

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Бегишева Наиля Ринадовна

И.о.доцента кафедры фармацевтики и химии Университета Альфраганус

n.begisheva@afu.uz

nelli2.05@mail.ru

+998935782587

Аннотация

В статье рассмотрены активные и пассивные механические свойства биологических тканей. Биологические ткани анализируются как композиционные материалы с выраженными вязко-упругими характеристиками. Подробно описаны механические свойства костной, кожной, мышечной и сосудистой тканей. Приведены основные механические модели и аналитические соотношения, используемые для количественного описания деформации биологических структур. Показано практическое значение изучения механических свойств тканей для различных областей медицины.

Ключевые слова: биомеханика, биологические ткани, упругость, вязко-упругие свойства, коллаген, эластин, кровеносные сосуды.

Introduction

BIOLOGIK TO'QMALARNING MEXANIK XUSUSIYATLARI

Annotatsiya

Ushbu maqola biologik to'qimalarning faol va passiv mexanik xususiyatlarini o'rganadi. Biologik to'qimalar aniq viskoelastik xususiyatlarga ega kompozitsion materiallar sifatida tahlil qilinadi.

Suyak, teri, mushak va qon tomir to'qimalarning mexanik xususiyatlari batafsil tavsiflangan. Biologik tuzilmalarning deformatsiyasini miqdoriy tavsiflash uchun foydalaniladigan asosiy mexanik modellar va analitik munosabatlar keltirilgan.

Tibbiyotning turli sohalari uchun to'qimalarning mexanik xususiyatlarini o'rganishning amaliy ahamiyati ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: biomexanika, biologik to'qimalar, elastiklik, viskoelastik xususiyatlar, kollagen, elastin, qon tomirlari.

Введение

Механические свойства биологических тканей являются важнейшей характеристикой, определяющей их поведение при действии внешних и внутренних нагрузок. В биомеханике принято различать **активные** и **пассивные** механические свойства биологических систем.

Активные механические свойства связаны с биологическими процессами движения: сокращением мышц, ростом клеток, перемещением хромосом при делении клетки и другими процессами. Эти явления обусловлены химическими реакциями и энергетически обеспечиваются аденозинтрифосфатом (АТФ). Их природа изучается в курсе биохимии.

Пассивные механические свойства проявляются при внешнем механическом воздействии и не требуют затрат энергии. В данной работе основное внимание уделяется именно пассивным механическим свойствам биологических тканей.

Биологические ткани как композиционные материалы

Биологическая ткань с точки зрения механики представляет собой **естественный композиционный материал**, состоящий из объёмного набора химически и структурно различных компонентов. Механические свойства биологической ткани существенно отличаются от свойств каждого компонента, взятого отдельно.

Методы определения механических характеристик биологических тканей во многом аналогичны методам, применяемым в механике технических материалов.

Механические свойства костной ткани

Кость является основным материалом опорно-двигательного аппарата. В упрощённом виде компактную костную ткань можно рассматривать как композицию, в которой около 2/3 массы (примерно 50% объёма) составляет неорганическая часть — минеральное вещество кости, представленное гидроксиапатитом $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}(\text{OH})_2$. Минеральная фаза присутствует в виде микроскопических кристаллов, расположенных между коллагеновыми фибриллами. Органическая часть кости представлена главным образом коллагеном — высокомолекулярным волокнистым белком с высокой эластичностью.

Плотность костной ткани составляет около $\rho=2400 \text{ кг/м}^3$

Механические свойства кости зависят от возраста, условий развития организма и анатомического расположения.

Композиционная структура придаёт костной ткани высокую жёсткость, упругость и прочность. В области малых деформаций зависимость механического напряжения от относительной деформации близка к линейной:

$$\sigma=E\varepsilon,$$

где $E \approx 10 \text{ ГПа}$ — эффективный модуль упругости кости, а предел прочности достигает порядка 100 МПа.

Костная ткань проявляет **ползучесть** — медленное нарастание деформации при постоянной нагрузке, а также остаточные деформации после снятия нагрузки, что связано с вязко-упругими свойствами коллагеновой матрицы.

Минеральная фаза кости деформируется быстро, тогда как полимерная (коллагеновая) часть деформируется значительно медленнее, что объясняет наличие релаксации напряжений и остаточных деформаций.

