

В.И. Ефремов

РОСТ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА

Владимир Иванович Ефремов

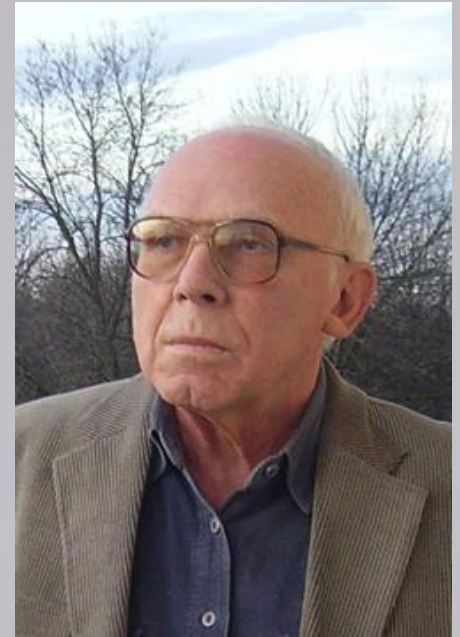
(кандидат биологических наук, доцент)

В 1962 году окончил Ленинградский госуниверситет по кафедре эмбриологии и до настоящего времени постоянно работал в системе нашего Университета (лаборатория экспериментальной эмбриологии БиНИИ университета, кафедра цитологии и гистологии, кафедра эмбриологии).

Круг научных интересов:

- *Развитие «целого» из диссоциированных клеток ранних эмбрионов амфибий;*
- *Роль пролиферации и митотических циклов в росте и морфогенезе ранних зародышей птиц.*
- *Значение поляризации клеток в ранних морфогенезах (нейруляция и формирование кишки) у эмбрионов костистых рыб*

Преподавательскую деятельность начал на кафедре эмбриологии в 1963 году.



Телефон: 8 911 232 45-22

ВВЕДЕНИЕ:

РОСТ КАК ПРОБЛЕМА БИОЛОГИИ РАЗВИТИЯ

Любой многоклеточный организм представляет собой совокупность некоторого числа клеток. Например, *тело 70-килограммового человека содержит около 10^{13} (10 триллионов) клеток*. Эта совокупность характеризуется определенными линейными и объемно-весовыми параметрами. Совершенно очевидно, что вполне развитый многоклеточный организм много крупнее и сложнее клетки, его породившей – *зиготы*. Из этого следует, что онтогенез (индивидуальное развитие) такого организма в самой общей форме можно представить как сочетание двух процессов, с одной стороны – увеличения клеточности (количества клеток), и с другой – усложнения структурной организации развивающегося организма (слайд ★).

С определённого момента эмбриогенеза нарастание клеточности сопровождается увеличением размеров развивающегося организма. Это увеличение – есть **количественная составляющая** развития. Тогда как усложнение организации тела организма и, в частности, формообразование и специализация клеток представляют **качественную составляющую** развития. Обе эти составляющие тесно связаны, хотя на некоторых этапах онтогенеза может преобладать та или другая (слайд ★ *рост Прозрачной медаки*).

РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМА



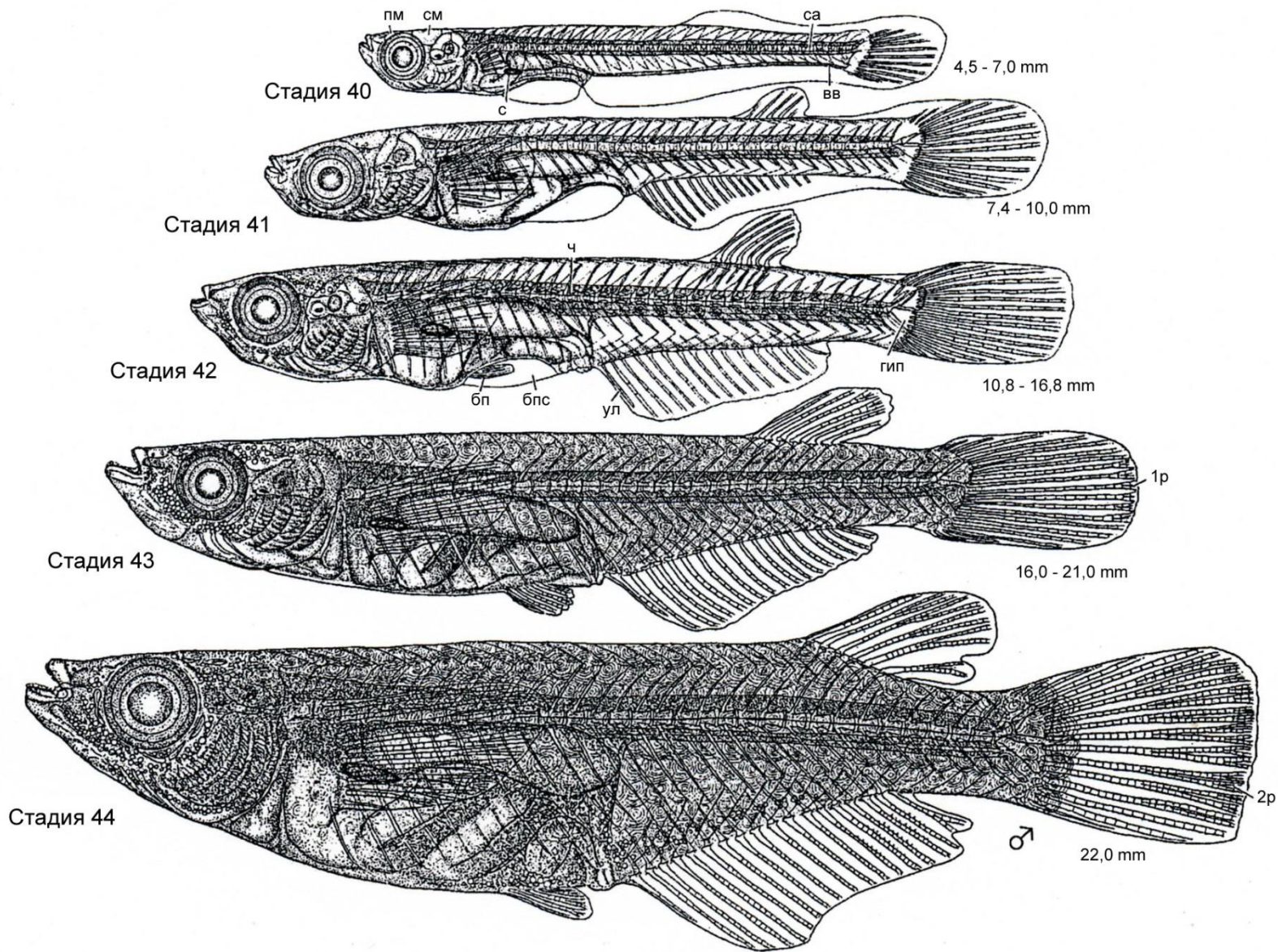
**Увеличение
клеточности**

(количественная
составляющая развития)



**Усложнение
структурной
организации**

(качественная
составляющая развития)



Пять стадий роста Прозрачной медаку (*Oryzias latipes*)

Принято начинать описание любого явления с его определения. Неспециалисту может показаться, что понятие «РОСТ» настолько очевидно, что не требует пояснений. И, тем не менее, уже в самом этом слове имеется известная двусмысленность (по крайней мере, при общении на русском языке). Её следует учитывать, касаясь проблемы роста и всегда необходимо уточнять, что имеется в виду: или *рост* как выражение величины (например, «*Первым в вагон вошел мужчина среднего роста*») или *рост* как процесс (например, «*Рост девочек после 13 лет замедляется*»).

Мы будем рассматривать рост преимущественно как ***процесс изменения размерностей, со своей динамикой, своим характером и скоростью.***

Все хорошо знают, что живые организмы растут, т.е. увеличиваются в размерах животные и растения, части их тела, органы и ткани. Считается, что рост, как правило, предполагает увеличение габаритов или веса, и, следовательно, *положительную динамику размерностей*, хотя это и не всегда обязательно; возьмём, к примеру, самок половозрелых миног в предрепродукционный период. Самое примечательное у них в преднерестовых изменениях – *уменьшение не только веса, но и длины производителей (рост вспять).*

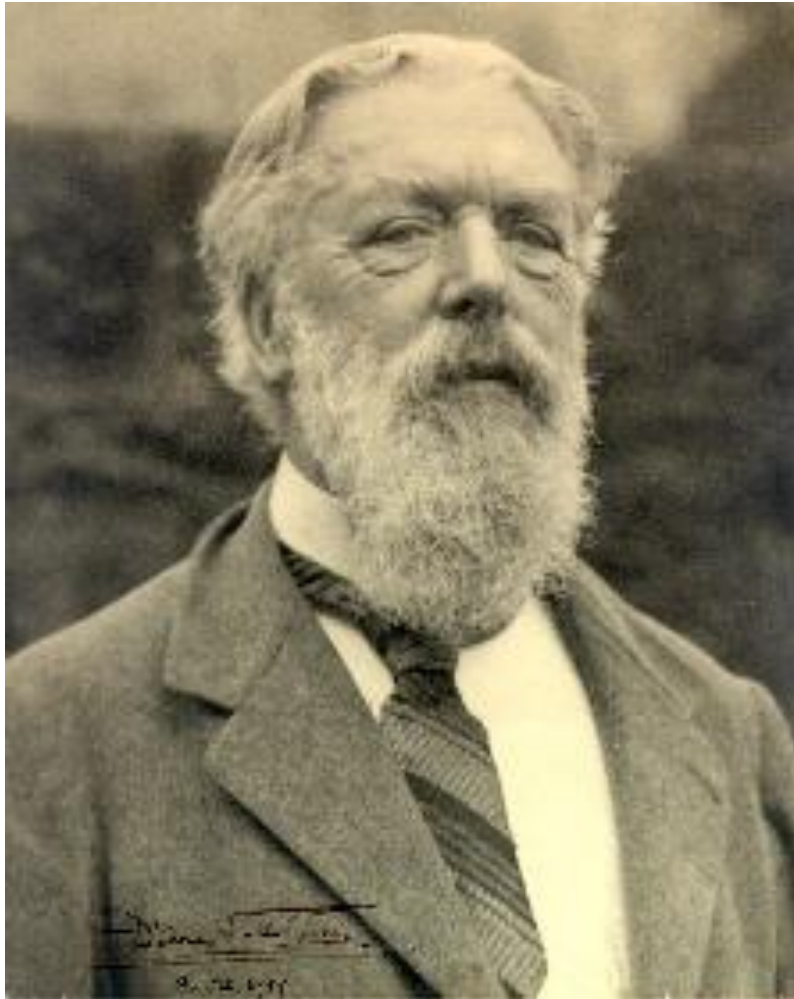
Однако анализ содержательной части явления роста побудил многих исследователей считать такое представление роста чрезмерно упрощенным или даже *некорректным*.

