

Слайд№1

Доброго дня, шановні присутні та шановна комісія!

До Вашої уваги пропонується дипломна робота на тему дослідження біомеханічних властивостей кісткової тканини з урахуванням її структури та фізіологічних факторів.

Слайд№2 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На сьогодні існує досить багато робіт присвячених механічним характеристикам кісткової тканини в тому числі і в лабораторії біомеханіки нашої кафедри. Але відомі дані отримані в цих роботах мають досить великі розбіжності, через відсутність чіткої методики визначення цих характеристик.

В той самий час досить мало інформації про вплив на них фізіологічних факторів таких як вологість та температура. При розрахунку НДС кісток методами математичного моделювання не враховуються в'язко-пружні характеристики КТ через відсутність конкретного методу описання цих процесів.

Слайд№3 МЕТА РОБОТИ

- ❑ Розробити методику отримання даних механічних характеристик КТ за якою будуть проводитись подальші дослідження
- ❑ Встановити зв'язок між механічними характеристиками КТ та впливом на них вологи та температури
- ❑ Знайти спосіб описання та прогнозування в'язко-пружної поведінки КТ на основі експериментальних даних

Слайд№4 ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

КТ має багаторівневу внутрішню структуру. Це обумовлює унікальність її механічних параметрів. Для неї характерно:

- несучільність, неоднорідність і анізотропія на мікро- та макрорівнях,
- нелінійність механічних характеристик у пружної області,
- виражена залежність її поведінки і властивостей від часу

Кожна кістка скелету складається з двох типів кісткової тканини: компактної (кортикальної) і губчастої (спонгіозної).

В даній роботі розглядалися зразки лише кортикальної кісткової тканини з

стегнової кістки та з нижньої щелепи людини.

➤ Кортикальна кісткова тканина є анізотропним матеріалом, що обумовлено розташуванням волокон (остеонів) кістк. Механічні характеристики КТ вивчались в двох напрямках: в головному напрямі (вздовж осі орієнтації остенів) та в поперечному (перпендикулярному до напрямку остенів).

Слайд№5 Методика випробувань

➤ Проводились компресійні випробування на універсальній випробувальній машині TIRA-test 2151.

➤ Зразки кісткової тканини розміщувались між спеціально виготовленими захватами. Захвати виготовлені таким чином, що до них жорстко прикріплені горизонтальні рейки, на яких по обидва боки від зразку на однаковій відстані розміщені індикатори переміщень годинникового типу. При переміщенні нижнього захвату індикатори вимірюють зміну відстані між горизонтальними рейками, таким чином усереднені результати показів індикаторів показують деформацію зразка.

Навантаження прикладене до зразка вимірювалось динамометром випробувальної машини. Покази приладів одночасно фіксувались відеокамерою і надалі оброблювались на персональному комп'ютері.

Слайд№6 Обробка експериментальних даних

➤ Так як система випробувальної машини під час експерименту також деформується та дає певну усадку, за для уникнення цієї похибки перед кожним випробуванням КТ проводились калібрувальні випробування з металевим зразком. Випробувальна машина ТИРАТЕСТ призначена для випробування полімерів, тому металевий зразок можна вважати як абсолютно жорстке тіло, а деформації що виникають при навантаженні вважати деформаціями системи машини.

➤ Далі при обробці даних із діаграм деформування зразків КТ віднімалась значення діаграми деформування системи машини, таким чином отримувалась діаграма чистого деформування випробувального зразка.

СЛАЙД№7 Методика випробувань. Вплив вологи та температури

- Випробування проводились за різних фізіологічних умов.
- Зразки випробовувались при трьох рівнях зволоженості

Спочатку зразок випробовувався при звичайних лабораторних умовах, тобто після виготовлення він зберігався без впливу інших факторів крім мікроклімату лабораторії.

Потім зразок просушувався у спеціальній герметичній посудині з силікагелем, речовиною що абсорбує вологу. Перед розміщенням зразку у посудину силікагель відпалювався у термостаті при температурі близько 120°C для випаровування з нього зайвої вологи та підвищення ефективності абсорбції.

