

# Революция в Росте Мышц: От Линейного Добавления к Делению Саркомеров

Как новые открытия 2024-2025 годов  
полностью меняют наш подход к  
тренировкам.



# Старая парадигма: Мышца растёт, добавляя саркомеры на концах

Десятилетиями фундаментальная модель саркомерогенеза (продольного роста мышц) основывалась на «гипотезе конечного добавления». Считалось, что мышечные волокна удлиняются подобно строительству стены: новые саркомеры, как кирпичи, добавляются исключительно на концах миофибрилл, в месте их крепления к сухожилию.

Ключевые предположения старой модели:

- \* Рост происходит только на концах мышечного волокна.
- \* Процесс является линейным и централизованным.
- \* Механизм — простое последовательное прикрепление новых белковых структур.





# Первая трещина в теории: неравномерный рост в исследованиях на людях

Если рост происходит только на концах, адаптация должна быть равномерной. Однако прорывное исследование 2024 года впервые предоставило прямые доказательства саркомерогенеза у людей и выявило поразительную аномалию.

Исследование: Andrews et al. (2024), *Journal of Sport and Health Science*. 9-недельная программа эксцентрических тренировок (Nordic Hamstring Exercise).

Ключевой результат: Адаптация оказалась крайне неравномерной.

- \* **Дистальная область (максимально растянутая):** +49% серийных саркомеров.
- \* **Центральная область:** +25% серийных саркомеров.

*Главный вопрос:* Почему область в середине мышцы показывает значительный рост, и почему растянутая часть адаптируется почти в два раза сильнее? Старая модель не дает ответа.



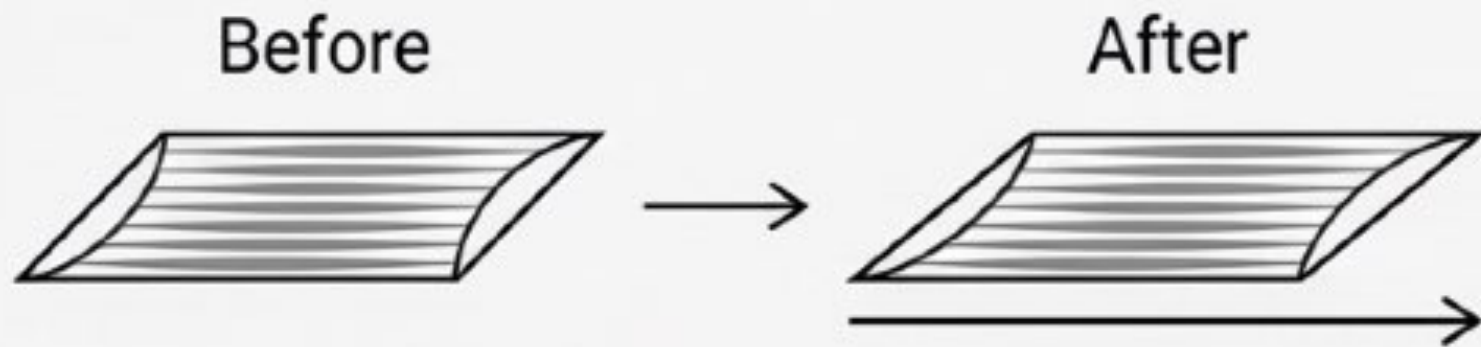


# Позиция оказалась важнее интенсивности

Исследования 2025 года подтвердили, что ключевым фактором является не тип сокращения или интенсивность как таковые, а механическое напряжение, создаваемое в максимально растянутом положении мышцы.

Исследование: Bizet et al. (2025), *Journal of Applied Physiology*.