Так, что же такое рост?

Один из выдающихся теоретиков проблемы роста, шотландский биолог **Д'Арси Томпсон** (Thompson d'Arcy, 1942), отвечая на этот вопрос, одним из первых «ростологов» показал, что рост – *«несколько смутный термин»* и что явление роста не всегда соответствует распространенному тривиальному определению.

В частности, рассуждает Д'Арси Томпсон, насколько оправдано, например, считать ростом набухание отдельных органов или всего тела организма или всевозможные отечные явления при воспалениях. А если обратиться к весовой характеристике, то следует ли относить к ростовым процессам увеличение веса тела, например, у тучных людей?

D'Arcy Wentworth Thompson (1860-1948)



Д'Арси Томпсон был уникальным учёным. Будучи широко образованным человеком, он в своём научном творчестве блестяще сочетал наблюдательность натуралиста и прекрасные способности математика. По сути своей деятельности он был первым **биоматематиком**. Его фундаментальный труд «*On Growth and Form*» стал поистине настольной книгой для многих поколений ростологов



В некоторых видах спорта (тяжелая атлетика, борьба, разные виды боевых единоборств) очень часто спортсмены вынуждены наращивать или снижать собственный вес

По всей видимости правы авторы, связывающие рост только с явлениями, в основе которых лежит увеличения живой массы вследствие преобладания *анаболических процессов*, над *катаболическими* (оценка по азоту). Разумеется, такое понятие роста научно более обосновано. Но на практике его редко придерживаются. И подавляющее большинство выводимых математических уравнений и всевозможные кривые роста строятся на основе онтогенетической динамики весовых и линейных характеристик.

При подобном подходе, как правило, не учитывается, что увеличение длины и веса объекта осуществляется не только за счет приращения живой протоплазмы, но и увеличения количества воды, межклеточного вещества, различных включений и объёма полостей. Отсюда следует, как считает П.Г. Светлов, классик отечественного естествознания, крупнейший биолог XX столетия, что изменения размеров тела в онтогенезе есть результат органичной координации множества факторов, т.е. ***рост представляет собой одну из функций организма как целого.***

РОСТ – проблема комплексная, представленная несколькими важными аспектами; назову лишь некоторые из них.

Методологический - состоящий в разработке методов и техники исследования для корректной и максимально точной характеристики процесса.

Описательный – включающий, в том числе, исследования характера роста с объяснением его возможной неравномерности

Установление **взаимосвязи роста** с другими составляющими процесса развития – морфогенезом и дифференциацией

Выявление **аллометрического (неравномерного) роста** и оценка его значения в эволюции животных

Направление, изучающее **терминацию (прекращение) роста** и предопределенность конечных размеров тела ныне живущих организмов

Регуляция и координация роста – особый раздел, включающий такие вопросы, как: роль наследственности и среды, контроль со стороны эндогенных факторов (гормонов, ростовых факторов и т.п.) и молекулярные механизмы этих влияний.

Аллометрия (греч. *állos* — другой и *métron* — мера), **неравномерный рост частей тела** (в более широком смысле — различие пропорций у организмов с разными размерами). **Аллометрия** может быть отрицательной (например, замедленный рост головы у ребенка) и положительной (например, рост рогов у жвачных животных).

Уже одно это перечисление объясняет непреходящий интерес к проблеме роста. Причем, этот интерес носит не только чисто эвристический характер, но в значительной мере связан с практической (хозяйственной) деятельностью человека (повышение продуктивности сельскохозяйственных животных, например).

Разные аспекты проблемы в разное время получали преимущественное развитие, благодаря возникновению новых подходов, разработке новых методов, либо в связи с конкретными открытиями в смежных областях биологической науки. Например, увлечение в 30-60 годы прошлого века **математизацией науки** в известной степени определило доминирование описательной ростологии, где значительное место занимали попытки многих исследователей на базе математических уравнений, описывающих характер роста конкретных объектов, вывести всеобъемлющий «закон роста». Другой пример – это открытие в середине девятнадцатого века **гормонов** и, в частности, гормона роста, которое вызвало повышенный интерес к исследованиям влияния этих гуморальных факторов на скорость и терминацию ростовых процессов у животных и человека. Это направление оказалось весьма плодотворным, давшим блестящие результаты, как для фундаментальной науки, так и для клинической практики (*слайд ★*).