Механические свойства кожи

Кожа состоит из коллагеновых волокон, эластических волокон и основного межклеточного матрикса. Коллаген составляет около 75% сухой массы кожи, эластин — примерно 4%.

Эластин обладает способностью к большим обратимым деформациям (до 200–300%), в то время как коллаген растягивается до 10%, что сопоставимо со свойствами капронового волокна.

Таблица — Механические характеристики компонентов кожи

Материал	Модуль Юнга, ГПа	Предел прочности, МПа
Коллаген	10–100	100
Эластин	0,1–0,6	5

Таким образом, кожа является **вязко-упругим материалом**, обладающим высокой эластичностью и способностью к значительным деформациям.

Механические свойства мышечной ткани

В состав мышц входит соединительная ткань, содержащая коллагеновые и эластические волокна, что обуславливает сходство механических свойств мышц с полимерными материалами.

В гладких мышцах релаксация напряжений хорошо описывается **моделью Максвелла**, при которой напряжение убывает по экспоненциальному закону.

Благодаря этому гладкие мышцы могут значительно растягиваться даже при небольших напряжениях, что обеспечивает увеличение объёма полых органов, например мочевого пузыря.

Механические свойства ткани кровеносных сосудов

Механические свойства кровеносных сосудов определяются соотношением коллагена, эластина и гладкомышечных волокон. Это соотношение изменяется по ходу сосудистой системы: в крупных артериях преобладает эластин, тогда как в артериолах основным элементом становятся гладкие мышечные волокна.

В общем виде кровеносный сосуд можно рассматривать как **тонкостенный упругий цилиндр** радиуса r и толщины стенки h , находящийся под действием внутреннего давления p .

Напряжение в стенке сосуда определяется **уравнением Ламе**:

$$\sigma = \frac{pr}{h}$$

При растяжении сосуда предполагается, что объём стенки остаётся постоянным:

$$2\pi rh = \text{const}, \text{ то есть } rh = b = \text{const}$$

С учётом упругих свойств стенки и закона Гука получаем связь между радиусом сосуда и давлением:

$$d\sigma = E \cdot \frac{dr}{r}$$

При больших значениях модуля упругости:

$$dp = \frac{Eb}{r^3} dr$$

Эти соотношения используются при анализе распространения пульсовых волн в кровеносных сосудах. Значительный вклад в экспериментальное изучение механических свойств сосудов внес Н. С. Хамин.

Практическое значение

В заключение отметим области и направления медицины, где наиболее важным считается знание механических свойств биологических тканей:

- в космической медицине, поскольку в ней человек оказывается в новых, экстремальных условиях жизни;
- эффективность достижений в спорте и ее растущая тенденция привлекают внимание врачей, работающих в области спортивной медицины, к физиологическим возможностям опорно-двигательного аппарата человека;
- гигиенистам необходимо учитывать механические свойства тканей при защите человека от воздействия вибрации;
- при замене естественных органов и тканей искусственными еще важнее знать механические свойства и параметры биологических объектов;
- в судебной медицине необходимо знать сопротивление (прочность) биологических структур различным деформациям;
- в травматологии и ортопедии основными методами являются вопросы механического воздействия на организм.

Заключение

Биологические ткани обладают сложными механическими свойствами, обусловленными их композиционной структурой и вязко-упругой природой. Количественное описание этих свойств с использованием механических моделей и аналитических соотношений является необходимой основой для решения широкого круга медицинских и биоинженерных задач.

Iqtiboslar/Сноски/References

1. <https://studfile.net/preview/5244467/page:3/>
2. Integrativ yondashuvlar asosida qattiq jism va biologik to'qimalar biofizikasi o'qitish metodikasini takomillashtirish. Monografiya.
3. Begisheva, N. R., & Sokolov, B. Y. (2010). The magneto optic research of weak ferromagnet FeBO {sub 3}: Mg nonuniform phase; Magnitoopticheskie issledovaniya neodnorodnoj fazy slabogo ferromagnetika FeBO {sub 3}: Mg.
4. Бегишева Н. Р. БЎЛАЖАК ПЕДАГОГЛАРНИНГ РАҚАМЛАШТИРИШ ЖАРАЁНИДА ФАОЛЛИГИНИ ОШИРИШ УСУЛЛАРИ //Academic research in educational sciences. – 2022. – Т. 3. – №. 2. – С. 0268-0273.