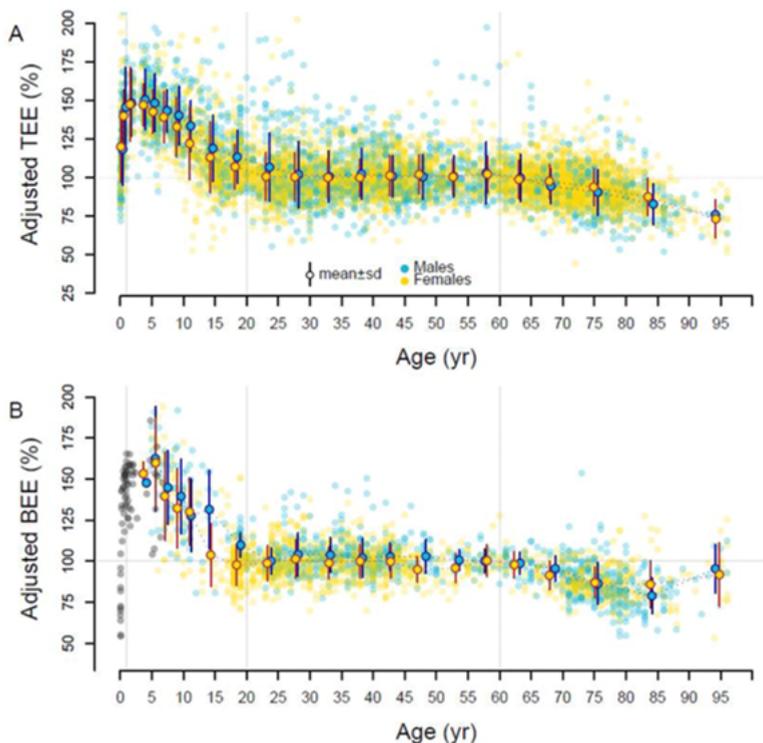


Рис. 5. Динамика тотального (ТЭЕ) и основного (БЭЕ) суточного расхода энергии на протяжении жизни человека (по: [32])

Суточный тотальный (А) и базальный (В) расход энергии, скорректированный на обезжиренную массу тела, в процентах от уровня взрослого (ордината), на протяжении жизни (абсцисса). Показаны отдельные субъекты и среднее значение \pm стандартное отклонение для каждой возрастной и половой когорты. Скорректированные расходы с момента рождения начинаются примерно на уровне взрослого населения ($\sim 100\%$), но быстро поднимаются до $\sim 150\%$ в первый год жизни ребенка. Расходы снижаются до уровня взрослых примерно через 20 лет, а затем снова снижаются у пожилых людей, после ~ 60 лет.

и допустимых нагрузок различного характера. Принадлежность ребенка к периоду 1 или 2 детства, подростковому или юношескому периоду, сразу открывает перед нами спектр его возможностей и ограничений, вытекающих из его биологического возраста. При этом на индивидуальном уровне колебания биологического возраста по отношению к схематическим срокам может составлять до 3 лет, особенно в подростковый период, когда ярко проявляются индивидуальные свойства акселерации либо ретардации роста и развития [27].

Определение биологического возраста особенно важно в некоторые критические моменты, предопределяющие дальнейшую траекторию инди-

видуального развития. Например, при оценке готовности ребенка к систематическому обучению в школе – ведь ошибка в этот момент может очень серьезно сказаться на всей последующей судьбе. Особенно драматично, что некоторые дети начинают обучение в школе в соответствии со своим календарным возрастом, не достигнув «школьной зрелости», то есть того биологического возраста, с которого систематическое обучение становится возможным и желательным. В результате конфликта между возможностями ребенка, не достигшего нужной зрелости, и требованиями школьной среды, у ребенка могут навсегда пропасть интерес к учебе и желание систематически трудиться – то есть важнейшие мотивы дальнейшего социального роста. Сложнейшие психологические проблемы бывают следствием поспешности родителей и учителей, не учитывающих индивидуальный темп биологического созревания ребенка.

