

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Убайдуллева Вазира патчахановна

vaziraubaydullaeva1@gmail.com

Ташкентский государственный медицинский университет

Атавуллаева Эъзоза Вохиджон кизи

Студентка 1-го курса факультет Педиатрии

Ташкентский государственный медицинский университет

Аннотация

В биофизике деформация рассматривается как изменение формы, размеров или структурных свойств биологических объектов под воздействием внешних и внутренних сил. Этот процесс играет ключевую роль в понимании механических свойств клеток, тканей и органов, а также в изучении их адаптивных и функциональных реакций на нагрузку.

Ключевые слова: Деформация, эластичность, биологические материалы, напряжение, растяжение, сжатие, деформационные процессы, прочность, механические нагрузки, гидростатическое давление, растяжимость, структурная стабильность, механическая устойчивость.

Introduction

Введение

Изучение биофизических аспектов деформации биологических структур имеет важное значение для понимания их функциональных свойств. Анализ механического поведения тканей и клеток позволяет прогнозировать изменения при патологиях и способствует разработке эффективных методов реабилитации и биоматериалов с заданными свойствами.

Биологические ткани обладают сложной пространственной организацией и неоднородной структурой, что определяет их способность сопротивляться различным видам внешних воздействий — растяжению, сжатию, кручению и сдвигу. Деформационные процессы на микро- и макроуровне отражают особенности межклеточного матрикса, упругость мембран, степень гидратации и плотность волокнистых компонентов.

Понимание закономерностей деформации важно не только для фундаментальной науки, но и для клинической практики. Например, оценка эластичности сосудов помогает в ранней диагностике атеросклероза, исследование механики костной ткани — в выявлении остеопороза, а анализ упругих свойств кожи — в прогнозировании заживления ран.

Таким образом, изучение биофизических аспектов деформации служит основой для разработки методов функциональной диагностики, оптимизации хирургических

вмешательств, создания протезов, имплантов и биоинженерных материалов, максимально

Основная часть

В медицине **изгиб** часто рассматривается при изучении работы суставов, позвоночника, сосудов, мышечных волокон, а также при разработке ортопедических и реабилитационных технологий.

Изгиб как вид деформации. Изгиб — это один из основных видов деформации твердых тел, при котором под действием внешней нагрузки происходит отклонение продольной оси элемента от первоначального (прямолинейного) положения. Другими словами, изгиб — это деформация, при которой тело изменяет свою форму и частично размеры, оставаясь при этом целостным.

Физическая сущность изгиба. При изгибе в материале возникают внутренние напряжения, которые распределяются неравномерно по сечению. Одна часть тела растягивается, другая — сжимается. Между этими областями проходит так называемая нейтральная ось — линия, вдоль которой деформации отсутствуют.

Верхние волокна при положительном изгибе находятся в состоянии растяжения, а нижние — сжатия (или наоборот, в зависимости от направления изгиба).

Виды изгиба:

Простой изгиб — деформация, возникающая под действием поперечной силы и изгибающего момента, распределённых в одной плоскости. Пример: балка, опирающаяся на две опоры и нагруженная посередине.

Поперечный изгиб — когда нагрузка действует перпендикулярно продольной оси элемента.

Пример: мостовая балка под действием веса транспорта.*

Продольный изгиб (или кручёный изгиб) — сочетание изгиба и кручения, возникающее, если нагрузка приложена вне плоскости симметрии сечения.

Пример: винтовые или изогнутые конструкции.*

Чистый изгиб — случай, когда на элемент действует только изгибающий момент без поперечных сил. Пример: элемент балки, находящийся в середине пролёта под равномерно распределённой нагрузкой.

Основные параметры изгиба. Изгибающий момент (M) — величина, характеризующая степень изгиба.

Момент инерции сечения (I) — определяет жёсткость элемента относительно изгиба.

Модуль упругости (E) — отражает способность материала сопротивляться деформации.

Кривизна (κ) — мера изменения формы элемента при изгибе, обратно пропорциональна радиусу изгиба.

Формула, связывающая эти параметры: $M/I = \sigma/y = E * k$

Где, σ — нормальные напряжения, y — расстояние от нейтральной оси до рассматриваемой точки сечения.

