



Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera

Nuno Eduardo Dias Gueiral

Carlos David González Gómez

30 de Julio de 2020



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es

Máster Propio Universitario en Simulación Numérica en Ciencia e Ingeniería con COMSOL Multiphysics

1



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es



Conteúdo

- Objetivos e descrição geral
- Fundamentos teóricos
- Geometria e Materiais
- Equações e Interfaces Físicas
- Condições de contorno e malha de computação
- Estudos
- Resultados
- Conclusões

Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera

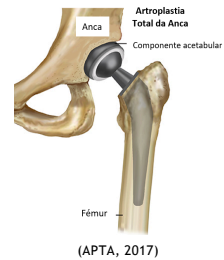
2

2



Objetivos e descrição geral

- Pretende-se obter um modelo para determinar as tensões e deformações do implante da ATA em carga
- ISO7206
- Fémur e componente femoral importados .STL
- Estudos temporais e estacionários com carga referente a caminhar segundo base HIP98* para próteses cimentadas ou não cimentadas
- Construção de modelo funcional



* <https://orthoload.com/test-loads/data-collection-hip98/>
Bergmann et al..2001; doi:10.1016/S0021-9290(01)00040-9

Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera



Fundamentos teóricos

$$\sum M_O = 0: \quad a_x F_{My} - a_y F_{Mx} - (c_x - a_x)W + (b_x - a_x)W_1 = 0$$

$$F_M = \frac{(c W - b W_1) \cos \beta - a(W - W_1) \cos \alpha}{a(\cos \alpha \sin \theta - \sin \alpha \cos \theta)}$$

$$\sum F_x = 0: \quad F_{Jx} = F_{Mx} = F_M \cdot \cos \theta$$

$$\sum F_y = 0: \quad F_{Jy} = F_{My} + W - W_1 \quad F_{Jy} = F_M \cdot \sin \theta + W - W_1$$

$$F_J = \sqrt{(F_{Jx})^2 + (F_{Jy})^2}$$

Exemplo: Assumindo que os parâmetros geométricos do problema e o peso da perna são medidos em função da altura da pessoa h e do peso total W da seguinte forma: $\alpha = 0.05h$, $b = 0.20h$, $c = 0.052h$, $\alpha = 45^\circ$, $\beta = 80^\circ$, $\theta = 70^\circ$ e $W_1 = 0.17W$. A solução deste problema para as forças muscular e de reação na junção é $F_M = 2.6W$ e $F_J = 3.4W$, a força de reação na junção faz um ângulo $\varphi = \tan^{-1}(F_{Jy}/F_{Jx}) = 74,8^\circ$ com a horizontal.

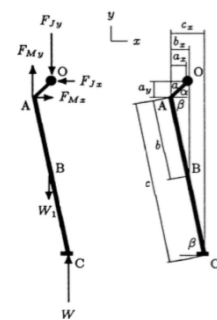


Diagrama de corpo livre da perna e parâmetros geométricos **



Forças que atuam na perna quando esta carrega o peso total do corpo **

**Fundamentals of Biomechanics, [https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(05\)61176-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(05)61176-5)

Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

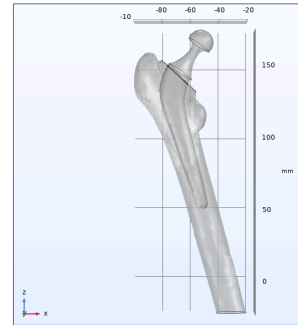
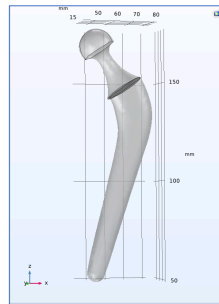
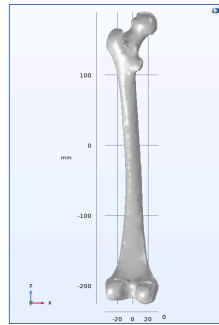
uma.es



Geometria

- Femur direito

- Componente femoral (implante)
 - Lubinus SPII



Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera

5

5



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

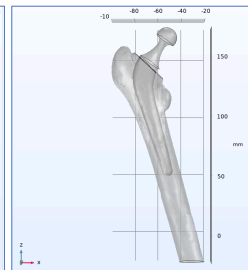
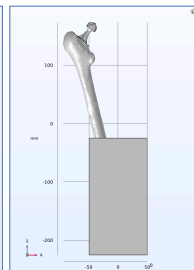
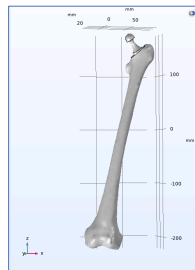
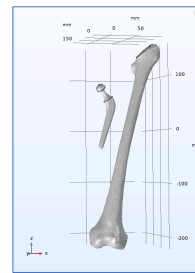
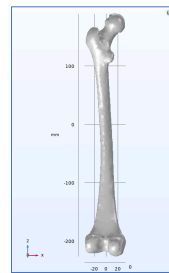
uma.es



