



Biomaterials per a la substitució de teixits

- 20 de març a les 20 h
- Sala d'actes de La Llacuna Centre Cultural, Andorra la Vella



Francesc Xavier Gil i Mur

*Catedràtic, departament de Ciència dels materials i Enginyeria metal·lúrgica ETSEIB
i vicerector de Recerca de la UPC*

▲ Currículum

Catedràtic a la Universitat Politècnica de Catalunya. Autor de sis llibres i de més de 175 publicacions en revistes de reconegut prestigi internacional en el camp de la biomecànica i els biomaterials.

Editor en cap de la revista internacional *Journal of Applied Biomechanics and Biomaterials*.

És coinventor de cinc patents, president de la Sociedad Ibérica de Biomecànica y Biomateriales, acadèmic numerari d'Implantología y Periodoncia.

Ha estat guardonat amb el premi de la Real Sociedad Española de Química.

En l'actualitat és vicerector d'Investigació i Innovació a la Universitat Politècnica de Catalunya.

Substitució de teixits nous

L'èxit de la substitució de teixits nous és degut principalment al desenvolupament de polímers sintètics, tant per les seves propietats mecàniques que són més similars a les dels teixits que les dels metalls i les ceràmiques, com a la facilitat amb què es poden fabricar amb formes molt diferents, com poden ser fibres, espumes, barres i plaques. Amb altres paraules, es poden fer a mida. Cada aplicació exigeix propietats específiques del material en qüestió.

Els requeriments mínims per a la substitució d'un teixit tou podrien ser:

1. Els implants han de posseir propietats físiques tan similars al material substituït com sigui possible, especialment considerant-ne la flexibilitat i la textura.
2. Els implants no haurien de deteriorar-se.
3. Els implants no han de causar reaccions greus en el teixit circumdant.
4. Els implants no han de produir encapsulació i creixement de teixit fibrós.
5. Els implants no han de produir càncer, al·lèrgia o reaccions immunològiques.

Sutures, cintes quirúrgiques i adhesives

Els implants més comuns i uns dels que mouen un volum econòmic més gran són les sutures. En aquests últims anys s'hi han afegit les cintes o bandes quirúrgiques i els adhesius com a sistemes alternatius o complementaris.

Existeixen dos tipus de sutures d'acord amb la seva integritat física in vivo, les absorbibles i les no absorbibles. Poden distingir-se també en funció de la matèria primera: naturals (catgut, seda, cotó) i sintètiques (niló, polietilè, lipropilè, acer inoxidable, tantali). Poden classificar-se també per la seva forma física: monofilament i multifilament. Els nusos redueixen dràsticament la resistència mecànica de les sutures a causa de la concentració de tensions que representen. Les sutures reabsorbibles produeixen reaccions tissulars que disminueixen en ser absorbides. Per la seva part, les sutures naturals no absorbibles, com la seda o el cotó, produeixen més reaccions que les sutures sintètiques, com el polièster, el niló o el poliacrilonitril. La contaminació de la sutura fa augmentar en molts ordres de magnitud la possibilitat d'infecció. El factor més significatiu en la infecció és l'estructura química, mentre que la configuració geomètrica, per la seva banda, no sembla tan important. Així les sutures de polipropilè, niló i àcid poliglicòlic desenvolupen menys infeccions que les d'acer inoxidable, catgut natural o cròmic i polièster.

Les bandes quirúrgiques pretenen evitar problemes com la necrosi per pressió, formació de teixit de cicatrització, abscessos en punts de sutura o debilitament dels teixits. No obstant això, presenten problemes com ara una mala alineació dels costats de la ferida, una feble adhesió per la humitat o a la brutícia, i la sepa-

ració de les cintes per hematomes o drenatges. Tots aquests factors han fet que les cintes no hagin tingut l'èxit esperat.

Finalment, el desenvolupament d'adhesius tissulars també ha trobat greus problemes. De fet, un adhesiu tissular ideal hauria de ser capaç d'humitejar i d'enllaçar-se químicament al teixit, hauria de poder polimeritzar ràpidament sense produir una calor excessiva ni productes tòxics, i hauria de ser reabsorbible en curar-se la ferida sense interferir en el procés de cicatrització. No obstant això, el medi ambient dels teixits vius i la seva capacitat regeneradora fan difícil el desenvolupament d'un adhesiu.

La resistència d'adhesió al teixit prové dels enllaços covalents formats per grups funcionals, com els grups amina, àcid carboxílic i grups hidroxil, entre d'altres. Entre els diferents adhesius existents, l'alquicianocrilat és el més conegut, i són les formes metil i etil- 2 cianocrilat les més prometedores.