Практическое значение изгиба. Изгиб является одним из наиболее распространённых видов деформации в инженерной практике. Он учитывается при проектировании балок, мостов, рам, колонн, стержней и осей машин. Анализ изгиба позволяет определить не только прочность конструкции, но и её жёсткость, устойчивость и надёжность при эксплуатации.

Почему стебель растений и кости человека пористые? Стебель растений и кости человека обладают пористой структурой, потому что это обеспечивает оптимальное сочетание прочности и лёгкости. С биофизической точки зрения, пористость является результатом особого пространственного строения тканей, которое позволяет выдерживать механические нагрузки при минимальной массе материала.

У растений стебель состоит из клеточных стенок, образованных целлюлозой, лигнином и другими полисахаридами. Между клетками и внутри них существуют многочисленные межклеточные пространства, заполненные воздухом или жидкостью. Такая пористая структура выполняет несколько функций:

- ✓ снижает массу стебля, облегчая его удержание в вертикальном положении;
- ✓ способствует передаче воды и питательных веществ по проводящим пучкам;
- ✓ величиваеует устойчивость к механическим воздействиям — изгибу, ветру, давлению.

Благодаря пористости растения сохраняют прочность, гибкость и способность к росту при минимальных энергетических затратах.

Кости человека также имеют пористое строение: наружный слой представлен компактным веществом, а внутренняя часть — губчатым (трабекулярным) веществом. В губчатом веществе кости множество мелких полостей, заполненных костным мозгом и кровеносными сосудами. Такая структура обеспечивает:

- ✓ высокую механическую прочность при относительно небольшой массе;
- ✓ амортизацию при движении и ударах;
- ✓ возможность обмена веществ между костной тканью и кровью.

С биофизической позиции, пористость — это естественный способ достижения механической оптимизации: минимальное количество вещества создаёт максимальную прочность за счёт рационального распределения нагрузки. Поэтому и в растениях, и в костях человека пористая структура — результат эволюционного приспособления, направленного на экономию материала, энергии и повышение устойчивости к внешним воздействиям.

В процессе изучения деформации твёрдых тел важно учитывать классические уравнения, выведенные выдающимися учёными, такими как Коши, Гук и Ламе. Именно эти уравнения легли в основу современной теории упругости и описывают взаимосвязь между напряжениями, деформациями и внешними силами.

Особое значение имеют уравнения Ламе, которые выражают зависимость между компонентами деформации и напряжения в изотропных упругих телах. Эти уравнения позволяют установить связь между перемещениями точек тела и возникающими в нём внутренними напряжениями, что даёт возможность глубже понять механизмы упругой деформации.

В общем виде уравнения Ламе записываются так:

$$\left\{ \lambda(\nabla \cdot \mathbf{u}) + 2\mu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{F} = \rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} \right.$$

- λ и μ — постоянные Ламе, характеризующие упругие свойства материала;
- ρ — плотность вещества;
- \mathbf{u} — вектор перемещений;
- \mathbf{F} — вектор внешних сил;
- $\nabla \cdot \mathbf{u}$ и $\nabla^2 \mathbf{u}$ — дивергенция и лапласиан вектора перемещений соответственно.

Эти уравнения применяются при анализе механических свойств тел под воздействием нагрузок, при расчёте напряжённо-деформированного состояния конструкций, а также в биомеханике, геофизике и инженерных науках. Они позволяют определить, как изменяется форма и объём тела под действием внешних сил, сохраняя при этом математическую точность описания физических процессов.

И вообщем на этот вопрос можно ответить с помощью физической сущности изгиба:
Физическая сущность изгиба.

При изгибе внутри тела возникают внутренние напряжения, распределённые неравномерно по сечению. Одна часть материала испытывает растяжение, другая — сжатие. Между этими областями проходит нейтральная ось — линия, где напряжения и деформации равны нулю.

Чтобы понять это наглядно, рассмотрим пример с изгибом столба(1-рис.).

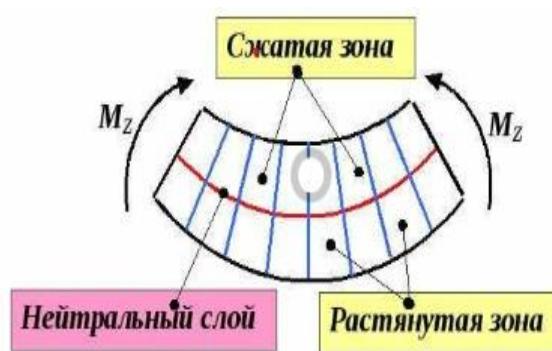


Рисунок-1. Нормальные напряжения при изгибе

Предположим, столб состоит из трёх условных слоёв:

верхний слой — растягивается, его волокна удлиняются;

средний слой — находится вблизи нейтральной оси, и потому не изменяет свою длину;

нижний слой — сжимается, его волокна укорачиваются.

