

## **В'ЯЗКОПРУЖНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕПИ ЛЮДИНИ**

**Вступ.** Релаксацію напруження (стресову релаксацію) в механіці твердого деформованого тіла визначають як явище самостійного зменшення напруження з часом при незмінній деформації. Це явище є універсальним і притаманно різним типам матеріалів, в тому числі кістковій тканині. Суть стресової релаксації полягає в тому, що за наявності будь-якої деформації, яка є сталою протягом певного проміжку часу, напруження в кістці будуть зменшуватися, прагнучи до певного граничного значення.

Впровадження сучасних методів лікування нерідко пов'язано з більш тривалою дією зовнішніх сил. При застосуванні компресійних і дистракційних методів лікування переломів та інших дефектів з використанням різноманітних ортопедичних пристроїв кісткова тканина (КТ) перебуває в напружено-деформованому стані протягом годин, днів або місяців. При тривалій дії навантажень механічна поведінка кістки значною мірою визначається саме її в'язко-пружними властивостями, які обумовлюють повзучість і релаксацію напружень.

На сьогоднішній день процеси біологічної перебудови кістки при дії навантажень, в тому числі при введенні в неї штучних конструкцій, вивчено в численних клінічних і експериментальних дослідженнях. Натомість, існують лише поодинокі роботи, присвячені в'язко-пружним властивостям КТ, що базуються на аналізі тваринного або трупного матеріалу. Проблема точного описання релаксаційних характеристик в залежності від типу і структурно-функціонального стану КТ залишається невирішеною.

**Матеріали і методи.** Матеріалом дослідження було 30 зразків КТ, отриманих при проведенні оперативних втручань на нижній щелепі. Перед проведенням дослідження фрагменти піддавали механічній обробці, надаючи їм правильної геометричної форми у вигляді прямокутного паралелепіпеда або циліндра. Кожен виготовлений зразок фотографували, зважували на аналітичних вагах, вимірювали його лінійні розміри штангенциркулем з цифровою індикацією та розраховували густину КТ. Після цього проводили компресійне навантаження зразків в універсальній випробувальній машині TIRAtest із зусиллям, що не виходило за межі пружного (лінійного) діапазону (відносна деформація до 1%). Релаксацію напружень вивчали при сталій величині відносної деформації за зміною зусиль, що вимірювалися динамометром випробувальної машини. Показники приладу фіксували в режимі реального часу шляхом відеозйомки цифровою фотокамерою CANON DIGITAL IXUS 970 IS в режимі "відео" з частотою 30 кадрів/с протягом 7,5 хв. Обробку отриманих даних проводили на персональному комп'ютері Toshiba Satellite X 200.

**Результати досліджень.** Отримані дані свідчать, що релаксація напружень в зразках з різних типів кісткової тканини відбувалася з різною швидкістю. В зразках кортикальної кісткової тканини (ККТ) за період спостереження (7,5 хв) напруження зменшувалися на 4...14% від вихідної величини. Вірогідних розбіжностей цього показника для зразків з інтактного кортикального шару і зразків з уламків нижньої щелепи при її переломі відзначено не було.

Найбільш інтенсивно напруження в зразку зменшувалися протягом перших секунд, а надалі цей процес суттєво уповільнювався по мірі наближення до певного граничного значення  $P_{гр}$ . Для всіх зразків процес релаксації з достатньою точністю описувався рівнянням експоненційного зменшення (сума двох експонент, одна з яких характеризувала швидку фазу процесу релаксації а друга - повільну).

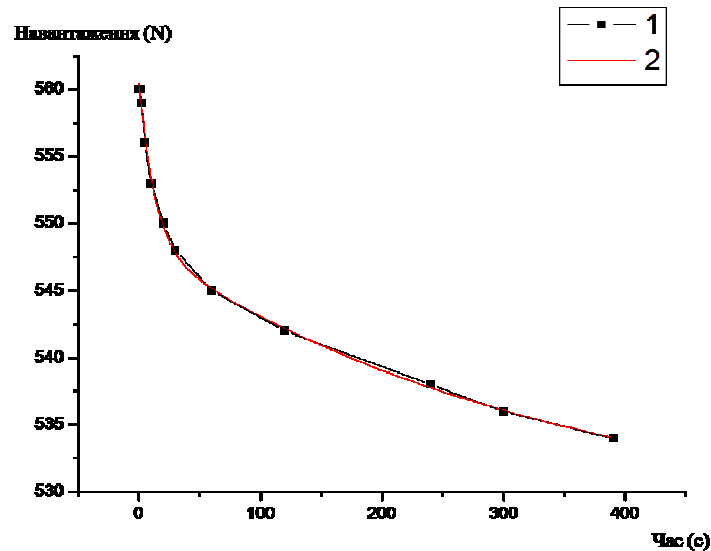


Рис. 1. Релаксація напружень в кортикальній кістковій тканині: 1 – крива релаксації, побудована за експериментальними даними; 2 – графік регресійної функції.

Отримані дані дозволяють поглибити уявлення про особливості процесу релаксації напружень в КТ нижньої щелепи. Встановлено, що його закономірності є універсальними для всіх видів КТ і описуються рівняннями одного типу. Втім, існують суттєві розбіжності щодо швидкості і величини релаксації напружень. Так, в неушкодженій КТ величина релаксації, як правило, не перевищує 15%, а в губчастому шарі кістки сягає 20-40%. Кореляційний аналіз свідчить, що на в'язко-пружні властивості КТ суттєво впливають її густина і мінеральна насиченість, іншим вагомим чинником імовірно є мікроархітектоніка кістки.

Механізм релаксації напружень в КТ є майже невивченим. Існуючі гіпотези пов'язують процеси релаксації з перебудовою просторової конфігурації макромолекул і надмолекулярних структур під дією зовнішньої сили, зміною іонних зв'язків між кристалами гідроксилапатиту, деформуванням і взаємним переміщенням кісткових ламел, переміщенням остеонів в більш в'язкій і аморфній міжостеонній речовині тощо. Цей процес, на відміну від пластичних деформацій, як правило, є зворотнім.

Хоча жоден із зазначених механізмів не є повністю доведеним, автори погоджуються, що процес релаксації напружень зумовлений змінами, які відбуваються на різних рівнях структурної організації кістки. Саме це може пояснити наявність швидкої і повільної фаз релаксації, відзначених в даному дослідженні.

Відомо, що зміна структури кісткової тканини під дією зовнішніх сил, на відміну від інших типів матеріалів, зумовлена не лише фізичними але й біологічними процесами, зокрема, резорбцією і новоутворенням кісткової тканини. При цьому біологічним процесам належить провідна роль, однак між процесом релаксації напружень і перебудовою кісткової тканини існує тісний взаємозв'язок.

Таким чином, процес релаксації напружень є важливою ланкою в складному механізмі адаптації КТ до дії зовнішніх навантажень. Отримані в ході дослідження рівняння дозволяють з достатньою достовірністю прогнозувати величину релаксації напружень в КТ в залежності від її виду і структурно-функціонального стану. Їх можна використовувати при створенні більш досконалих скінченно-елементних моделей кісток людини та при плануванні різноманітних хірургічних втручань на нижній щелепі.