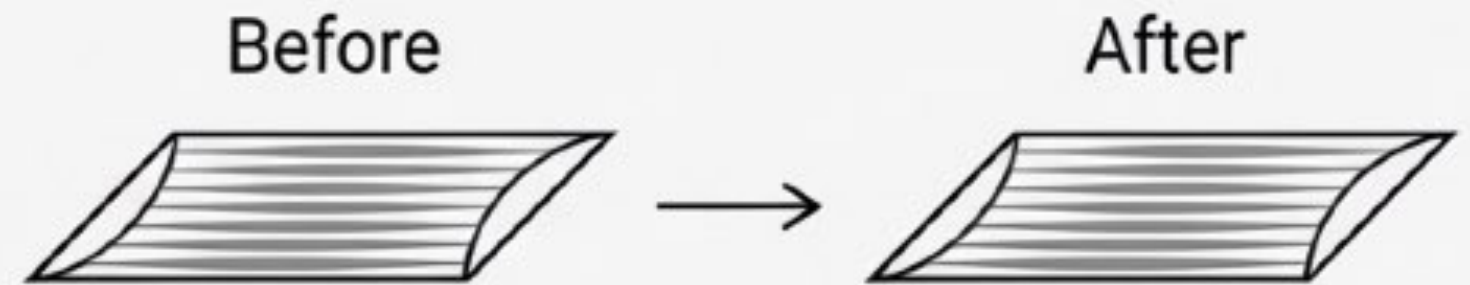
## Тренировка в растянутом положении (Long-Muscle-Length)



**+8.5%**

Увеличение длины фасцикул

## Тренировка в укороченном положении (Short-Muscle-Length)



**0%**

Значимых изменений нет



# Фактор возраста: для пожилых «меньше» может быть «больше»

Парадигма «чем выше интенсивность, тем лучше» также была поставлена под сомнение, особенно в контексте возрастных изменений. У пожилых мышц наблюдается сниженный анаболический ответ, и максимальные нагрузки могут быть контрпродуктивны.

Ключевые исследования: Hinks et al. (2024) и Power et al. (2023).

**Открытие:** Существует оптимальное «окно» нагрузки для пожилых людей.

- **Субмаксимальная эксцентрика (≈60% от макс.):** Успешно увеличивает число серийных саркомеров (+8–11%) и мощность у старых крыс.
- **Максимальная эксцентрика:** Приводила к дисфункциональным изменениям и признакам перетренированности без значимого саркомерогенеза.

**Вывод:** Оптимальная дозировка нагрузки является возрастнo-специфичной. Универсального протокола не существует.



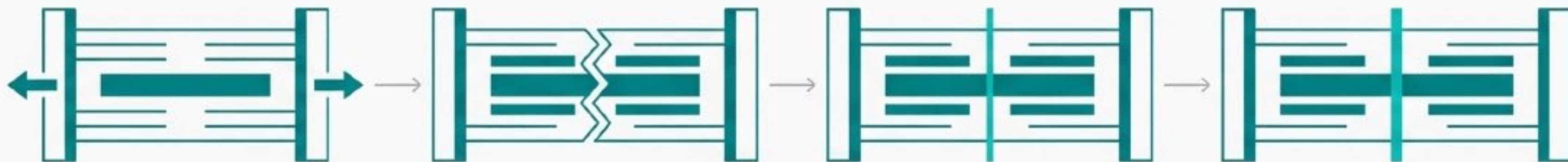


# Фундаментальный переворот: Саркомеры не добавляются. Они ДЕЛЯТСЯ.

В 2025 году исследование в *Science Advances* представило совершенно новый механизм роста мышц, который объясняет все наблюдаемые аномалии. Рост происходит не через добавление, а через деление существующих саркомеров.

Исследование: Rodier et al. (2025), *Science Advances*.

## Механизм «Молнии» (Zipper-like Mechanism)



### 1. Напряжение

Механическое напряжение (особенно в растянутом положении) растягивает саркомер до предела.

### 2. Разделение

В центре саркомера происходит контролируемое локальное повреждение и расхождение миозиновых блоков.

### 3. Формирование

В месте разрыва формируется новый Z-диск.

### 4. Результат

Один «материнский» саркомер превращается в два «дочерних», которые затем достраиваются новыми белками.



# Новая модель объясняет всё

Парадигма деления саркомеров разрешает все противоречия, которые не могла объяснить старая модель.



## Почему рост неравномерен? (Andrews et al.)

Деление происходит там, где механическое напряжение максимально. В Nordic Hamstring Curl это дистальная, растянутая часть мышцы. Поэтому она адаптируется вдвое сильнее.