Половой диморфизм возрастной периодизации

Приведенные схемы возрастной периодизации разработаны для мальчиков, у девочек темп биологического созревания несколько выше, начиная с подросткового возраста. Иногда подростковый возраст у девочек наступает в 8-9 лет, то есть опережает мальчиков на 3-4 года. Длительность подросткового и юношеского периодов у мальчиков и девочек примерно одинакова, но соответственно достижение зрелого возраста у девочек происходит раньше, как и всех последующих этапов онтогенеза [27]. Таким образом, схемы возрастной периодизации для мужчин и женщин имеют различия во временных границах периодов онтогенеза, то есть обладают половым диморфизмом. Это обстоятельство необходимо учитывать при практическом применении схем возрастной периодизации.

Заключение

Рассмотренные в данном сообщении физиологические принципы возрастного развития человека могут составить каркас физиологической теории онтогенеза, в которой нуждается не только сама возрастная физиология, но также педиатрия, педагогика, теория и методика спортивной тренировки, и другие отрасли практического знания. Понимание и грамотное применение этих принципов позволит избежать многих ошибок, которые особенно опасны по отношению к детям.

В качестве примера можно рассмотреть широко обсуждаемый в последнее время вопрос о том, в каком возрасте можно начинать спортивную подготовку в различных видах спорта. Без учета основополагающих закономерностей возрастного развития ответить на этот вопрос невозможно, а эти

закономерности говорят о том, что от природы дети раннего возраста являются «неспециалистами» [33], и их ранняя специализация чревата негативными последствиями для физического и умственного развития. Общеразвивающие упражнения с элементами специализации – оптимальный вариант для детей до начала полового созревания.

Данные недавнего экспериментального исследования [31], проведенного голландскими исследователями на 829 футболистах из 32 стран мира с 5 континентов, показывают, что участники Чемпионата Мира демонстрируют очень широкий разброс по возрасту начала систематических занятий спортом, причем Европа в этом отношении лидирует как континент, где спортсмены начинают заниматься спортом очень рано (рис.6). Существенных различий между представителями других континентов обнаружено не было. Другой аспект представленных данных – слабое влияние возраста начала занятий на достижение высокого профессионализма, позволившего спортсменам принять участие в Чемпионате Мира. В Европе большинство спортсменов вовлекаются в спортивную карьеру до 10-12 лет, тогда как, например, в Азии – после 15 лет. Такого рода анализ позволяет получать

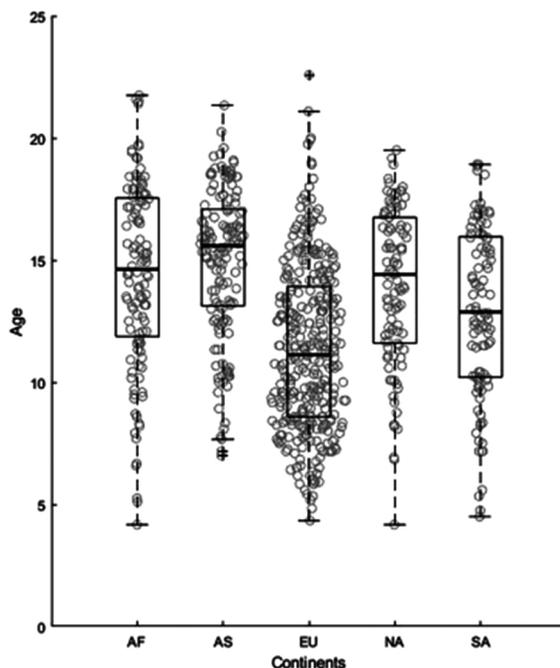


Рис.6 Возраст начала спортивной карьеры футболистов в соответствии с континентом, представлявшим команду на Чемпионате Мира 2022г. в Катаре

По оси абсцисс – возраст начала занятий спортом в годах

По оси ординат – континенты: AF – Африка; AS – Азия; EU – Европа; NA – Северная Америка; SA – Южная Америка.

