

MODELITZACIÓ DEL CONJUNT PÈLVIC ORIENTAT A L'ESTUDI DE LA FRACTURA I EL SEU TRACTAMENT

- RESUM -

L'experiència ens mostra que a vegades es produeixen accidents que involucren una alta transferència d'energia. Sovint, aquest tipus d'impactes produeixen fractures òssies.

Entre els diversos tipus de fractura que es poden produir, una de les més comunes és la fractura de la pelvis per la zona de l'articulació sacroilíaca. Aquesta fractura desestabilitza l'anell pèlvic, cosa que fa que sigui molt dolorosa, alhora que presenta un temps de recuperació elevat degut a la durada de l'osteosíntesis entre els ossos, que normalment s'aconsegueix mitjançant la fixació de les dues parts trencades amb cargols de titani.

A llarg del temps s'han anat millorant les tècniques de soldadura entre els ossos, però encara no s'han progressat prou per tal d'assolir una recuperació ràpida i eficient per tal de restablir els nivells de mobilitat anteriors a la fractura. No obstant, l'aparició de noves tècniques provinents del camp de l'enginyeria i la medicina han permès millorar-ne els resultats.

En aquest sentit, l'objectiu del treball consisteix en modelitzar el conjunt pèlvic orientant-ho a l'estudi de la fractura i el seu tractament. És a dir, es pretén aconseguir un model virtual que simuli el comportament real de l'estructura pelviana per tal d'eventualment, modelitzar-ne la fractura i el seu possible tractament.

Essent conscients que aquest projecte és molt ambiciós, es decideix acotar el treball i incloure dins de l'abast del projecte la modelització de la geometria -mitjançant programes de dibuix 3D- i l'execució de diverses simulacions per tal de veure el comportament del model -a través de programes d'elements finits-. Així doncs, s'inclou dins de l'abast del projecte la modelització d'una primera versió del conjunt pèlvic completament soldat, que correspon al cas més senzill, i l'alliberació de les diferents articulacions a mesura que els resultats siguin consistents, tot passant a realitzar un model més complex. Aquest últim pas pot comprendre la modelització de diversos lligaments, els quals només es modelitzen els més rellevants. Si aquesta primera aproximació dona uns resultats coherents i la temporalització ho permet, es procedirà a modelitzar la fractura sacroilíaca i, eventualment, la seva fixació amb cargols, tot i que *a priori* no es contempla arribar fins aquest grau de detall.

Per tal de desenvolupar el treball es contacta amb dos cirurgians del Servei de Cirurgia Ortopèdica i Traumatologia de l'Hospital de Girona, Doctor Josep Trueta, amb el qual es manté una estreta col·laboració. La seva funció principal és aportar criteri mèdic, ajudant a discernir quins aspectes de la modelització són més rellevants i quins no ho són tant. Una vegada comprès el problema des del punt de vista mèdic, es plantegen diferents opcions per tal d'aconseguir el model virtual desitjat.

En primer lloc, s'explora la possibilitat d'obtenir un model virtual existent en biblioteques virtuals, però aquesta primera possibilitat s'acaba desestimant degut a l'import econòmic que requereixen els millors models o a la manca de robustesa i fiabilitat dels que no ho són tant. En segon lloc, es planteja obtenir un núvol de punts a través d'un palpador 3D d'un model físic de guix (cedit per l'Hospital Dr. Josep Trueta), però en consulta amb el grup de recerca GREP de la Universitat de Girona s'acaba refusant la idea. Aquesta es transforma i es presenta la possibilitat d'utilitzar un escàner òptic. Tot i que el procediment podria resultar adequat, també s'acaba desestimant degut a limitacions del model físic.

Davant d'aquests contratemps, s'exploren noves alternatives. En concret, es planteja al Servei de Cirurgia Ortopèdica i Traumatologia la possibilitat d'obtenir un model virtual des d'escaneigs de tomografies computeritzades. Com que aquestes estan en format DICOM (format mèdic d'imatges) es busca un programa capaç de passar aquest format d'imatge a un format STL (representació de superfícies), com ara el programa *3D Slicer*. Després d'un cert aprenentatge del programa s'obté la geometria en format de superfície dels 5 ossos principals que componen l'estructura pelviana: el fèmur dret, el fèmur esquerre, el coxal dret, el coxal esquerre i el sacre.

Donat que l'objectiu és tenir un model virtual sòlid, es necessita un altre programa per passar de superfícies a sòlids. Aquest procés s'acaba duent a terme a través d'*SpaceClaim*, ja que permet generar un mallat (*AutoSkin*) de forma semiautomàtica. Tot i això, aquest procediment no resulta immediat ja que s'han de reparar nombroses imperfeccions que apareixen quan es vol fer la transformació, especialment en els ossos de més complexitat, com ara el sacre. No obstant, s'acaben superant les dificultats sorgides, amb la qual cosa s'obté la geometria dels 5 ossos.