Implants percutanis i pell

La necessitat d'implants percutanis s'ha accelerat amb l'aparició de ronyons i cors artificials i per la injecció perllongada de medicaments i nutrients. El problema d'obtenir una intercara viable i funcional entre el teixit (pell) i l'implant és degut a:

- 1) que la fixació inicial del teixit a l'implant no es manté en el temps, pel creixement de noves cèl·lules i perquè la interfície s'altera, en veure's l'implant aïllat pel creixement del teixit epitelial, i
- 2) que a través de les obertures poden penetrar bacteris que conduiran a una infecció.

En el desenvolupament d'un implant percutani intervenen múltiples variables: la funció de l'implant, que pot anar des de la transmissió d'energia (estimulació elèctrica) fins a la transmissió de matèria (cànules per a la sang); factors d'enginyeria (selecció del material), disseny geomètric, tensions a les quals es veurà sotmès l'implant; variables biològiques (implant en un animal o en un humà, o bé implant abdominal o dorsal); factors humans en referència a les cures postoperatòries, l'aspecte estètic o la mateixa tècnica d'implantació.

La pell artificial és ella mateixa de vital importància per als grans cremats a fi de mantenir la seva temperatura corporal i evitar la pèrdua de fluids i electròlits fins que cicatritzi la ferida. En l'actualitat s'utilitzen auto i homoiingerts com a solució permanent. Sense massa èxit s'han utilitzat membranes compostes reticulades de col·lagen mucopolisacàrid, col·lagen reconstituït i copolímers de clorur de vinil i acetat i metil-2- cianocrilat.

Cirurgia maxil·lofacial i augment d'altres teixits tous

Dins dels implants maxil·lofacials i de l'augment de teixits tous cal parlar dels implants cosmètics i de reconstrucció.

Els implants maxil·lofacials es divideixen en extraorals i intraorals. Per als primers es requereix que siguin de color i textura adequats al pacient, que siguin mecànicament i químicament estables i que puguin fabricar-se fàcilment. S'utilitzen copolímers de clorur de polivinil i acetat, PMMA, silicona i gomes de poliuretà. Les segones s'assemblen més a altres tipus d'implants i s'utilitzen per a correccions maxil·lars, mandibulars o d'ossos de la cara. S'utilitzen metalls com el tantali o aliatges de Co-Cr, silicona o PMMA. Dins d'aquest apartat poden considerar-se també els implants substitutius de la cadena òssia de l'oïda i les lents intraoculars. Per als primers s'utilitza PMMA, PTFE polietilè, silicona, acer inoxidable, tantali compost PTFE-carboni, polietilè porós, carboni pirolític i actualment hidroxiapatita, compost a base de polietilè-hidroxiapatita i vidres bioactius. Per a les segones, el material més emprat és el PMMA. Els implants per a la circulació de fluids en casos d'hydrocefàlia o incontinència urinària utilitzen materials com el vidre, la goma, la plata, el tantali, el Co-Cr, el polietilè, el PTFE, etc. En el segon cas no s'ha d'esperar un èxit a llarg termini perquè és difícil unir de manera estanca la pròtesi al teixit viu, els orificis acaben per col·lapsar-se pels dipòsits sòlids de l'orina i a més hi ha el perill constant de patir una infecció. Dins dels implants que han d'omplir un espai, potser les pròtesis de pit són les més conegudes. En general s'utilitza una bossa de silicona, plena amb silicona en gel, recoberta d'una malla de polièster que permet tant el creixement del teixit viu com la seva fixació. No obstant això, fracassos recents han fet dubtar de la validesa d'aquest tipus d'implants. En aquesta mateixa categoria es troben les pròtesis de penis, testicles i vagina.

Implants interfacialment en contacte amb la sang

Els implants en contacte amb la sang es poden dividir en dues grans categories: implants extracorporis d'ús a curt termini i implants per a ús in situ a llarg termini. Entre els primers hi ha les membranes per a òrgans artificials, com el ronyó o el pulmó artificial i els tubs i catèters per al transport de sang. Entre els segons cal considerar els implants vasculars i els òrgans artificials implantables. El requisit més important dels implants en contacte amb la sang és la seva compatibilitat, que ve donada per la seva capacitat per produir coàguls i el mal que pot produir a proteïnes, enzims i elements de la sang com ara les cèl·lules roges, les cèl·lules blanques i les plaquetes. El coàgul format a l'interior dels vasos s'anomena trombe o èmbol, segons si el coàgul està fix o flotant, respectivament.