## Почему позиция важнее интенсивности? (Bizet et al.)

Именно растянутое положение создает пороговое напряжение, необходимое для запуска процесса деления. Без этого напряжения механизм не активируется.



## Почему для пожилых важен субмаксимум? (Hinks et al.)

Деление — это процесс «контролируемого повреждения и восстановления». У пожилых снижены регенераторные способности. Максимальная нагрузка вызывает избыточное повреждение, которое они не могут эффективно восстановить, в то время как субмаксимальная нагрузка остается в пределах их адаптационного «окна».



# Новые правила саркомерогенеза: Ключевые принципы для практики



## Позиция > Интенсивность

Работа в максимально растянутом положении мышцы — критический фактор. Это создает необходимое напряжение.



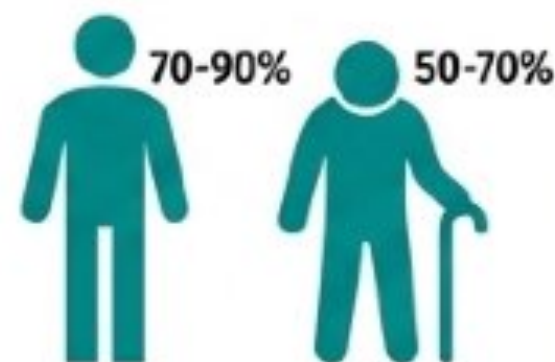
## Напряжение в растяжении — ключ

Медленная, контролируемая эксцентрическая фаза (3-5 секунд) максимизирует время под напряжением, запуская механизм деления.



## Региональная специфичность

Помните, что адаптируется именно тот участок мышцы, который испытывает наибольшее растяжение. Подбирайте упражнения соответственно.



## Возрастно-специфичная дозировка

Для молодых атлетов оптимальна интенсивность 70-90% от 1ПМ. Для пожилых — 50-70%, чтобы не превышать регенераторные возможности.



## Минимальный срок: 8-9 недель

Значимый саркомерогенез — это долгая адаптация. Первые недели идет удлинение существующих саркомеров, деление начинается позже.



# Хронология революции: Ключевые исследования 2022–2025

Год	Исследование	Ключевой результат	Парадигматический сдвиг
2022	Ahmed et al.	Саркомеры проходят «созревание» со сменой изоформ ТИТИНА.	От «количества» к «качеству» саркомеров.
2024	Andrews et al.	<b>Первое прямое доказательство у людей:</b> +49% саркомеров в дистальном регионе, +25% в центре.	<b>Региональная специфичность доказана:</b> растянутая часть адаптируется в 2 раза сильнее.
2025	Bizet et al.	Тренировка в длинном положении: +8.5% длина фасцикул. В коротком: 0%.	<b>Позиция &gt; Интенсивность:</b> растяжение — главный триггер.
2025	Rodier et al.	<b>Саркомеры ДЕЛЯТСЯ</b> по «зиппер-механизму» под действием натяжения.	<b>Революция механизма:</b> от линейного добавления к биологическому делению.



# Консенсус, расхождения и открытые вопросы

Хотя новая парадигма формирует прочный фундамент, в научном сообществе продолжают дискуссии по ряду ключевых вопросов.

## Зона консенсуса (Все согласны)



- Главный драйвер — локальное механическое напряжение.
- Работа в растянутом положении наиболее эффективна.
- Требуется длительность стимула ( $\geq 8-9$  недель).

## Зоны расхождений (Идут дебаты)



- **Пассивное растяжение vs. Активная работа:** Насколько эффективен чисто пассивный стретчинг у людей в реальных условиях? Warneke et al. показывают потенциал, но практические обзоры более скептичны.
- **«Уникальность» эксцентрики:** Это действительно особый тип сокращения, или просто самый удобный способ создать высокое напряжение в растянутом положении?
- **Повреждение как триггер:** Деление саркомеров (Rodier et al.) предполагает контролируемое повреждение. Titin-центричные модели утверждают, что повреждение не обязательно. Где лежит порог?