Таким образом, при изгибе средний слой фактически не участвует в деформации, а играет роль границы между зонами растяжения и сжатия. Чем дальше слой расположен от нейтральной оси, тем большее напряжение он испытывает.

Известные испанские архитекторы М.Р. Сервера и Х. Плоз, активные приверженцы бионики, с 1985 г. начали исследования «динамических структур», а в 1991 г. организовали «Общество поддержки инноваций в архитектуре». Группа под их руководством, в состав которой вошли архитекторы, инженеры, дизайнеры, биологи и психологи, разработала проект «Вертикальный бионический город-башня». Через 15 лет в Шанхае должен появиться город-башня (по прогнозам ученых, через 20 лет численность Шанхая может достигнуть 30 млн человек). Город-башня рассчитан на 100 тысяч человек, в основу проекта положен «принцип конструкции дерева» (Рис.-2).

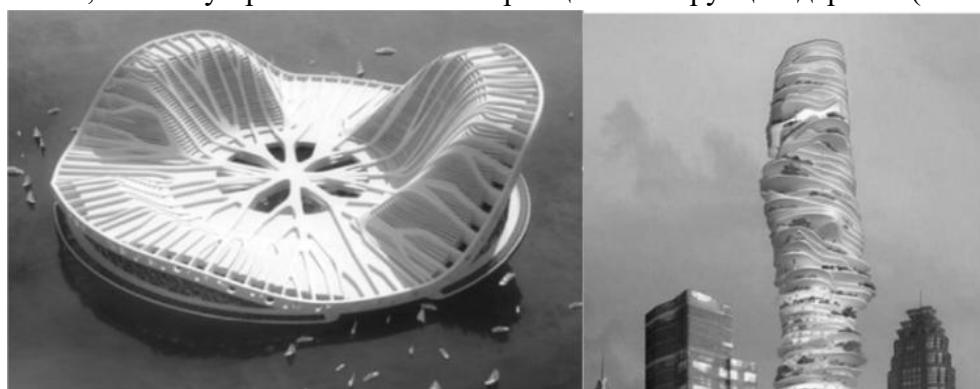


Рисунок-2. Проекты архитектурной бионики

Башня-город будет иметь форму кипариса высотой 1128 м с обхватом у основания 133 на 100 м, а в самой широкой точке 166 на 133 м. В башне будет 300 этажей, и расположены они будут в 12 вертикальных кварталах по 80 этажей. Между кварталами — перекрытия-стяжки, которые играют роль несущей конструкции для каждого уровня квартала. Внутри кварталов — разновысокие дома с вертикальными садами. Эта тщательно продуманная конструкция аналогична строению ветвей и всей кроны кипариса. Стоять башня будет на свайном фундаменте по принципу гармошки, который не заглубляется, а развивается во все стороны по мере набора высоты — аналогично тому, как развивается корневая система дерева. Ветровые колебания верхних этажей сведены к минимуму: воздух легко проходит сквозь конструкцию башни. Для облицовки башни будет использован специальный пластичный материал, имитирующий пористую поверхность кожи.

1. Понятие деформации и теоретические основы

В биофизике деформация рассматривается как фундаментальный процесс, при котором форма, размеры или структурные свойства биологических объектов изменяются под воздействием внешних и внутренних сил. Этот процесс охватывает широкий спектр явлений — от микроуровня, где деформация наблюдается на уровне клеточных мембран и цитоскелета, до макроуровня, включающего ткани и органы целиком. Понимание деформации является ключевым для анализа механических свойств живых систем, их

функциональной адаптации и реакций на различные нагрузки. Биофизическое изучение деформации позволяет прогнозировать поведение биологических структур в нормальных и патологических условиях, а также разрабатывать методы воздействия, например, при медицинской реабилитации или создании биоматериалов.

