

МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕПИ ЛЮДИНИ

Копчак А.В., Білецький Є.С., Шидловський М.С..

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», ММІ,
кафедра ДММ та ОМ*

E-mail: beletskiyegor@gmail.com

Анотація. В рамках проведеної роботи було зроблено огляд робіт по визначенню механічних характеристик кісткової тканини нижньої щелепи людини. У представленій доповіді систематизовані дані експериментальних досліджень, що були проведені в лабораторії біомеханіки кафедри ДММ та ОМ НТУУ «КПІ».

Вступ

Вдосконалення хірургічних методів лікування кісткових травм та, зокрема, оптимізація існуючих та розробка нових систем фіксації переломів неможливі без всебічного вивчення фізико-механічних властивостей кісткової тканини (КТ) людини.

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. Розглядаючи приведені в літературі данні, можна відмітити значні розбіжності в абсолютних значеннях основних характеристик пружності матеріалу.

В даній роботі зроблено огляд методик вимірювання механічних характеристик КТ нижньої щелепи як одного із найбільш функціонально важливих елементів кісткової системи людини.

Основна частина

Матеріалом дослідження було 50 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.

Для визначення механічних властивостей КТ проводили компресійне навантаження зразків з використанням універсальної випробувальної машини TIRA-test 2151.

Навантаження прикладали через круглий диск, шляхом вертикального переміщення рухомого стола випробувальної машини. Зусилля стискання вимірювали динамометром, сигнал з якого надходив у мікропроцесор машини. По завершенні випробувань отримана інформація фіксувалась у вигляді діаграми деформування в координатах зусилля - деформація.

Для вивчення степені анізотропії КТ зразки прямокутної форми деформували в 3-х взаємно перпендикулярних напрямках так, щоб навантаження не виходили за межі їх лінійного діапазону.

Модуль пружності розраховували як тангенс кута нахилу лінійного проміжку діаграми деформування, побудованої в координатах напруження – відносна деформація зразка КТ.

Релаксацію напружень вивчали при сталій величині відносної деформації за зміною зусиль, що вимірювалися динамометром випробувальної машини. Показники приладу фіксували в режимі реального часу шляхом відео зйомки цифровою фотокамерою.

Для вивчення граничних навантажень додатково, після проведення випробувань при відносно малих навантаженнях, проводили випробування з навантаженням зразків до їх повного руйнування.

Проведені випробування показали чітко виражену анізотропію механічних властивостей КТ і її значну неоднорідність. При цьому механічні властивості мають значні індивідуальні і топографічні відмінності та піддаються значному впливу біологічних факторів.

Модуль пружності для різних зразків кортикальної КТ знаходився в межах від 6500 до 15500 МПа. Співвідношення модулів $E_1 : E_2$ в середньому склало 1.62, а $E_2 : E_3$ - 1.23.

Однією з характеристик КТ, яку можна використовувати в якості гранично допустимого напруження при моделюванні НДС НЩ, являється, на наш погляд, границя лінійного проміжку діаграми деформування. Вказані напруження практично в усіх випробуваннях не перевищували 100 МПа.

На відміну від кортикального слою, губчата КТ характеризується більшою ступінню анізотропії модуля пружності і більшою просторовою неоднорідністю.

Значення модуля пружності губчастої КТ знаходилось в межах від 116 до 12909 МПа і в середньому склало 725 ± 143 МПа. Співвідношення $E_1 : E_2$ і $E_2 : E_3$ склали в середньому 1.73 і 1.97 відповідно.

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).

Висновки

Кісткова тканина нижньої щелепи характеризується вираженою анізотропією та неоднорідністю. При цьому механічні властивості мають значні індивідуальні і топографічні відмінності, більш виражені в губчастому шарі кістки.

Максимальну жорсткість кісткова тканина має в напрямку, що відповідає орієнтації більшості її структурних одиниць. Для кортикального шару середнє значення модуля пружності в цьому напрямку становить 10758 ± 966 МПа, для губчастого 725 ± 143 МПа.

Необхідною передумовою для точного визначення механічних властивостей кісткової тканини є стандартизація методики виготовлення зразків і умов навантаження з урахуванням орієнтації ліній максимальної жорсткості, притаманних нижній щелепі.