Влияние гормонов на рост человека



Американские карлики: «Мисс Милли» и «Генерал Майт» с отцом последнего



Великанша Марианна Вэде [16,5 лет, 255 см и 160 кг] рядом с мужчиной среднего роста (Из I. Ranke, 1903)

В наше время биология развития переживает состояние бурного расцвета. В конце прошлого века было, по существу, объявлено, что *основные принципы развития теперь вполне выяснены и понятны*. Об этом можно прочесть, например, у Wolpert (1996). Тем не менее, до сих пор не найден удовлетворительный ответ на один из главных вопросов биологии развития – ***каким образом определяется (детерминируется) размер животного или растения***. И это при том, что самые впечатляющие различия между разными живыми существами – это различия в размерах их тела. Человек и мышь! Слон и человек! И хотя ни у кого не вызывает сомнения, что именно гены играют первостепенную роль в детерминации размеров, но остаётся, по-прежнему, совершенно непонятно, как они это делают.

Наконец, кто сейчас может уверенно ответить на вопросы, почему наши руки растут до строго определённой длины и что координирует рост правой и левой конечности?

РАЗДЕЛ 1

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РОСТА

Весовые и линейные характеристики. Методы вычисления: продольные и поперечные измерения. Условные кривые роста на разных уровнях приближения. Абсолютный прирост и ускорение роста. Относительная скорость роста. Работы Майнота. Удельная скорость роста по Шмальгаузену

Весовые и линейные характеристики роста

Изучают рост животных и человека на основании данных, получаемых либо путем взвешивания (вес m), либо в результате линейного измерения объекта или частей его тела (длина l). Каким данным отдавать предпочтение в каждом конкретном случае, решают в зависимости от задач исследования и от особенностей изучаемых объектов.

m и l , как правило, связаны между собой криволинейной зависимостью и часто могут быть описаны универсальным уравнением:

$$m = al^b$$

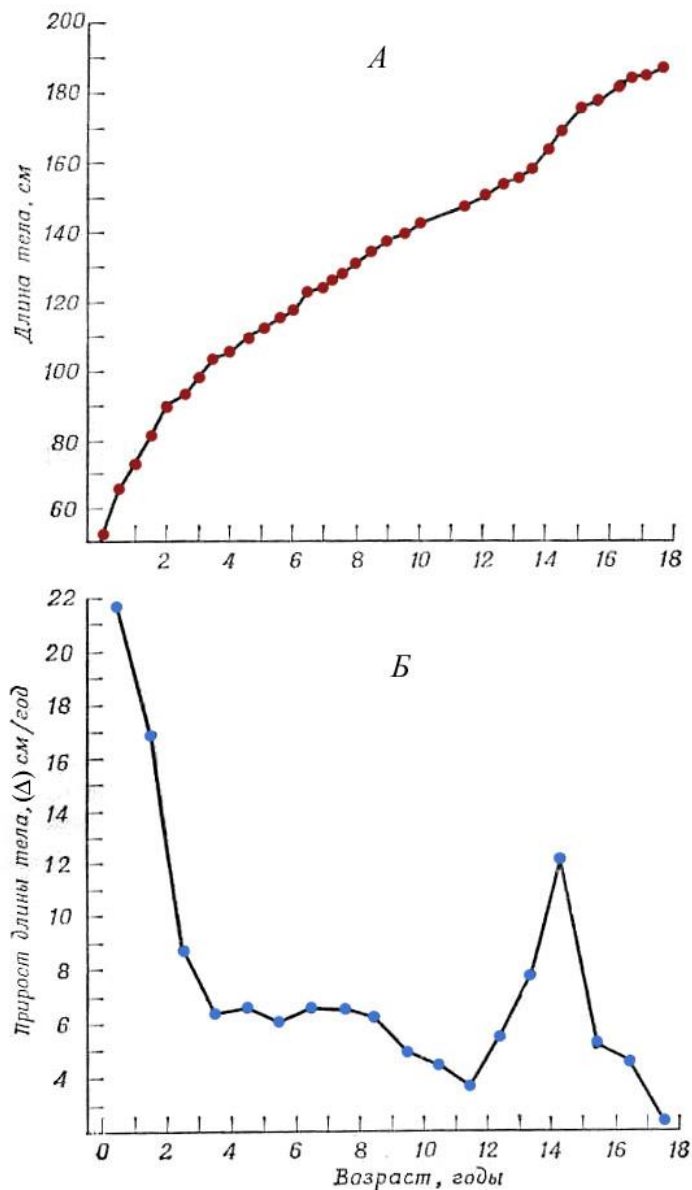
или в логарифмической форме

$$\lg m = \lg a + b \lg l$$

С одной стороны, вес (m или W), безусловно, наиболее “чувствительный” параметр особи; его динамика точнее отражает изменения физиологического состояния организма. С другой стороны, именно эта “чувствительность” веса, вынуждает усложнять определение роста, чтобы исключить влияние оводнения, накопления жира, наполнение пищеварительного тракта и т.п., о чём уже говорилось. В этой связи линейные размеры, в частности длина особи (l) – более стабильный и поэтому более корректный показатель (при условии, что её можно достаточно точно измерить).