Geometria

- 4 Geometry 1
 - Import 1 (*imp1*)
 - Rotate 1 (*rot1*)
 - Rotate 2 (*rot2*)
 - Block 1 (*blk1*)
 - Difference 1 (*dif1*)
 - Import 2 (*imp2*)
 - Scale 1 (*sca1*)
 - Rotate 3 (*rot3*)
 - Move 1 (*mov1*)
 - Copy 1 (*copy1*)
 - Difference 4 (*dif4*)
 - Block 2 (*blk2*)
 - Difference 2 (*dif2*)
 - Rotate 4 (*rot4*)
 - Form Assembly (*fin*)
 - Form Composite Domains 1 (*cmd1*)
 - Ignore Edges 1 (*ige1*)

- ISO7206
 - Plano frontal 9°
 - Plano Sagital 11°



Simulación de un Ciclo de Fatiga para la Artroplastia Total de Cadera

6

6



Materials

- Titanio – componente femoral

Property	Variable	Value	Unit
<input checked="" type="checkbox"/> Density	rho	4506[kg/...	kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> Young's modulus	E	115.7e9[...	Pa
<input checked="" type="checkbox"/> Poisson's ratio	nu	0.321	1
Electrical conductivity	sigma_...	2.6e6[S/m]	S/m
Coefficient of thermal expansion	alpha_i...	8.60e-6[1...	1/K
Heat capacity at constant pressure	Cp	522[J/(kg...	J/(kg·K)
Thermal conductivity	k_iso ;...	21.9[W/(...	W/(m·K)

- Osso – femur

Property	Variable	Value	Unit
<input checked="" type="checkbox"/> Density	rho	1908[kg/...	kg/m ³
<input checked="" type="checkbox"/> Young's modulus	E	19[GPa]	Pa
<input checked="" type="checkbox"/> Poisson's ratio	nu	0.28	1
Heat capacity at constant pressure	Cp	1313[J/(k...	J/(kg·K)
Thermal conductivity	k_iso ;...	0.32[W/(...	W/(m·K)

- Materials
 - Ti - Titanium (mat2)
 - Basic (def)
 - Young's modulus and Poisson's ratio (Enu)
 - Bone 1 (mat3)
 - Basic (def)

- Hidroxiapatita – revestimento/cimento

Property	Variable	Value	Unit
Young's modulus	E	103.5[GPa]	Pa
Poisson's ratio	nu	0.268	1



Equações e interfaces físicas

- Structural Mechanics Modeling

- Solid Mechanics Interface
 - Tensão (Stress)
 - Solid Mechanics Interface

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\nabla_x \sigma + F_V \quad -\nabla_x \sigma = F_V$$

$$\sigma = F/A \quad \epsilon = \Delta L/L$$

- Modulo de elasticidade

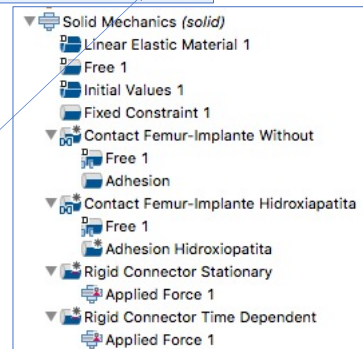
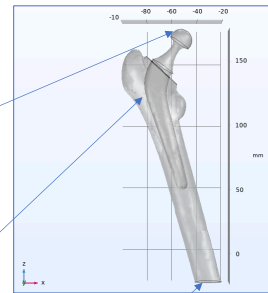
$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

- Solid Mechanics (solid)
 - Linear Elastic Material 1
 - Free 1
 - Initial Values 1
 - Fixed Constraint 1
 - Contact Femur-Implante Without
 - Free 1
 - Adhesion
 - Contact Femur-Implante Hidroxiapatita
 - Free 1
 - Adhesion Hidroxiapatita
 - Rigid Connector Stationary
 - Applied Force 1
 - Rigid Connector Time Dependent
 - Applied Force 1