широкие обобщающие данные по желательному возрасту начала спортивных занятий, и может служить руководством к действию, пока не получены более конкретные данные по разным видам спорта.

Принципы онтогенеза человека важны для понимания механизмов действия педагогических приемов обучения и воспитания, и могут быть причислены к основополагающим понятиям педагогической физиологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин П.К. Общие принципы формирования защитных приспособлений организма // Вестник АМН СССР. -1962.-N 4.-С. 16-26.
2. Анохин П.К. Системогенез как общая закономерность эволюционного процесса // Бюлл. экспер. биол. и мед. -1948.-Т. 26.-С. 81 -99.
3. Аршавский И.А. Проблема периодизации онтогенеза человека // Советская педагогика, 1965. №11. С.123-132
4. Ахметов И.И. Молекулярная генетика спорта. – Москва: Советский спорт, 2009. – 268 с.
5. Белоусов Л.В. Биологический морфогенез // Москва, 1987: Изд-во МГУ, 238 с.
6. Бунак В.В. Выделение этапов онтогенеза и хронологические границы возрастных периодов // Советская педагогика, 1965. №11. С.105-110
7. Васина А.Ю., Дидур М.Д., Иьги А.А., Утехин В.И., Чурилов Л.П. Мышечная ткань как эндокринный регулятор и проблема гиподинамии // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2014. № 2. С. 5-15.
8. Властовский В.Г. Акселерация роста и развития детей: эпохальная и внутригрупповая. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 278 с.
9. Возрастная периодизация <https://xn--e1aogju.xn--plai/schema/72011-vozrastnaja-periodizacija.html>
10. Гужаловский А.А. Физическое воспитание в критические периоды развития // Теор. и практ. физ. культ. -1977.-N7.-С.37-39.
11. Гурвич А. Г. Теория биологического поля. – М.: Советская наука, 1944.
12. Демин В.И. Становление тканевых механизмов энергетического обеспечения скелетных мышц в онтогенезе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 1987.- 24 с.
13. Демин В.И., Корниенко И.А., Маслова Г.М. Особенности организации энергетического метаболизма в различных органах // Молекулярные механизмы и регуляция энергетического обмена. – Пушкино, 1987. С.174-183.

14. Колесов Д. В., Сельверова Н. Б. Физиолого-педагогические аспекты полового созревания / НИИ физиологии детей и подростков АПН СССР. – Москва: Педагогика, 1978. – 224 с.

15. Корниенко И.А., Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Возрастная периодизация развития скелетных мышц в онтогенезе человека // Альманах «Новые исследования». – М.: Вердана, 2001, выпуск 1.- С.47-60

16. Левушкин С.П., Блинков С.Н. Оптимизация физического состояния школьников 12-14 лет на основе влияния мышечных нагрузок различной направленности // Ульяновск: Институт повышения квалификации и переподготовки работников образования при Ульяновском государственном педагогическом университете им. И.Н. Ульянова, 2000. – 124 с.

17. Лоренц К. Обратная сторона зеркала: пер с нем. / под ред. А. В. Гладкого. М., 1998. 242 с.

18. Маркосян А.А. Дискуссия по периодизации онтогенеза // Советская педагогика, 1965. №11. С. 110-123

19. Маркосян А.А. Развитие человека и надежность биологической системы // Основы морфологии и физиологии организма детей и подростков. – М.,1969.- С.5-21.

20. Маслова Г.М. Особенности тканевого дыхания, определяющие теплопродукцию на различных этапах онтогенеза и при адаптации к холоду взрослых животных: Автореф. канд. дисс. М., 1971. – 21 с.

