

Глава 1

Механические технологии

Одним из самых древних и доступных способов воздействия на организм является **массаж**. В широком понимании массаж означает лечение или оздоровление организма через механическое воздействие на кожу руками или с помощью инструментов. Воздействие может быть разным, например:

- Давление (точечное, с перемещением).
- Постукивание.
- Вибрация.
- Компрессия / декомпрессия.
- Растирание.
- Разминание.
- Поглаживание.

Массажные техники оттачивались веками, и ориентиром для этого служили наблюдения и опыт, передаваемый из поколения в поколение. И только в XX веке с развитием медицинской техники массаж вышел на совершенно иную высоту. С помощью аппаратов стало возможным не только контролировать силу и время воздействия, но и воздействовать одновременно несколькими факторами, причем не только механическими, но и физическими (например, свет и температура).

К настоящему моменту сформировалось отдельное научное направление — **механобиология кожи**, которое изучает не только биомеханические свойства кожной ткани, но и реакции клеток на внешнее механическое воздействие. Результаты исследований привели к переосмыслению роли кожи в процессе массажа: кожа — вовсе не пассивный проводник сигнала кльному органу или ткани. Она сама активно на него реагирует и даже может структурно меняться. Это открывает широкие перспективы для применения массажа для омоложения кожи, а также для решения различных эстетических задач, в числе которых — коррекция фигуры.

Сегодня массажные процедуры — важная часть эстетического ухода, направленного на улучшение структуры и функций кожи. Однако для достижения стойких и ярких клинических результатов требуется специальная аппаратура, позволяющая прорабатывать кожу дозированно,

на разную глубину и одновременно несколькими факторами. Чтобы подчеркнуть клинические возможности аппаратного массажа, его все чаще называют **механотерапией**.

1.1. Молекулярно-клеточные механизмы механотерапии

Механические воздействия деформируют кожу — объемная структура кожи искажается (**рис. IV-1-1**). При этом искажается не только межклеточное пространство, но и сами клетки. Деформация запускает в клетках определенные процессы, которые сказываются на их функционировании и, в конце концов, приводят к структурным перестройкам в тканях.



ДЕКОМПРЕССИЯ
(наложение вакуума)



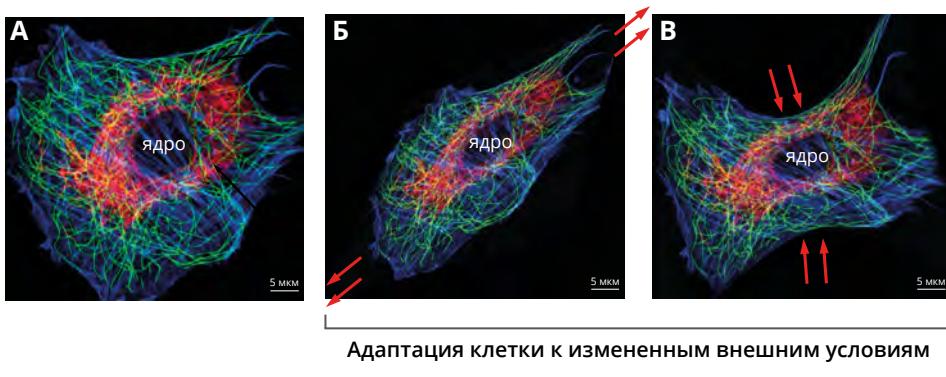
КОМПРЕССИЯ
(давление)



ФОРМИРОВАНИЕ
КОЖНЫХ СКЛАДОК



Рис. IV-1-1. Варианты деформации кожи



Адаптация клетки к измененным внешним условиям

Рис. IV-1-2. Цитоскелет фибробласта (флуоресцентная микрофотография): микротрубочки (зеленые линии), промежуточные филаменты (красные линии): А — фибробласт в покое; Б, В — изменение цитоскелета и формы фибробласта под действием внешних деформирующих сил (Pollard T.D., Goldman R.D., 2018)

1.1.1. Цитоскелет клеток и внеклеточный матрикс

Каждая живая клетка имеет внутренний каркас из белковых микротрубочек — цитоскелет (**рис. IV-1-2**) (Pollard T.D., Goldman R.D., 2018). Цитоскелет поддерживает форму клетки в состоянии покоя и необходим для движения — будь то перемещение клетки как единого целого при миграции или же движение отдельной части клетки при захвате извне и выбросе наружу каких-то веществ (Pollard T.D., 2016). Искажение внешнего пространства приводит к деформации цитоскелета. Клетка может вытягиваться целиком, или же искажается какая-то ее часть.