Condições de contorno e malha

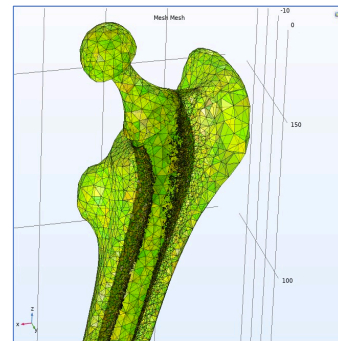
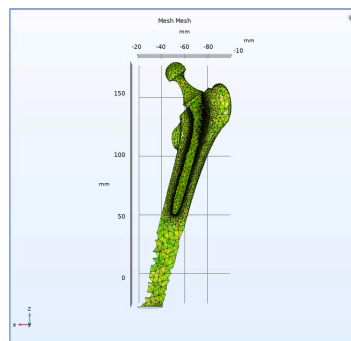
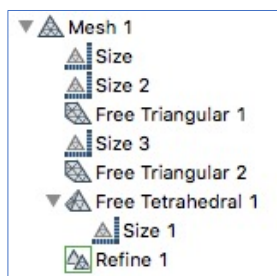
- **Rigid Connector e Applied Force** – superfície onde são aplicadas as forças de carga ao sistema
- **Contact** – transmissão de esforços entre geometrias diferentes. Utiliza o *contact pair*.
- **Fixed Constraint** – deslocamento 0 e invariante durante as cargas



Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera




Malha de Computação




Diferença de dimensões dos elementos de malha na interface entre a componente femoral (origem do esforço) e o fémur (destino do esforço). Este dimensionamento é fundamental para a condição de contorno "Contact" baseado no "Contact pair" criado para que os esforços sejam transmitidos corretamente entre os dois objetos.

Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA | **uma.es**



Estudios

Nome do estudo	Tipo de estudo
Estudo 1	Estacionário com prótese cimentada
Estudo 2	Estacionário sem prótese cimentada
Estudo 3	Dependente de tempo com prótese cimentada
Estudo 4	Dependente de tempo sem prótese cimentada

- ▼ Solid Mechanics (solid), Controls spatial frame
- Linear Elastic Material 1
- Free 1
- Initial Values 1
- Fixed Constraint 1
- ▼ Contact Femur-Implante Without
- Free 1
- Adhesion
- ▼ Contact Femur-Implante Hidroxiapatita
- Free 1
- Adhesion Hidroxiapatita
- ▼ Rigid Connector Stationary
- Applied Force 1
- ▼ Rigid Connector Time Dependent
- Applied Force 1

- ▼ Solid Mechanics (solid), Controls spatial frame
- Linear Elastic Material 1
- Free 1
- Initial Values 1
- Fixed Constraint 1
- ▼ Contact Femur-Implante Without
- Free 1
- Adhesion
- ▼ Contact Femur-Implante Hidroxiapatita
- Free 1
- Adhesion Hidroxiapatita
- ▼ Rigid Connector Stationary
- Applied Force 1
- ▼ Rigid Connector Time Dependent
- Applied Force 1


- ▼ Solid Mechanics (solid), Controls spatial frame
- Linear Elastic Material 1
- Free 1
- Initial Values 1
- Fixed Constraint 1
- ▼ Contact Femur-implante Without
- Free 1
- Adhesion
- ▼ Contact Femur-Implante Hidroxiapatita
- Free 1
- Adhesion Hidroxiapatita
- ▼ Rigid Connector Stationary
- Applied Force 1
- ▼ Rigid Connector Time Dependent
- Applied Force 1

- ▼ Solid Mechanics (solid), Controls spatial frame
- Linear Elastic Material 1
- Free 1
- Initial Values 1
- Fixed Constraint 1
- ▼ Contact Femur-Implante Without
- Free 1
- Adhesion
- ▼ Contact Femur-Implante Hidroxiapatita
- Free 1
- Adhesion Hidroxiapatita
- ▼ Rigid Connector Stationary
- Applied Force 1
- ▼ Rigid Connector Time Dependent
- Applied Force 1


Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera

11

11

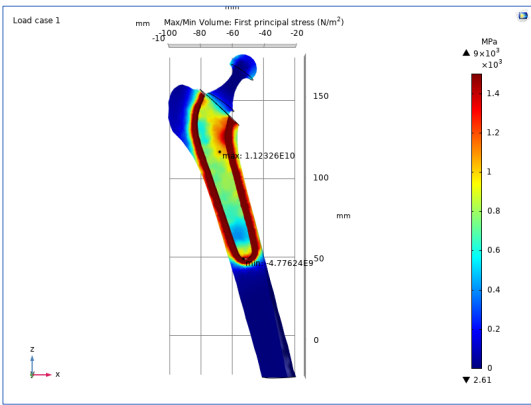


UNIVERSIDAD DE MÁLAGA | **uma.es**

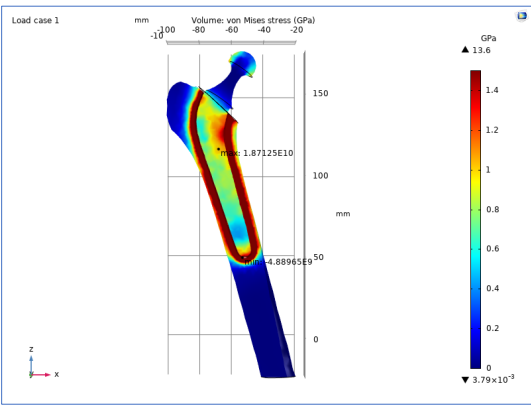


Resultados

Stress – estudio 1 cimentada



Stress – estudio 3 não cimentada



Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera

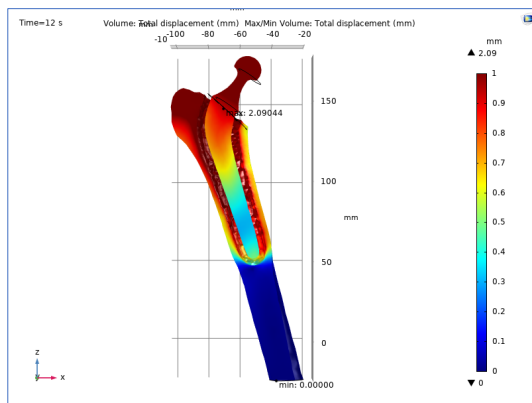
12

12

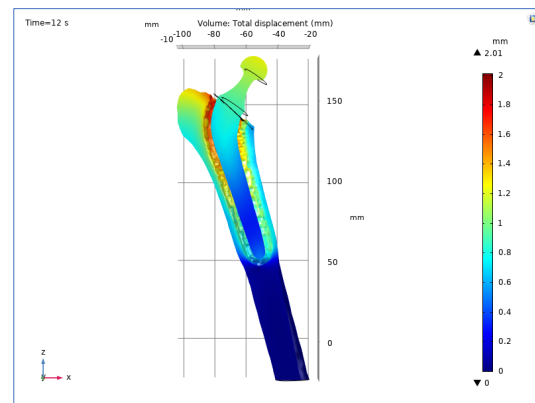


Resultados

Strain – estudo 3 cimentada



Strain – estudo 4 não cimentada



Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera

13

13



Resultados

- Valores de Stress nas próteses cimentadas são menores que nas próteses cimentadas.
- O uso de uma camada de cimento pode ajudar para baixar os esforços sobre as junções.
- As deformações (Strain) nos quatro estudos são da mesma ordem de valores.
- Numericamente, os valores obtidos para a tensão (stress) são muito grandes, não fazendo grande sentido para os valores de forças aplicadas e geometria utilizada.

Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera

14

14

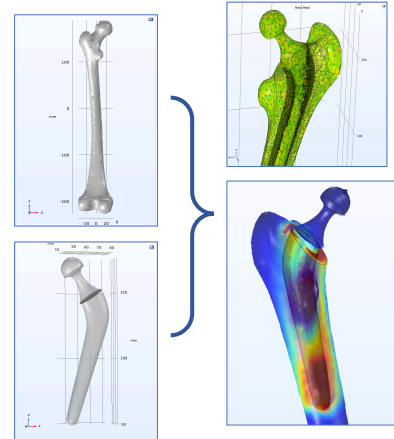
UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es



Conclusões

- O modelo está criado e funcional, pesa embora algumas falhas importantes nos resultados numéricos obtidos.
- Importar dois objetos (fémur e componente femoral) com geometria complexa e operar modificações.
- Resultados satisfatórios na malha computacional final com elementos bastante reduzidos para as zonas geométricas mais importantes (maior detalhe).
- Modelo em fase muito embrionária, poderá em trabalhos futuros, com modificações e com o módulo *Fatigue* do COMSOL, contribuir na tomada de decisão de quais as dimensões e materiais a utilizar em componentes femorais numa ATA.



Simulación de cargas aplicadas a la Artroplastia Total de Cadera

15

15

GRACIAS!!

UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es



COMSOL

Máster Propio Universitario en Simulación Numérica en Ciencia e Ingeniería con COMSOL Multiphysics

16

16