21. Мачинская Р.И., Курганский А.В. Сравнительное электрофизиологическое исследование регуляторных компонентов рабочей памяти у взрослых и детей 7-8 лет. Анализ когерентности ритмов ЭЭГ // Физиология человека, 2012, Т.38, №1, с.5-19

22. Морфология человека: Учеб. пособие – 2-е изд., перераб. доп. / Под ред. Б.А. Никитюка, В.П. Чтецова. – М.: Изд-во МГУ, 1990.

23. Северцов А. Н. Современные задачи эволюционной теории // Москва: Наука, 1914. 155 с.

24. Семенова Л.К., Васильева В.А., Цехмистренко Т.А., Шумейко Н.С. Глава 3. Структурные преобразования коры головного мозга человека в постнатальном онтогенезе. // Физиология развития ребенка: Руководство по возрастной физиологии/ под ред. М.М. Безруких, Д.А. Фарбер. – М.: Издательство Московского психолого-социального института: Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК». 2010.- с. 132

25. Сонькин В.Д. Физическая работоспособность и энергообеспечение мышечной функции в постнатальном онтогенезе человека. // Физиология человека. – 2007. т. 33, №3. – С.81-99.

26. Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе // М.: URSS – Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 368с. ISBN 978-5-397-01708-4
27. Таннер Дж. Рост и конституция человека // Биология человека. – М.: Мир, 1979.- С.366-471
28. Чумакова Г.А., Веселовская Н.Г., Козаренко А.А., Барбараш Л.С. Локальные жировые депо как фактор риска сердечно-сосудистых заболеваний // Артериальная гипертензия, 2010. – Т. 1.- № 5. С. 441-448.
29. Шмальгаузен И.И. Определение основных показателей в методике исследования роста // Рост животных. – М.-Л., 1935.- С.8-63.
30. Шмальгаузен И.И. Избранные труды. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. – М.: Наука, 1982. – 383 с.
31. Platvoet S. W.-J., van Heuveln G., van Dijk J., Stevens T., de Niet M. An early start at a professional soccer academy is no prerequisite for world cup soccer participation // Front Sports Act Living. 2023. v.23 #5. P. 1283003. doi: 10.3389/fspor.2023.1283003.
32. Pontzer H. et al. Daily energy expenditure through the human life course // Science. 2021; 373(6556):808-812. doi: 10.1126/science.abe5017.
33. Rowland T. On being a Metabolic Nonspecialist // Pediatric Exercise Science, 2002. 14. P. 315-320

REFERENCES

1. Anokhin P.K. General principles of the formation of the body's protective devices // Bulletin of the USSR Academy of Medical Sciences. -1962.-N 4.-P. 16-26.
2. Anokhin P.K. Systemogenesis as a general pattern of the evolutionary process // Bull. exp. biol. i med.-1948.-T. 26.-S. 81 -99.
3. Arshavsky I.A. The problem of periodization of human ontogenesis // Soviet pedagogy, 1965. No. 11. P.123-132
4. Akhmetov I.I. Molecular genetics of sports. – Moscow: Soviet Sport, 2009. – 268 p.
5. Belousov L.V. Biological morphogenesis // Moscow, 1987: Moscow State University Publishing House, 238 p.
6. Bunak V.V. Identification of stages of ontogenesis and chronological boundaries of age periods // Soviet pedagogy, 1965. No. 11. P.105-110
7. Vasina A.Yu., Didur M.D., Iygi A.A., Utekhin V.I., Churilov L.P. Muscle tissue as an endocrine regulator and the problem of physical inactivity // Bulletin of St. Petersburg University. Medicine. 2014. No. 2. P. 5-15.
8. Vlastovsky V.G. Acceleration of growth and development of children: epochal and intragroup. – М.: Publishing house Moscow. University, 1976. – 278 p.