Деформации в биологических системах классифицируются на упругие и пластические. Упругая деформация характеризуется способностью объекта возвращаться в исходное состояние после прекращения воздействия внешней силы. Этот тип деформации особенно важен для нормальной работы тканей, поддержания структурной целостности органов и защиты клеток от повреждений. В то же время пластическая деформация приводит к постоянным изменениям формы или структуры, что может наблюдаться при длительном или чрезмерном воздействии механических сил, при травмах или патологических состояниях. В биофизике понимание различий между упругой и пластической деформацией помогает анализировать адаптационные механизмы живых тканей и прогнозировать последствия различных физических воздействий.

Особое внимание в биофизике уделяется механическим аспектам деформации на уровне клеточных структур. Изучаются процессы, происходящие в клеточных мембранах, где изменение формы может влиять на проницаемость и транспорт ионов, в цитоскелете, обеспечивающем поддержку и форму клетки, и в межклеточном веществе, которое отвечает за механическую связь между клетками и тканями. Анализ этих процессов включает использование физических моделей и математических методов для количественного описания деформаций. Это позволяет понять, как живые системы адаптируются к внешним воздействиям, сохраняют структурную устойчивость и обеспечивают оптимальное функционирование на всех уровнях организации.

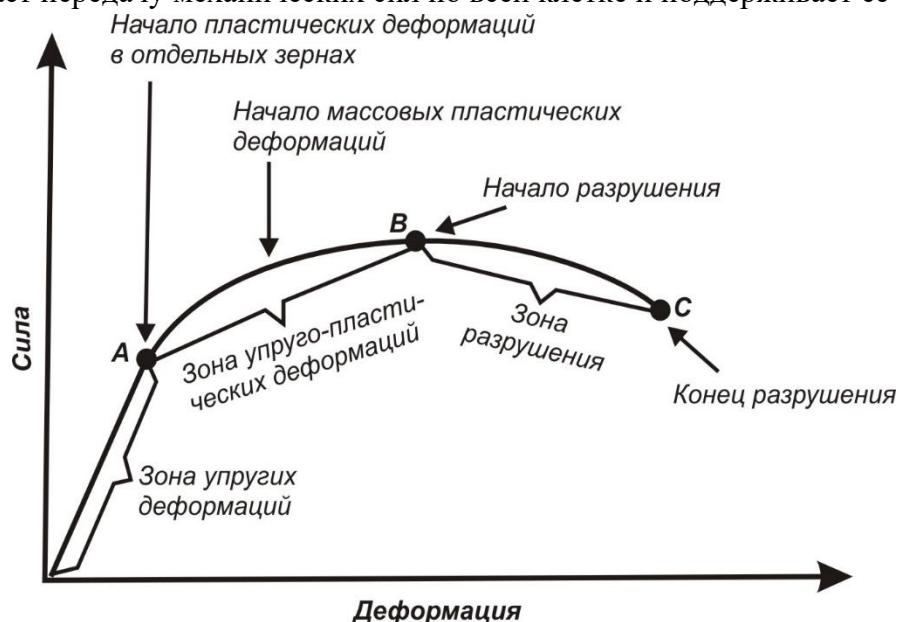
2. Виды деформации и механизмы их проявления

В биофизике деформация биологических объектов может проявляться в различных формах, которые зависят от характера воздействия, структуры материала и особенностей тканей. Основные виды деформации включают упругую, пластическую, а также сложные комбинированные процессы. Упругая деформация позволяет клеткам и тканям временно изменять форму под действием механических сил, при этом возвращаясь в исходное состояние после снятия нагрузки. Этот тип деформации обеспечивает сохранение функциональной активности клеток, предотвращает микроповреждения и играет важную роль в адаптации тканей к динамическим условиям среды.



Пластическая деформация возникает при длительном или чрезмерном воздействии, когда изменения становятся постоянными. В биологических системах это может наблюдаться при повреждениях тканей, нарушениях структуры цитоскелета или изменениях межклеточного вещества. Пластическая деформация связана с перестройкой структурных компонентов клетки, например, с изменением формы мембран, релокацией белковых комплексов и нарушением связей между клетками. Изучение этих процессов позволяет выявлять механизмы повреждений и адаптации, а также прогнозировать последствия патологических состояний.

Помимо упругой и пластической деформации, биофизика рассматривает молекулярные и субклеточные механизмы, влияющие на поведение тканей. Например, мембранные деформации могут изменять ионные потоки, активировать механочувствительные рецепторы и инициировать сигнальные каскады, а деформация цитоскелета обеспечивает передачу механических сил по всей клетке и поддерживает её форму.



