

ביומכניקה של עצמות ועורקים 6445-0540

פרופ' זהר יוסיבאש
סמסטר ב' תשפ"ב

מטרות הקורס:

1. הקניית היסודות מתורת האלסטיות הליניארית לניתוח תגובת עצמות תחת עומסים, ויסודות מכניקת רצף לניתוח ההתנהגות המכאנית של עורקים.
2. הבנת המבנה של עצמות ועורקים מבחינה מכאנית, והכרת חוקים קונסטיטויטיביים המשמשים למבנים ביומכניים אלו.
3. הכרת העומסים הפיסיולוגיים המופעלים על עצמות ועורקים.
4. הכרת מצבים פתולוגיים מתחום החוזק המשויכים לעצמות ועורקים – כגון שברים ואוסטאופורוזיס בעצמות, מפרצת והסתיידות עורקים, ואפשרויות טיפול מכאניות.

דרישות הקורס:

1. **תרגילי בית:** במהלך הקורס ינתנו כ-5 תרגילי בית המהווים 5% מהציון הכולל (מגן – במידה וישפרו את הציון הכולל). את הפתרונות יש להגיש **עד** המועד שנקבע ביום מסירת התרגיל. פתרונות לאחר תאריך היעד לא יתקבלו. מדגם מהפתרונות ייבדק וינתן להם ציון. פתרונות אשר לא ייבדקו יירשמו כמוגשים. סטודנט המחסיר יותר מעבודת בית אחת לא יקבל ציון עבור תרגילי הבית. רשימת תרגילי הבית שיש לפתור מתוך ספר הלימוד יופיעו ב-moodle.
2. **מבחן:** מבחן המהווה 95% (100% אם ציון שיעורי הבית נמוך מציון המבחן) מהציון הסופי יינתן בסוף הסמסטר. משך המבחן כ-180 דקות, והוא עם חומר סגור מלבד חוברת קורס של המרצה.

1. מבוא לקורס. מבוא לתורת האלסטיות עם פוקוס על רלונטיות לעצמות

1. The syllabus, grade structure and global aims and scopes of the course.
2. Introduction and example of bone and artery mechanical response.
3. Displacements, strains and stresses.
4. Kinematic relations and the Hooke's law for an isotropic material, equilibrium equations.

2. המשך מבוא לתורת האלסטיות עם פוקוס על רלונטיות לעצמות

1. Hooke's law for a transversely isotropic and orthotropic material.

2. Trajectories in a transversely isotropic material and transformation of stress and strain tensors due to transformation of coordinate system.
 3. Principal strains and stresses.
 4. The components of bone – from nano to macro scales (pptx presentation).
 5. Classification of bone into cortical and trabecular bone at the macro scale (pptx presentation).
-

.3 דוגמאות למקרים קליניים לבעיות בעצמות (הרצאת פרופ' לאורטופדיה)

1. Bone pathologies (osteoporosis, fracture, stress fracture), (pptx presentation).
 2. General data on bones in human body, role and types.
 3. The different density measures – wet density, dry density, ash density, EQM density, BV/TV, BMD.
 4. Homogenized material properties and their relation to density measures.
-

.4 קשרים בין נתוני סיטי ותכונות חומר בעצם

1. Various relations between Young moduli and densities.
 2. Clinical CTs – CT#, HU, QCT and what data does CT provide on bone densities.
 3. 1-D yield and ultimate strains and stresses.
 4. Transversely isotropic material properties – Wirtz and Rho relations between trans.isot. material properties and densities.
-

.5 The Fabric Tensor and anisotropic material properties

1. The fabric tensor and different methods for its determination from micro-CT scans.
 2. The stiffness tensor computed by the fabric tensor.
-

.6 עומסים על עצם הירך והחוליות

1. Physiological load boundary conditions on femurs and vertebrae.

2. The telemetric implanted femurs and vertebrae and the measured loads – videos of OrthoLoad and Hip98.
3. Load histories and patient variations.

7. דוגמאות של אנליזות אלמנט סופי לעצמות עם פתולוגיות שונות

1. CT-based finite element methods for the analysis of bones.
2. Pathological cases examined by the FE method: Total hip arthroplasty, risk of fracture in osteoporotic bones and femurs with metastatic tumors, analysis of compacted fractures in the humeri, fixation of Hallux Valgus in the second metatarsals. Fixation of GCT by plates.

8. מבוא לביומכאניקה של עורקים - ראה פרק 7-8 בספר של Jay Humphrey

1. The blood vessel tree, types of arteries and classification into veins and artery. Classification of arteries.
2. Structure of an artery and mechanical response. Collagen fibers distribution and their direction distribution. The elastin matrix.
3. Pathologies of arteries – atherosclerosis and aneurysm.
4. Characteristics of an elastic artery – multi-structured, composite, soft tissue, anisotropic, large deformations, residual strains.
5. Kinematic relations for large deformations, the deformation gradient, notions of strains.

9. מבוא ל מכניקת הרצף

1. Kinematic relations for large deformations, the deformation gradient, notions of strains, invariants of the Cauchy-Green tensors, notion of stresses.
2. Definition of a strain energy density function and constitutive laws for hyperelastic material.

10. מודלים קונסטיטויביים של עורקים

1. Special constitutive laws for hyperelastic materials (Neo-Hookean, Mooney-Rivlin, etc).

2. A hyperelastic material with two families of enforcing fibers (Holzapfel's model) – the SEDF.
3. [JH] chapters 3,4, [GH] chapter 2

.11 מודלים קונסטיטויטיביים אקטיביים של עורקים

1. The smooth muscle cells, and their contribution.
2. The SEDF for the active response part.
3. Aneurysm of the proximal aorta and the abdominal aorta.
4. Atherosclerosis of the carotid and coronary arteries

ביבליוגרפיה:

- [SC] Stephen C. Cowin, *Bone mechanics handbook*, Informa Healthcare, 2009
- [JH] Jay D. Humphrey, *Cardiovascular solid mechanics, Cells, Tissues, Organs*, Springer 2002
- [GH] Gerhard A. Holzapfel, *Nonlinear solid mechanics, A continuum approach for engineering*, Wiley, 2001
- [IS] I.S. Sokolnikoff, *Mathematical Theory of Elasticity*, McGraw-Hill, 1956
- [DB] Donald L. Bartel, Dwight T. Davy and Tony M. Keaveny, *Orthopaedic biomechanics, Mechanics and design in musculoskeletal systems*, Pearson Prentice Hall, 2006
- [AR] A. Reisinger, D. Pahr, P. Zysset, "Principal stiffness orientation and degree of anisotropy of human osteons based on nanoindentation in three distinct planes", *J Mech Behav Biomed Mat*, **24**, 2113-2127, (2011).
- [ZY] Yosibash Z, Trabelsi N. and Milgrom, C., "Reliable simulations of the human proximal femur by high-order finite element analysis validated by experimental observations", *J Biomech*, **40**, 3688-3699, (2007).
- [NT] Trabelsi N. and Yosibash Z., "Patient-specific FE analyses of the proximal femur with orthotropic material properties validated by experiments", *ASME J Biomech Engrg*, **133** (6), pp. 061101-1-11, (2011).