Изменение веса эмбриона совершается подобно изменению его длины. Разница динамики этих показателей заключается в том, что максимальная скорость увеличения веса достигается несколько позже в онтогенезе, например, у плода человека, обычно на 34-й неделе внутриутробного развития.

Абсолютный рост и скорость роста



На рисунке представлена графическая регистрация длины тела конкретного субъекта; измерения проводились каждые полгода с момента рождения и до 18 лет.

Верхний график показывает динамику абсолютных размеров по годам, нижний - *инкремент* длины тела от одного возраста к другому (абсолютный прирост или абсолютная скорость роста). Если представить себе процесс роста как некую форму движения, то верхняя кривая будет – пройденный путь, а нижняя – скорость движения.

$$I = \frac{L_n - L_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$$

Нижний график показывает, что скорость роста длины тела с возрастом неуклонно снижается, но в самом конце ростового периода эта тенденция внезапно прерывается. В это время (в данном случае в возрасте 13 - 15 лет) наблюдается отчётливо выраженное ускорение роста, получившее название пубертатного скачка роста, о котором мы ещё будем говорить позднее.

На заре ростологии человека

Данные, представленные на слайде, взяты из самой ранней публикации на тему роста. Эти измерения были выполнены в 1759-1777 гг. графом Филибертом де Монбейяром, внимательно следившим за развитием своего сына, и опубликованы Жоржем Бюффоном, другом де Монбейяра в приложении к «Естественной истории».

Жорж Бюффон – выдающийся французский естествоиспытатель, иностранный почетный член Петербургской Академии наук (1776). Основной труд «Естественная история» (36 томов), на создание которого автор потратил 39 лет, содержит представления о развитии земного шара и его поверхности, о единстве плана строения органического мира.



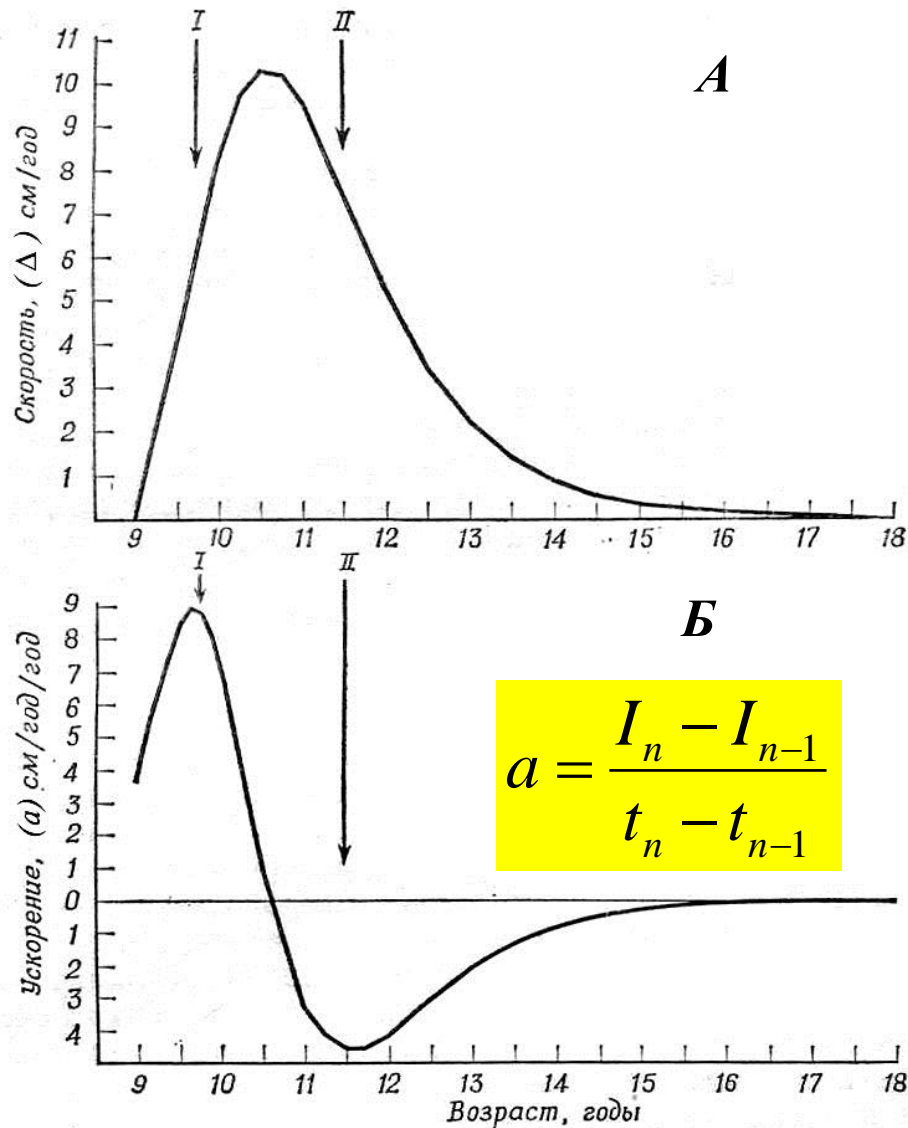
Жорж Бюффон (Buffon)
(1707-1788)

Представленные кривые роста сына графа де Монбейяра являются примером так называемого *продольного исследования*, суть которого состоит в регулярном измерении какого-либо параметра на одном индивидууме многократно на протяжении всего необходимого периода.