Після проведення випробувань із просушеним зразком його поміщали у фізіологічний розчин на одну дві-добу і повторювали експерименти.

Вплив температури на властивості кісткової тканини досліджували при трьох рівнях температури 20, 30, та 40° тобто в межах кімнатної температури та максимальної температури тіла людини. Нагрівання зразка проводили електричним нагрівачем, варіюючи температуру нагрівання зміною відстані зразка від нагрівача. Температуру зразка вимірювали термопарою підключеною до електронного мультиметра.

СЛАЙД №8 Механічні характеристики при короткочасному навантаженні

- При випробуваннях короткочасним навантаженням були отримані діаграми деформування зразків кісткової тканини в різних напрямках навантаження, за різної вологості та при різній температурі.

- З діаграм були визначені модулі пружності кісткової тканини, результати розрахунків представлені в таблиці.

- З отриманих результатів видно, що в кістковому матеріалі спостерігається анізотропія механічних властивостей. Модулі пружності, що відповідають напрямку найбільш наближеному до орієнтації більшості остеонів, є більшими ніж модулі пружності в поперечному напрямі. Відношення E_1/E_2 в залежності

від області кістки, її структурно-функціонального призначення та умов зберігання складають від 1,14 до 4,02

➤ Зміна вологості зразків КТ також впливає на значення модулів пружності. В напрямку орієнтації остеонів в зразках що підлягали просушуванню модуль пружності збільшується на 24,8% - 44%. В напрямку ж поперечному до прямої орієнтації остеонів після просушування модуль змінюється не так суттєво, в межах 5%, що можна віднести до похибки експерименту. При подальшому зволоженні зразків кісткової тканини модуль пружності в головному напрямі зменшується на 7,6% - 14,6%, але здебільшого не повертається до початкового стану при лабораторних умовах. На значення модулів пружності в поперечному напрямі зволоження як і просушка зразків значного впливу не дає.

➤ Випробування при різній температурі зразка 20,30, та 40 градусів не показали змін характеристик КТ

СЛАЙД №9 Релаксація напружень

Релаксація напружень вивчалась при сталій величині відносної деформації за зміною зусиль, що вимірювалися динамометром випробувальної машини. Випробування проводились на зразку № 2 та 3 в різних напрямках та при різних степенях вологості.

На слайді представлені криві релаксації зразка при різній степені зволоженості.

СЛАЙД 10 Релаксація напружень (продовження)

На наступному слайді представлена таблиця зміни напружень у відсотках, за період спостереження 5 хвилин напруження зменшувались на 4-7%. Дослідженням швидкості релаксаційних процесів зразків в різних напрямках було виявлено анізотропність поведінки кісткової тканини.

Показано, що релаксація напружень в зразках що зберігаються в різних умовах відбувається з різною швидкістю.

СЛАЙД 11 Повзучість

Повзучість КТ вивчали при постійному, яке забезпечувалось випробувальною машиною у режимі циклічного навантаження. В цьому режимі задавався

один цикл з потрібним навантаженням та його тривалістю. Таким чином після досягнення необхідного навантаження машина зупинялась і підтримувала дане навантаження протягом певного часу. Деформації зразка знімали за показами індикаторів.

Зразки випробовували при чотирьох рівнях навантаження 400,600,800 та 1000 Н протягом 5 хвилин, у різних напрямках: в головному, що відповідає орієнтації остеонів, та поперечному. Експеримент повторювали при різних степенях зволоженості зразка.

СЛАЙД 12 РЕЖИМИ ЦИКЛІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

представлені підраховані значення накопиченої деформації у відсотках, за час спостереження 5 хвилин. Значення представлені для різних напрямів деформування та при різній зволоженості зразка.

Неоднорідність поведінки матеріалу та вплив на неї умов зберігання є досить помітними.