Анализ межклеточных взаимодействий и деформаций тканей позволяет понять, как целые органы реагируют на давление, растяжение или сжатие, что особенно важно при изучении сердечно-сосудистой системы, мышечных тканей и костей.

3. Научное и практическое значение деформации

Изучение деформации в биофизике имеет как фундаментальное, так и прикладное значение. На фундаментальном уровне оно позволяет понять механические свойства биологических объектов, включая клетки, ткани и органы, а также выявить закономерности их реакции на внешние и внутренние воздействия.

Исследование деформационных процессов помогает выявлять механизмы адаптации и саморегуляции живых систем, а также прогнозировать последствия патологических изменений, например, при травмах, дегенеративных заболеваниях или нарушениях структуры тканей.

На практическом уровне понимание деформации жизненно важно для медицины и биотехнологий. Например, изучение механических свойств тканей и клеток позволяет

создавать эффективные биоматериалы, разрабатывать протезы и искусственные органы, а также улучшать методы хирургии и реабилитации. Моделирование деформационных процессов помогает прогнозировать поведение тканей под воздействием различных нагрузок, что особенно важно при проектировании имплантатов и ортопедических устройств.

Кроме того, исследование деформации способствует развитию диагностических методов. Например, определение эластичности и прочности тканей с помощью современных биофизических инструментов позволяет выявлять ранние стадии заболеваний, контролировать процесс заживления и оценивать эффективность терапии. Эти подходы активно применяются в кардиологии, ортопедии, неврологии и других медицинских областях.

Заключение

Деформация является ключевым понятием биофизики, объединяющим физические законы с изучением живых систем. Она отражает изменения формы, размеров и структуры клеток, тканей и органов под воздействием внешних и внутренних сил. Понимание процессов деформации позволяет анализировать механические свойства биологических объектов, их упругость, эластичность и прочность, а также прогнозировать реакцию тканей на различные нагрузки.

Изучение деформации имеет как фундаментальное, так и прикладное значение. На фундаментальном уровне оно способствует развитию биофизических теорий о поведении живых систем. На практическом уровне понимание деформации используется в медицине, биотехнологиях и инженерии для разработки биоматериалов, протезов, моделирования тканевой механики и улучшения методов диагностики и терапии патологий.

Таким образом, деформация представляет собой универсальный инструмент, который позволяет интегрировать знания физики и биологии, создавать точные модели поведения биологических объектов и применять их для решения прикладных задач.

Научная литература

1. Артюхов В.Г. (1987). Биофизика. — Ереван: Изд-во ЕГУ. В книге подробно рассматриваются механические свойства биологических систем, процессы деформации тканей и клеток.
2. Новиков Д.А. (1999). Биофизика: Учебник для студентов высших учебных заведений. — Москва: ВЛАДОС. Описание основных понятий биофизики, включая деформацию, термодинамику и кинетику в живых системах.
3. Иванов А.А. (2014). Медицинская и биологическая физика. — Минск: БГУ. Книга охватывает влияние механических процессов на биологические ткани и их деформацию.
4. Ремизов А.Н., Максина А.Г., Потапенко А.Я. (2022). Медицинская и биологическая физика. — Минск: БГУ. Практическое и теоретическое рассмотрение механики биологических систем и их деформации.

-
5. Бэйдер Д.Л. (2008). Biomechanical analysis of structural deformation in living tissues. *Journal of Biomechanics*. Статья о методах анализа структурной деформации живых тканей. PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18726630/>)
6. Журнал "Человек без границ" статья Бионика: природа знает лучше
Автор: Елена Ажнина

Онлайн-ресурсы

1. Wikipedia – Деформация

Общие сведения о деформации, её типах и механических процессах.

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Деформация>

2. Wikipedia – Биофизика

Основные понятия, методы и применение биофизики.

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Биофизика>

3. Nature Reviews Molecular Cell Biology – Статья о пластической деформации клеток и тканей.

<https://www.nature.com/articles/nrm.2021.50>

4. Journal of the Royal Society Interface – Исследование биомеханики мягких биологических тканей. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2024.0361>

5. ScienceDirect – Tissue mechanics

Публикации по механике тканей и процессам деформации.

<https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/tissue-mechanics>