Трансформация цитоскелета запускает в клетке самые разные биохимические процессы, которые позволяют ей адаптироваться к внешней среде. В частности, реакция фибробласта на длительное растяжение выражается в активации синтеза фибрillлярных белков, формирующих трехмерную сеть. Фибробласт «сидит» на волокнах этой сети и чувствует изменение их натяжения, поскольку при этом его внутренний цитоскелет тоже меняет свою конфигурацию (**рис. IV-1-3**). Чтобы кожа эффективнее сопротивлялась растяжению, фибробласты укрепляют ее путем производства новых структурных белков, в том числе коллагена. Таким образом фибробласты адаптируют кожу к дополнительной нагрузке (Humphrey J.D. и соавт., 2014).

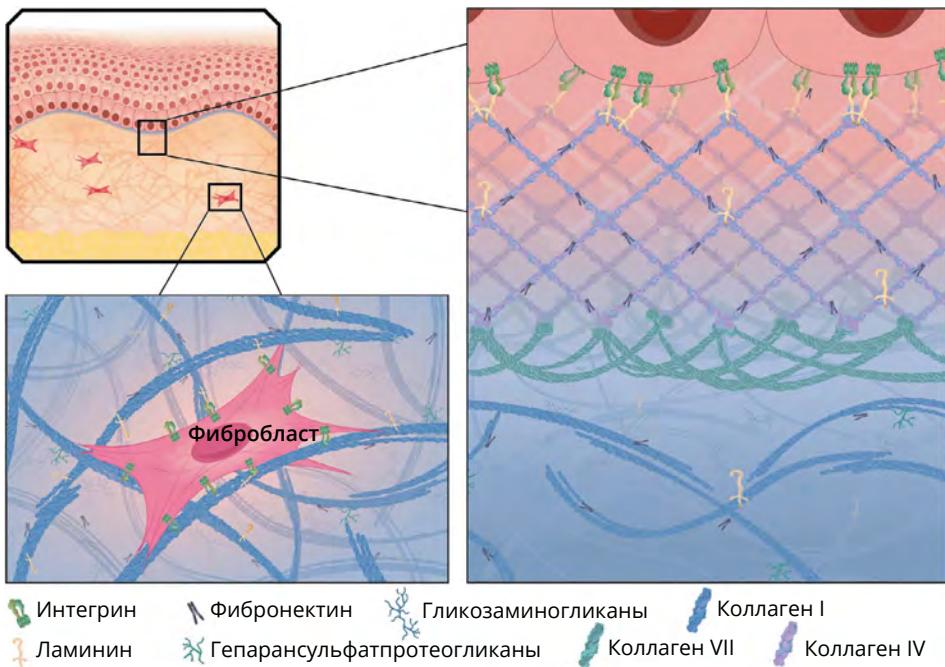


Рис. IV-1-3. Основные структурные молекулы кожи (Pfisterer K. с соавт., 2021)

1.1.2. PIEZO-каналы — механорецепторы клеток

В восприятии механического сигнала клеткой может участвовать не только цитоскелет, но и внешняя оболочка клетки — клеточная мембрана. Основу клеточной мембраны составляет липидный бислой. Это тончайшая гибкая пленка: под действием внешней механической силы она прогибается, ее боковое натяжение меняется. Пусть это изменение не очень сильное, но его может быть достаточно, чтобы изменить форму белков, которые связаны с мембраной. Для подавляющего большинства мембранных белков это некритично и никак не скажется на работе. Но у некоторых клеток есть особые белки, которые высокочувствительны именно к деформации мембраны.



Ардем Патапутян
(Ardem Patapoutian)

Эти белки, формирующие сквозные каналы для ионов, были открыты в 2010 году американским молекулярным биологом и нейробиологом Ардемом Патапутяном, который дал им название — PIEZO от греческого слова «пресс, сжатие». За открытие PIEZO-каналов в 2021 году доктору