Substitució de teixits durs

Pel que fa la substitució de teixits durs, s'ha de parlar d'implants per a ossos esquelètics i d'implants dentals. La varietat és enorme, ja que comprèn tant els implants utilitzats en traumatologia per a l'osteosíntesi, és a dir la consolidació de fractures, com els implants pròpiament ortopèdics. Un aspecte molt important que cal considerar és la capacitat de remodelació que posseeix l'os i que farà que creixi o sigui reabsorbit en funció de múltiples factors, entre els quals l'estat tensional de l'os és un dels més importants. També s'ha de considerar que els materials sintètics que s'implanten estaran sotmesos a la corrosió i a la fatiga, sense cap capacitat de remodelació.

Sistemes de fixació interna de fractures

Cargols i cables

Probablement la idea més important relativa a la consolidació de fractures òssies és que l'implant ha de proporcionar estabilitat a les superfícies de la fractura. És a dir, la ferida ha de romandre fixa rigidament perquè el procés de cicatrització no es vegi alterat per micro o macromoviments.

Els implants més senzills són els diversos fils metàl·lics, com ara les agulles de Kirschner si el diàmetre és inferior a 2,8 mm i els claus d'Steinman per a diàmetres superiors i que poden utilitzar-se per mantenir junts diferents fragments ossis. Un altre sistema senzill és el cargol, que es pot utilitzar sol o en combinació amb una placa de fractura. Hi ha cargols d'esponjosa i cargols de cortical, en funció si són autoaferrants o no, respectivament. En el cas de cargols que s'utilitzin amb plaques hi ha diferents aspectes que cal tenir en consideració:

- a) la facilitat d'inserció a través de la placa i de l'os,
- b) la resistència a la fatiga per suportar càrregues dinàmiques, i
- c) la forta presa, tot i que n'ha de permetre una fàcil extracció posterior.

En tots els casos en les unions metàl·liques hi ha concentracions de tensions que agreugen els problemes de corrosió sota tensions i en general de corrosió-fatiga. S'ha de destacar finalment que el tipus de cap del cargol no és un paràmetre crític, encara que sí que ho és que les ranures siguin profundes i ben mecanitzades per facilitar els processos de col·locació i d'extracció.

Plaques d'osteosíntesi

Hi ha moltes dimensions diferents de plaques de fractura. Considerant que les forces generades pels músculs són molt altes i les forces que estan aplicades a la placa poden arribar a valors molt elevats, es dona el cas que, sobretot en plaques femorals i tibials, la placa no pot resistir el moment aplicat durant les primeres eta-

pes de consolidació de la fractura. És per això que es recomana restringir els moviments durant aquestes primeres etapes. En el disseny de les plaques d'osteosíntesi es busca que la placa presenti una elevada resistència a la flexió així com a la torsió.

Un altre aspecte rellevant és el parell de forces i la col·locació dels cargols, atès que en tractar-se d'acer inoxidable austenític, tant els cargols com la placa es poden deformar. A més, un parell de collat excessiu pot provocar fenòmens de corrosió sota tensió, sempre perillosos per a la integritat del sistema.

Un sistema ben conegut és el de les plaques autocompresives, en les quals l'entrada dels cargols i el posterior assentament permeten comunicar una força compressiva a les superfícies de la fractura. En la fixació de l'os esponjós s'utilitza una combinació de possibilitats, com els cargols, els claus i claus-placa. Això és degut al fet que les propietats mecàniques de l'os esponjós són sensiblement inferiors a les de l'os cortical.

Altres sistemes de fixació

Un sistema per a la fixació de fractures en ossos llargs consisteix en la utilització de claus o sistemes intramedul·lars que ofereixen una elevada rigidesa a la flexió. Se'ls dona una geometria tal que exerceixi una força elàstica a la cavitat medul·lar de manera que s'evitin rotacions. Els sistemes de fixació externa permeten combinar rigidesa a la compressió, a la flexió i a la torsió. Existeixen sistemes monolaterals, bilaterals i circulars. Un dels aspectes que actualment està centrant l'atenció d'investigadors és la fixació de les agulles de dits sistemes de fixació externa a l'os. A més, la rigidesa del sistema serà de gran importància en el procés de consolidació.

Per a la fixació d'articulacions hi ha combinacions de claus-placa, cargols i grapes. La utilització de la combinació claus-placa de diferents característiques pot ser de gran interès en les fractures del coll del fèmur, sobretot quan les superfícies articulars estan en bon estat, i la utilització d'una pròtesi de maluc no ha d'estar necessàriament aconsellada. En aquests sistemes, el clau o el cargol estan sotmesos a fortes tensions flexores, i el primer cargol a fortes tensions d'arrancament, sobretot en les primeres etapes de consolidació. Tant és així que en dites etapes els moviments han de restringir-se fortament. De fet, quan el mòdul elàstic del call ossi és molt baix no hi ha cap clau-placa que per si sol pugui resistir les tensions existents en moviments normals.