## Открытые вопросы (Что дальше?)



- Подтверждение механизма деления у людей.
- Адаптации мышц верхних конечностей.
- Долгосрочные адаптации ( $>6$  месяцев).



# Применение на практике: Оптимизация Nordic Hamstring Curl

Давайте применим новые правила к упражнению, которое использовалось в ключевом исследовании Andrews et al.

## Продолжительность

Минимум 9 недель.

## Частота

2–3 сессии в неделю с 48–72 часами отдыха.

## Техника

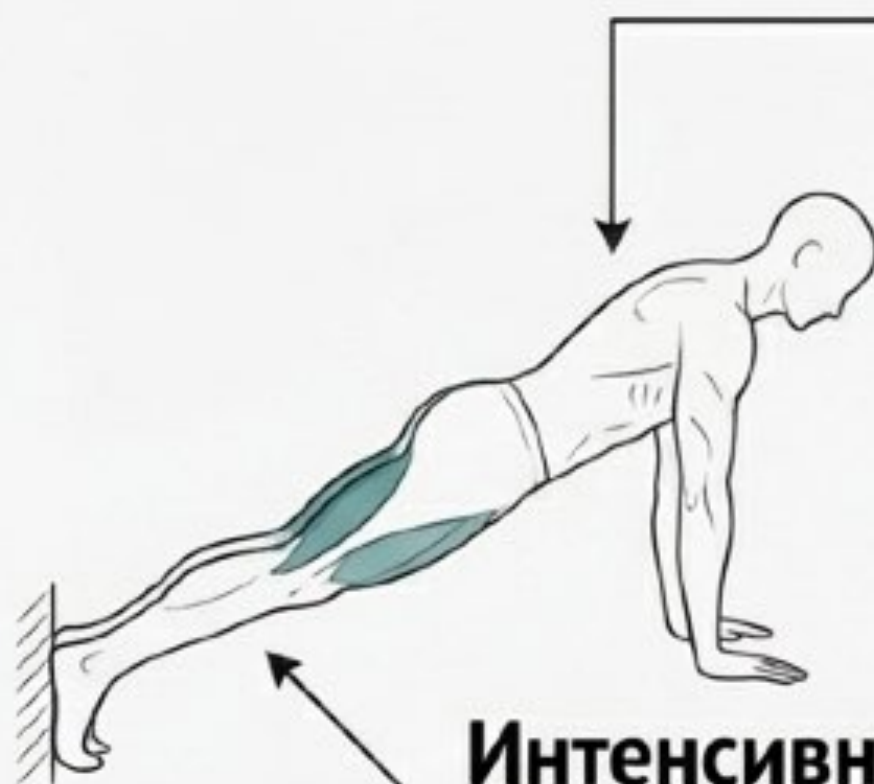
Максимальная амплитуда движения. Фокус на медленной, контролируемой эксцентрической фазе (3–5 секунд на опускание) для максимизации времени под напряжением в растянутом положении.

## Интенсивность

- **Молодые атлеты (20–35 лет):** Прогрессия к 70–90% от максимального усилия.
- **Пожилые атлеты (>60 лет):** Работа в диапазоне 50–70%, избегая чрезмерного мышечного повреждения.

## Объем

60–100 общих повторений в неделю на мышечную группу.





# От механики к биологии: новое понимание мышцы

Фундаментальный переворот 2025 года изменил наш взгляд на мышцу — от пассивной механической структуры к активной, самоорганизующейся биологической системе.

## Старое понимание (Механика сборки)



**Модель:** Мышца — это пассивная конструкция, которая растет путем добавления готовых блоков (саркомеров) в конец, как стена из кирпичей.



**Процесс:** Линейный, централизованный, предсказуемый.



**Триггер:** Внешняя нагрузка.

## Новое понимание (Биология развития)



**Модель:** Мышца — это живая система, которая растет путем **деления** существующих структур, подобно делению клеток (митозу).



**Процесс:** Локальный, самоорганизующийся, зависящий от внутреннего напряжения.



**Триггер:** Внутреннее механическое напряжение в растянутой позиции.

Этот сдвиг открывает новую эру в разработке тренировочных протоколов, реабилитации и лечении мышечных заболеваний.