На практике, особенно в антропологии, чаще прибегают к другому способу исследования. Измерениям подвергают членов достаточной выборки, содержащей представителей многих возрастов (например, школьников разных классов). При этом каждого индивидуума измеряют один раз, получая, таким образом, оперативную информацию о динамике изучаемого показателя в течение всего заданного периода. Такой способ получил название *поперечного исследования*, поскольку здесь информацию получают из выборки индивидуумов, представляющей как бы срез через большую совокупность объектов разного возраста.

Поперечные исследования много быстрее, проще, дешевле продольных и охватывают одновременно большое количество изученных особей. Они позволяют получить представление об абсолютном росте, установить нормальные стандарты длины тела и веса для данной выборки или популяции. Но у них есть один недостаток: они не вскрывают индивидуальных различий в скорости роста и во времени наступления отдельных фаз, например, пубертатного периода в онтогенезе человека. А между тем эти различия не только проливают свет на тонкие механизмы генетической регуляции роста, но и позволяют оценить влияние на рост абиотических факторов. Как правило, продольные исследования оказываются более продолжительными (до нескольких лет) и требуют большой затраты времени и труда со стороны исполнителей, но именно они вскрывают упомянутую индивидуальную специфику.

Скорость и ускорение роста длины тела



В ряде случаев для описания роста используют не абсолютную скорость, а *ускорение* роста, поскольку оно значительно точнее отражает динамику физиологических процессов в организме. Это хорошо видно из сравнения двух графиков.

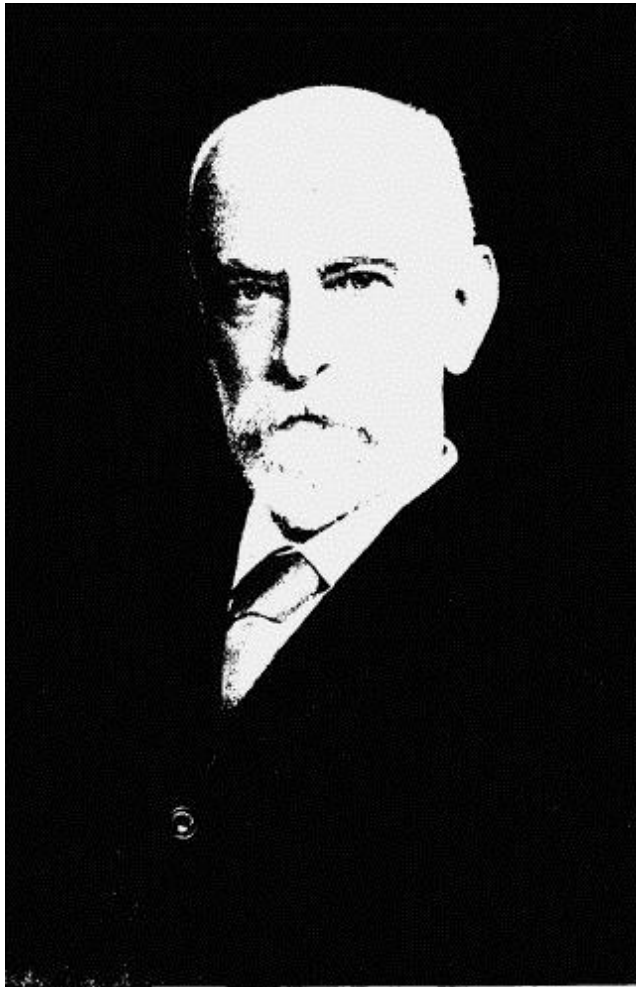
На рисунке приведены кривые скорости роста (А) и ускорения (Б) изменения длины тела девочки в возрасте с 9 до 19 лет. Стрелками I и II отмечено, соответственно, начало набухания области сосков и наступление первой менструации.

Именно на кривой ускорения можно убедиться в том, что максимум положительного ускорения роста совпадает по времени с первой стрелкой, тогда как максимум отрицательного ускорения - со второй.