Fora dels ossos llargs, cal destacar els sistemes de fixació espinals, que permeten tant corregir defectes per excessiva curvatura de la columna com donar rigidesa a un conjunt de segments vertebrals en una artrodesi. Dits sistemes combi-

nen claus, plaques i cargols. El material per excel·lència amb què es fabriquen tots aquests sistemes és l'acer inoxidable austenític 316L; això no significa que no s'hagi emprat en casos específics l'aliatge Co-Cr, un aliatge de Ti i fins i tot s'han assajat el PMMA i la resina epoxi, reforçades amb fibres de grafit.

Substitució d'articulacions i dents

Les substitucions articulars presenten nous problemes, ja que l'articulació artificial haurà de mantenir la cinemàtica de l'articulació sana, haurà d'intentar preservar la dinàmica de transferència de cargues a l'os de suport i estarà sotmesa a problemes de corrosió i desgast. No s'han d'oblidar, a més, els possibles problemes d'infecció. Finalment, s'ha de fer esment que si la substitució falla, es fa més complicat substituir la pròtesi a causa de la destrucció de teixit natural produït per la primera.

No es consideren aquí les amalgames per omplir les cavitats dentals. Tan sols es considera la substitució total de dents. La substitució de dents es veu constantment posada a prova per les severes condicions de l'ambient en la boca, on es troben sotmeses a canvis constants de composició química, pH i temperatura, entre d'altres. Les dents pateixen els majors esforços compressius del cos, que arriben a 850 N. Aquest fet dificulta tant la tècnica com la selecció de materials que permetin suportar la tensió compressiva, la torsió i el cisellament que es produeix en mastegar.

Estructura i funció de les articulacions

Són les articulacions del maluc i del genoll en les quals hi ha més experiència clínica. En l'actualitat es realitzen prop d'un milió d'operacions de substitució d'aquestes articulacions cada any al món. Les articulacions de maluc i d'espatlla consisteixen fonamentalment en una ròtula i un casquet, mentre que les altres, com les del genoll i el colze, són fonamentalment de tipus frontissa, encara que amb una cinemàtica complexa, ja que el seu centre instantani de rotació varia amb l'angle de flexió. A més, les articulacions naturals contenen cartílag i os subcondral de característiques viscoelàstiques a fi d'amortir els xocs i les càrregues puntuals. Així mateix, el cartílag permet tenir un baix coeficient de fricció i un baix desgast. En l'actualitat la majoria de pròtesis totals estan elaborades amb materials metàl·lics, fonamentalment aliatges Co-Cr i Ti-6Al-4V. En general, el cos metàl·lic es fixa a la cavitat medul·lar de l'os o bé mitjançant ciment ossi acrílic o bé mitjançant el mateix creixement ossi, que es dona amb el temps en la seva superfície porosa o recoberta d'hidroxiapatita. L'articulació en si pot ser metàl·lica sobre un plec de polietilè d'ultra i alta densitat, com ara al genoll, o bé ceràmic sobre cerà-

mic o ceràmic sobre polietilè d'ultra-alta densitat, o metàl·lica sobre polietilè d'ultra-alta densitat, com al maluc. En tots els casos el problema és la funcionalitat de la pròtesi a llarg termini, ja que està demostrat que de mitjana la vida útil no excedeix els deu anys.

El problema pendent de resoldre és el de la fixació. Finalment, s'ha d'assenyalar que les pròtesis de les altres articulacions representen un mercat molt menor i no es troben en un estat de desenvolupament tan avançat com les de maluc i les de genoll.

Implants dentals

La substitució d'una dent és un repte important, ja que representa un implant percutani en un ambient altament hostil en el qual canvien constantment la composició química, el pH i la temperatura. Com ja s'ha dit anteriorment, les dents estan sotmeses a elevades tensions de compressió combinades amb tensions de torsió i cisellament. Els requisits exigits per als implants dentals són:

- 1) un bon comportament biològic o biocompatibilitat,
- 2) resistència a la corrosió i al desgast,
- 3) alta resistència compressiva i tenacitat, i
- 4) una fixació viable i adequada entre l'os alveolar i el teixit mucós.

Els implants endoossis restauren la funció original de la dent i es basen a aconseguir la fixació a l'os a llarg termini en un cilindre metàl·lic. Dit cilindre serà posteriorment recobert per una corona adequada una vegada s'hagi aconseguit una bona fixació. Aquests cilindres són en general de Ti, encara que també se n'han emprat de Co-Cr o acer inoxidable. Els recobriments porosos i d'hidroxiapatita s'utilitzen per obtenir una bona fixació en poc temps.