СЛАЙД 13 Опис в'язкопружної поведінки кісткової тканини за допомогою вдосконаленої моделі Работнова

Дослідження в'язко пружних характеристик матеріалу також проводилось на основі експериментальних даних, що були отримані при випробуваннях зразка кісткової тканини №3 та вдосконаленої моделі Работнова.

В Інституті механіки ім. С.П.Тимошенка НАН України при формулюванні розв'язкових рівнянь в моделі Работнова використано експериментально апробовану гіпотезу єдиної ізохронної діаграми деформування. Гіпотеза дозволила скоротити число невідомих функцій і спростити методику визначення параметрів моделі. Робота являє собою подальший розвиток нелінійної моделі Работнова і спрямована на розв'язок задач нестационарної повзучості.

Розглядається нестационарна повзучість та релаксація за умов змінних режимів одновісного навантаження розтягом та стиском.

Представлені можливі режими навантаження та рівняння в рамках якого ці режими реалізуються.

СЛАЙД 14 Опис в'язкопружної поведінки кісткової тканини за допомогою вдосконаленої моделі Работнова (продовження)

Задача полягає у побудові системи визначальних рівнянь, що встановлюють залежність між напруженнями $\sigma(t)$, деформаціями $\varepsilon(t)$ та часом t для нелінійно-в'язкопружних матеріалів, містять набір матеріальних констант і враховують історію навантаження. Розв'язок задачі зводиться до конкретизації функціоналу у вигляді парних інтегральних рівнянь що являють собою визначальні рівняння нелінійної в'язкопружної моделі типу моделі Работнова.

СЛАЙД 15 Опис в'язкопружної поведінки кісткової тканини за допомогою вдосконаленої моделі Работнова (продовження)

В результаті врахування закону навантаження, ядра повзучості та обернення функції діаграми миттєвого навантаження отримуємо визначальні рівняння повзучості, релаксації та їх швидкості.

λ – реологічний параметр, та α, β – параметри ядер – підлягають визначенню із експериментальних кривих повзучості.

СЛАЙД 16 Опис в'язкопружної поведінки кісткової тканини за допомогою вдосконаленої моделі Работнова (продовження)

Для використання даної моделі у випадку кісткової тканини треба показати, що матеріал поводить себе нелінійно в'язко пружно. Вважається, що матеріал поводить ся як нелінійно-в'язкопружний, якщо функція повзучості $J(t)$ не інваріантна по відношенню до рівня напружень, а розраховане значення квантиля статистики менше його критичного значення $t_{\alpha,k}^*$, яке визначається із таблиць.

Показані експериментальні криві повзучості, розраховані криві піддатливості та графік порівняння квантиля статистики.

Як видно з малюнку на більшій частині графіка квантиль статистики менше критичної величини $t_{\alpha,k}^*$, що задовольняє умові нелінійності.

СЛАЙД 17

На основі експериментальних даних розраховані значення параметрів ядер спадковості та реологічний параметр.

Знаючи ці параметри, із заданням режиму навантаження розраховані криві повзучості кісткової тканини. Розрахункові значення (кружки) порівняно з експериментальними. Показано випадок повзучості за постійних умов.

СЛАЙД 18

На наступному слайді розрахункові та експериментальні криві релаксації напружень. Як видно з рисунка, результати розрахунків за сформульованими визначальними рівняннями нелінійної нестационарної повзучості та релаксації кісткової тканини досить задовільно узгоджуються із експериментальними даними.

СЛАЙД 19

Розраховано випадок повзучості при циклічних навантаженнях.

СЛАЙД 20 Висновки

Таким чином в роботі було розроблено більш досконалу методику випробувань та отримані нові дані про механічні характеристики кісткової тканини, досліджено вплив умов зберігання на значення характеристик кісткової тканини. Знайдено спосіб описання вязкопружної поведінки кісткової тканини, що дозволить розраховувати НДС кісток методами математичного моделювання при довготривалих процесах навантаження.