Из Дж. Харрисон и др. (1979)

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ РОСТА

ТЕОРИЯ ЧАРЛЬЗА МАЙНОТА



Charles S. Minot

В 1913 году профессор сравнительной анатомии Гарвардского университета Чарльз Седжвик Майнот (1852-1914) впервые обратил внимание на то, что наблюдаемое обычно увеличение скорости роста некоего тела до некоторого максимума нереально; оно возникает вследствие того, что просто само тело становится больше. Следовательно, абсолютное увеличение размера не может служить адекватным показателем истинной скорости роста организма. Учитывая это обстоятельство, Майнот вместо абсолютной скорости предложил использовать принцип относительного прироста (*относительной скорости*). Для вычисления относительного прироста (например, длины тела l) нужно абсолютный прирост отнести к длине тела в начальный момент времени (t_{n-1})

$$C = \frac{l_n - l_{n-1}}{l_{n-1} (t_n - t_{n-1})} \times 100$$

Свой вывод Майнот сделал на основании измерения скорости роста самых разных млекопитающих, что позволило ему, кроме всего прочего, прийти к, казалось бы, парадоксальному заключению, что средние абсолютные приросты крупного и мелкого животных несопоставимы, т.к. представляют собой результаты увеличения разновеликих растущих масс.

Именно это заключение и побудило Майнота ввести *относительный прирост* или *относительную скорость*. Выражение, где инкремент выступает в виде величины, являющейся отношением прироста в данный момент к массе (размерам) тела, которые были достигнуты на момент предыдущего измерения. Следовательно, для получения относительного прироста нужно абсолютный прирост отнести к массе организма в момент времени t_1 , это и будет относительной скоростью для данного промежутка времени $(t_2 - t_1)$. Если мы хотим выразить эту величину в процентах, то её нужно умножить на 100. Приведенная на слайде формула является наиболее употребительным выражением относительной скорости роста.

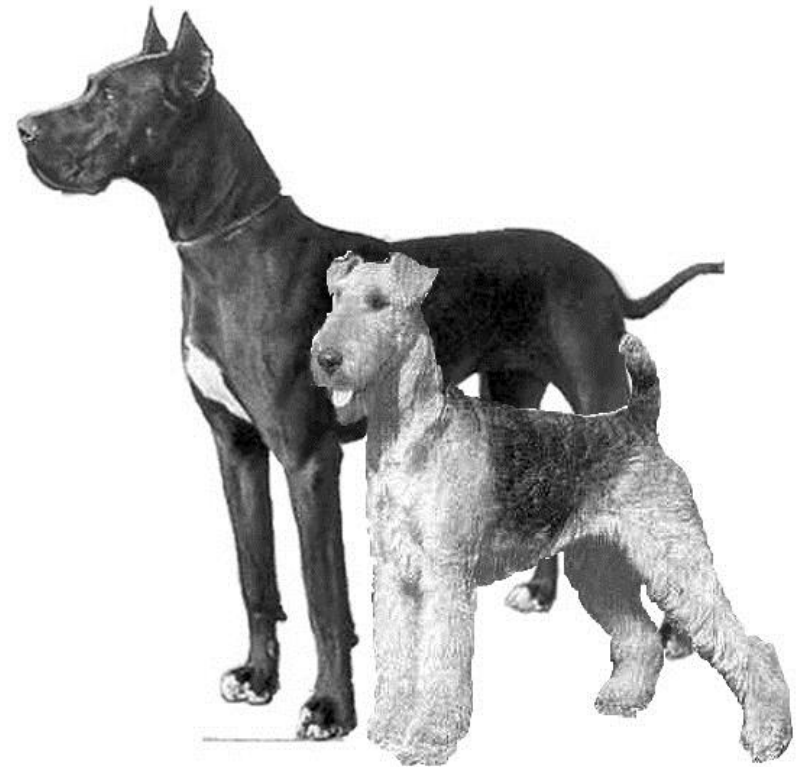
Целесообразность её использования продемонстрируем следующим примером. Зададимся вопросом, как связана скорость роста со столь значительными различиями в размере тела собак разных пород. Воспользуемся промерами растущих щенков двух пород: **немецкого дога**, (высота в холке наиболее крупных её представителей превышает 90 см и вес 80 кг) и **эрдельтерьера**, высота в холке которого около 62 см, а вес редко достигает 30 кг. Сравним средние весовые показатели щенков одного помёта эрдельтерьера и одного помёта дога в момент рождения (вместе с плацентой) и в годовалом возрасте.



Корректно ли сравнивать абсолютную скорость роста крупного и мелкого животного ?

Немецкий дог – самая крупная порода собак; его официальный стандарт не предусматривает предела размеров. Некоторые экземпляры достигают 90 см и более в холке и веса до 80 кг.

Эрдельтерьер относится к породам собак средних размеров; их рост не превышает 63 см, а вес редко достигает 30 кг.

Связаны ли столь значительные различия в размерах со скоростью их роста?