9. Age periodization <https://xn--e1aogju.xn--plai/schema/72011-vozrastnaja-periodizacija.html>
10. Guzhalovsky A.A. Physical education in critical periods of development // Theor. and practical physical culture. -1977.-N7.-P.37-39.
11. Gurvich A. G. Theory of biological field. – M.: Soviet Science, 1944.
12. Demin V.I. Formation of tissue mechanisms of energy supply to skeletal muscles in ontogenesis: Abstract of thesis. dis. ...cand. biol. nauk.- M., 1987.- 24 p.
13. Demin V.I., Kornienko I.A., Maslova G.M. Features of the organization of energy metabolism in various organs // Molecular mechanisms and regulation of energy metabolism. – Pushchino, 1987. pp. 174-183.
14. Kolesov D.V., Selverova N.B. Physiological and pedagogical aspects of puberty / Research Institute of Physiology of Children and Adolescents of the Academy of Sciences of the USSR. – Moscow: Pedagogy, 1978. – 224 p.
15. Kornienko I.A., Sonkin V.D., Tambovtseva R.V. Age periodization of skeletal muscle development in human ontogenesis // Almanac “New Research”. – M.: Verdana, 2001, issue 1.- P.47-60
16. Levushkin S.P., Blinkov S.N. Optimization of the physical condition of schoolchildren aged 12-14 years based on the influence of muscle loads of various directions // Ulyanovsk: Institute for Advanced Training and Retraining of Education Workers at the Ulyanovsk State Pedagogical University named after. I.N. Ulyanova, 2000. – 124 p.
17. Lorenz K. The reverse side of the mirror: translated from German. / ed. A.V. Gladky. M., 1998. 242 p.
18. Markosyan A.A. Discussion on the periodization of ontogenesis // Soviet pedagogy, 1965. No. 11. pp. 110-123
19. Markosyan A.A. Human development and the reliability of the biological system // Fundamentals of morphology and physiology of the body of children and adolescents. – M., 1969. – P.5-21.
20. Maslova G.M. Features of tissue respiration that determine heat production at various stages of ontogenesis and during adaptation to cold in adult animals: Abstract of thesis. candidate’s dissertation M., 1971. – 21 p.
21. Machinskaya R.I., Kurgansky A.V. Comparative electrophysiological study of regulatory components of working memory in adults and children 7-8 years old. Analysis of coherence of EEG rhythms // Human Physiology, 2012, T.38, No. 1, pp. 5-19
22. Human morphology: Textbook. manual – 2nd ed., revised. add. / Ed. B.A. Nikityuk, V.P. Chtetsova. – M.: Moscow State University Publishing House, 1990.

23. Severtsov A. N. Modern problems of evolutionary theory // Moscow: Science, 1914. 155 p.

24. Semenova L.K., Vasilyeva V.A., Tsekhmistrenko T.A., Shumeiko N.S. Chapter 3. Structural transformations of the human cerebral cortex in postnatal ontogenesis. // Physiology of child development: Guide to age-related physiology / ed. M.M. Bezrukikh, D.A. Farber. – M.: Publishing house of the Moscow Psychological and Social Institute: Voronezh: Publishing house NPO “MODEK”. 2010.- p. 132

25. Sonkin V.D. Physical performance and energy supply of muscle function in postnatal human ontogenesis. // Human physiology. – 2007. vol. 33, no. 3. – P.81-99.

26. Sonkin V.D., Tambovtseva R.V. Development of muscle energy and performance in ontogenesis // M.: URSS – Book House “LIBROKOM”, 2011. – 368 p. ISBN 978-5-397-01708-4

27. Tanner J. Human growth and constitution // Human biology. – M.: Mir, 1979.- P.366-471

28. Chumakova G.A., Veselovskaya N.G., Kozarenko A.A., Barbarash L.S. Local fat depots as a risk factor for cardiovascular diseases // Arterial hypertension, 2010. – T. 1.- No. 5. P. 441-448.

29. Shmalgauzen I.I. Determination of the main indicators in growth research methods // Animal growth. – M.-L., 1935.- P.8-63.

30. Shmalgauzen I.I. Selected works. The organism as a whole in individual and historical development. – M.: Nauka, 1982. – 383 p.