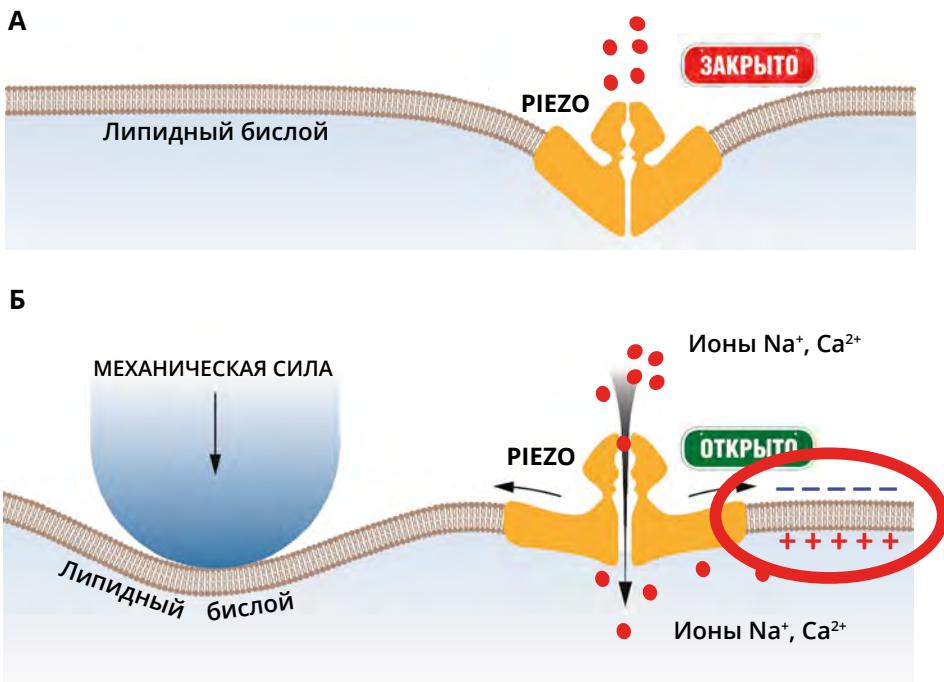


Рис IV-1-4. PIEZO-каналы — каналы с механическим открытием

Патапутяну была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине (Kefauver J.M. и соавт., 2020).

В норме PIEZO-каналы закрыты, потому их еще называют каналами с механическим открытием, или каналами с растяжением (рис. IV-1-4). Если под действием внешней силы прилегающая к такому белку мембрана растягивается, то вслед за ней деформируется сам белок, и канал открывается (Parpaite T., Coste B., 2017).

1.1.3. Тактильные рецепторы — механорецепторы кожи

PIEZO-каналы обнаружены в окончаниях чувствительных (афферентных) нервных волокон, которые реагируют на различные механические стимулы, такие как прикосновение, давление и растяжение. Эти высокоспециализированные сенсоры получили общее название — механорецепторы.

Механорецепторы, расположенные в разных органах, обычно называют в соответствии с выполняемыми ими функциями. Например, барорецепторы в стенках кровеносных сосудов, сердца, мочевого пузыря регистрируют

давление жидкости. Проприорецепторы в мышцах и суставах реагируют на растяжение и участвуют в координации мышечной работы. Вестибуло-рецепторы реагируют на движение головы и нужны для ориентирования в пространстве. Тактильные рецепторы кожи отвечают за кожную чувствительность (Abraira V.E., Ginty D.D., 2013)

Механорецепторы разных видов отличаются по строению, но не по принципу регистрации и передачи сигнала. Последовательность событий можно представить следующим образом.

1. При механической деформации мембранные PIEZO-канал открывается, и через него внутрь клетки начинают поступать заряженные ионы — Ca^{2+} , Na^+ (рис. IV-1-4Б).
2. С внутренней стороны мембранны, где в состоянии покоя сконцентрированы отрицательные ионы, появляется большое число положительных ионов, и «-» меняется на «+». В покое все наоборот — на внутренней стороне мембранны «-», на внешней — «+». Таким образом, при открытии канала, пропускающего положительные ионы внутрь клетки, происходит кратковременная смена полюсов, то есть деполяризация мембранны (Ridone P. и соавт., 2019).
3. Участок деполяризации служит своего рода эпицентром, от которого начинает распространяться волна деполяризации (или, как ее называют, нервный импульс). Импульс идет строго в одном направлении: в случае чувствительного нейрона — от механорецептора по аксону. В какой-то момент волна возбуждения достигает соседнюю нервную клетку и передает эстафету ей (рис. IV-1-5).