A continuació es defineix el material, que, degut a la complexitat de la matèria orgànica, es simplifica segons la bibliografia com a isotròpic, amb un mòdul elàstic de 15,7 GPa. També es defineixen les condicions de contorn més aptes per realitzar amb èxit la simulació. Es decideix encastar la base dels fèmurs restringint els 6 graus de llibertat, alhora que s'aplica una càrrega vertical i cap avall de 700 N a la part superior del sacre, que estaria en contacte amb la columna vertebral a través de la cinquena lumbar (L5). A

més, les unions internes inicialment es defineixen com unions soldades i posteriorment com a unions sense fricció (*frictionless*). Segons quina articulació s'allibera, per connectar els dos ossos es modelitzen unes molles, la constant elàstica de les quals és un valor que a la bibliografia presenta una alta dispersió, per la qual cosa s'acaba adoptant un valor intermig de 1.000 N/mm.

Així doncs, després d'aquest procediment ja es té la suficient informació per realitzar la primera simulació. Aquesta -tal i com s'ha comentat- representa el cas més senzill amb totes les unions soldades entre sí. Els resultats obtinguts indiquen que les reaccions a les superfícies encastades dels fèmurs estan compensades i que sumen 700 N en la direcció z. És a dir, les forces es transmeten correctament des del punt d'aplicació de la càrrega (punt més alt del model) a la planta del fèmur (punt més baix). Com que els valors de la tensió principal màxima estan dins dels valors esperats segons la bibliografia, es decideix fer una nova versió, tot ampliant les zones definides com a contactes entre els ossos. El resultat d'aquesta nova versió és pràcticament idèntic a la primera, amb la qual cosa es dona per validat el primer model completament soldat i es procedeix a alliberar la sínfisi púbica, realitzant un segon model.

De fet, la zona de la sínfisi púbica no és estrictament un contacte, ja que la part dreta i esquerra del coxal no es toquen, però sí que s'hi posa una molla que simula la presència de lligaments. Els resultats no ofereixen canvis significatius respecte el model anterior, amb la qual cosa es decideix disminuir la constant elàstica de la molla un ordre de magnitud. Aquesta segona versió del segon model tampoc presenta canvis substancials; les reaccions als fèmurs estan compensades i equilibrades i la tensió principal màxima segueix dins dels valors esperats, tot i que més baix.

S'elabora un tercer model alliberant els fèmurs dels coxals. Inicialment es comença alliberant només el fèmur de la banda dreta. S'hi modelitza un contacte sense fricció alhora que s'insereixen 6 molles que fan la funció dels lligaments. El resultat que s'obté no és coherent amb les hipòtesis, ja que la unió entre el fèmur i el coxal es separa massa, pujant aquest últim respecte el primer una distància molt superior a l'esperada. Després de diverses versions que serveixen per comprendre amb més profunditat el model, s'acaba descobrint la font d'error; la definició dels contactes, que ha de ser amb el mínim nombre d'elements. Amb aquesta nova informació, els resultats milloren considerablement: les reaccions estan equilibrades i la tensió principal màxima (15,8 MPa) i la deformació (1,9 mm) estan dins el rang de valors esperat. Tot i això, es detecta que els resultats obtinguts són massa sensibles la definició de les zones de contacte. El següent pas seria alliberar la junta sacroilíaca, el qual no s'ha completat per falta de temps.

No obstant, el conjunt del treball satisfà els objectius que s'havia proposat inicialment: modelitzar virtualment el conjunt pèlvic orientant-lo a l'estudi de la fractura de l'articulació sacroilíaca i el seu tractament. En conclusió, es pot afirmar que s'ha identificat la metodologia més adequada entre diferents vies d'obtenció de la geometria. S'han validat els programes *3D Slicer* i *SpaceClaim* com a programes útils per tal d'obtenir els ossos en format sòlid -a pesar, és cert, del treball requerit en la depuració del model-. I finalment, s'ha obtingut un model vàlid en l'estat completament soldat i un model amb diferents articulacions alliberades que, tot i presentar una robustesa no del tot satisfactòria, és capaç de transmetre les forces i assolir una tensió i uns desplaçaments dins de l'ordre de magnitud correcte.

Tot i ser conscients de les limitacions trobades, es considera que el grau d'assoliment dels objectius ha estat elevat, tenint en compte que es tractava d'una primera aproximació i que no hi havia cap treball previ a l'abast relatiu a aquesta temàtica. A més, es valora molt positivament el fet d'haver col·laborat amb el Servei de Cirurgia Ortopèdica i Traumatologia de l'Hospital Universitari de Girona Doctor Josep Trueta -al qual estem molt agraïts- tot realitzant un treball multidisciplinari que pot tenir com a beneficis últims la reducció de les despeses en el tractament de la fractura sacroilíaca, la millora del benestar dels pacients i la minoració del temps de recuperació.

Per últim, es vol expressar la satisfacció personal d'haver realitzat aquest treball final de màster -que posa fi a tota l'etapa acadèmica- tot posant la ciència i la tecnologia al servei de les persones, millorant-ne la seva salut, benestar i felicitat.