порода	m_0 КГ	m_n КГ	t_0	t_n МЕС	Δ КГ/МЕС	С
	0,75	62	0	12	5,1	6,8 или 680% в мес
	0,3	25	0	12	2,1	6,9 или 690% в мес

Вывод: *относительная скорость роста – более точный и адекватный показатель интенсивности ростовых процессов*

В таблице на предыдущем слайде применены следующие условные обозначения:

m_0 - вес щенков при рождении (вместе с последом);

m_n - вес щенков в возрасте 12 месяцев

t_0 – момент рождения

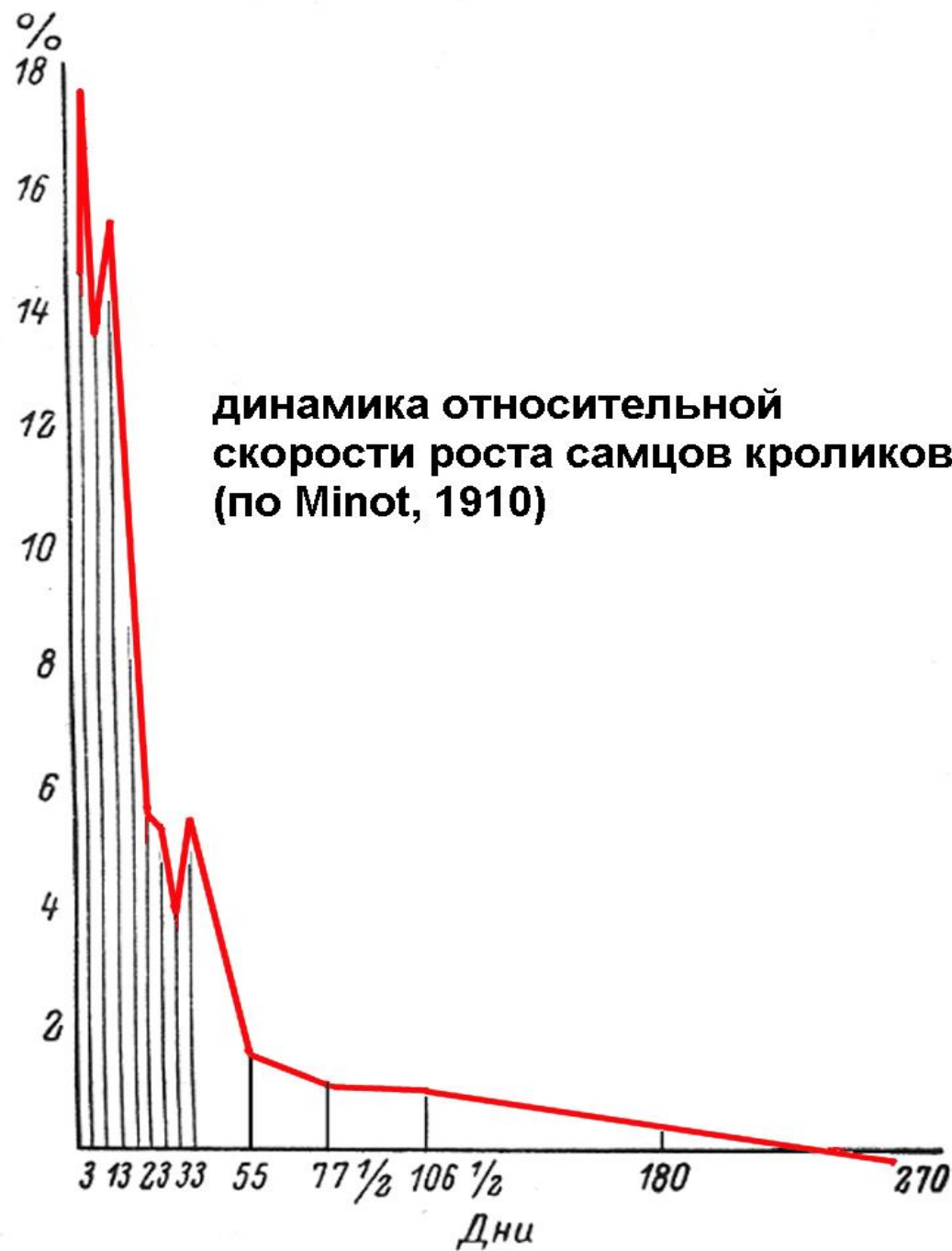
t_n – по прошествии 1 года

Δ – инкремент (абсолютный прирост массы тела щенков)

C – относительный прирост (относительная скорость) *обычно выражают в %*

ГЛАВНЫЙ ВЫВОД

По Майноту, абсолютный прирост (абсолютная скорость роста), выражаемые, в простейшем случае, экспоненциальной кривой, есть не что иное, как отражение закономерности по типу «сложных процентов». ***Говоря иными словами, организм становится больше, и только поэтому абсолютная скорость увеличивается.*** Истинная же интенсивность, выражаемая скоростью роста каждой единицей массы объекта, *для растущего эмбриона всегда максимальна вначале, а по мере развития стремительно падает*



Из Светлов (1978)

Дифференциация – причина смерти

Проанализировав результаты своих собственных исследований и данные других авторов по интенсивности роста в эмбриональном и ювенильном периодах, Майнот пришел к заключению, что во всех случаях имеет место падение (иногда стремительное) относительной скорости роста с возрастом организма.

Это падение он интерпретировал как выражение старения организма, которое начинается с момента оплодотворения яйцеклетки, и объяснял его *прогрессирующей дифференциацией* клеток.

Полемизируя с Вейсманом он писал: «... я не склонен рассматривать смерть, как что-то выгодное или невыгодное организму, но вижу в ней следствие дифференцировки»

«О бессмертии и развитии смерти». Лекция в Иенском Университете в 1912 г

Конец презентации

Спасибо за внимание