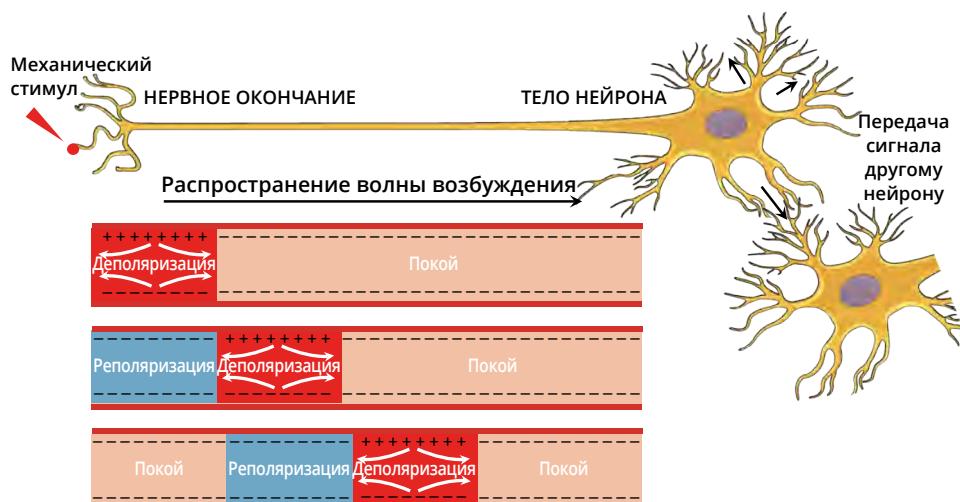


Рис IV-1-5. Распространение волны возбуждения (импульса) вдоль нервного волокна

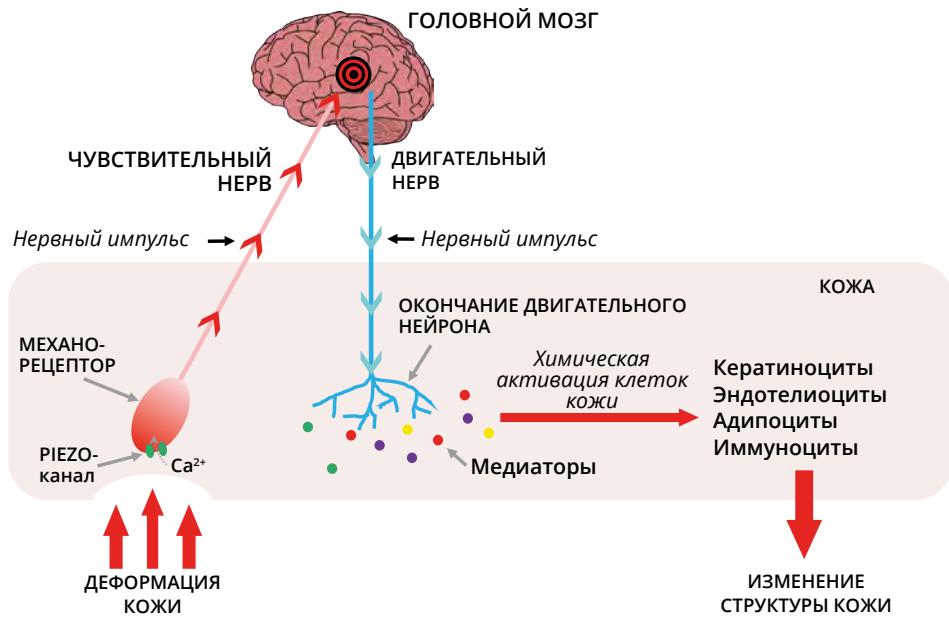


Рис IV-1-6. Принцип mechanosensitivity на примере кожи

4. Нервный импульс достигает головного мозга (рис. IV-1-6). Здесь полученная информация обрабатывается, и принимается решение, как на нее реагировать. Команда из головного мозга спускается по двигательным (афферентным) нейронам и достигает их окончаний, из которых начинают выделяться различные вещества, которые являются сигналами для других клеток кожи — иммуноцитов, эндотелиоцитов, кератиноцитов, фибробластов, адипоцитов. Каждый тип клеток будет реагировать на свой сигнал в соответствии со своей природой.

Конечно, это очень общая и упрощенная схема того, как внешние механические силы могут вызвать изменение структуры кожи. **Ключевое слово здесь — деформация.**

- Деформация межклеточного матрикса ведет к деформации цитоскелета, и это запускает в клетке биохимические процессы. Наиболее яркий пример — это фибробласт. Он напрямую чувствует деформацию.
- Деформация клеточной мембранны открыывает PIEZO-каналы в тактильных рецепторах, они возбуждаются и по чувствительным нервным волокнам передают сигнал в центральную нервную систему (ЦНС). А уже оттуда в обратную сторону команда спускается к клеткам кожи в виде химических сигнальных веществ, которые