

Polimetacrilatul

Polimetacrilatul a fost folosit pentru fixarea protezelor totale articulare de peste 30 de ani. De când a fost introdus de Charnley nu au fost schimbări substanțiale în formulare. În 1970 a fost o nemulțumire generală față de cimentul pentru fixare în implantele totale articulare. Aceasta era legată de rapoartele de rata crescută de eșecuri la radiografie și osteoliză. Deși eșecul radiografic nu era întodeauna corelat cu eșecul clinic, era clar că fixarea cu ciment nu dădea rezultate satisfăcătoare pe timp lung.

Aceasta a condus la trei mari direcții de dezvoltare în înlocuirea de șold, implantele de înlocuire superficiale, implantele fără ciment și îmbunătățirii în utilizarea cimentului osos chirurgical. În acest capitol proprietățile polimetacrilatului (PMMA), tehnicile contemporane de cimentare și efectul factorilor tehnici asupra comportării la oboseală a PMMA sunt revăzute. În plus reacția biologică la materialul masiv și sub formă de particule este prezentată.

PROPRIETĂȚILE CHIMICE ȘI FIZICE

Nu toate cimenturile osoase sunt la fel. Câteva formulări diferite ale PMMA sunt disponibile în comerț. Există variații în compoziția chimică și fizică a cimenturilor osoase care în schimb produc diferențe în vâscozitate, porozitate și rezistența la oboseală a cimenturilor. De exemplu cimentul obișnuit de vâscozitate joasă Zimmer (LVC) și CMW conțin PMMA sub formă de pudră. În contrast Palacos R. este un copolimer metilmetacrilat și Simplex P constă într-un amestec de PMMA și copolimeri metacrilati- stiren. Sulfatul de bariu este adăugat ca cimentul normal Zimmer, LVC, CMW și Simplex P și oxidul de zirconiu s-a adăugat la Palacos R pentru a le face radioopace. În plus clorofila s-a adăugat de asemenea la Palacos R dând cimentului o nuanță verde.

Vâscozitatea, o proprietate fizică importantă a cimentului osos chirurgical pare a fi cea mai afectată de mărimea granulelor pudrei. LVC are una dintre cele mai mici valori ale vâscozității dintre cimenturile osoase disponibile în comerț. CMW original și Palacos R au vâscozitățile dintre cele mai mari ale cimenturile comercializate. Ambele au acum formulări cu vâscozitate joase. Deși vâscozitatea joasă

a fost asociată cu o viață mai lungă aceste proprietăți nu sunt neapărat direct proporționale. De exemplu, deși LVC își menține o vâscozitate joasă pentru un timp mai mult decât alte cimenturi de fapt are o viață mai scurtă decât alte cimenturi deoarece se întărește imediat după ce devine pastă. Timpul de instalare (montare) este legat de mai mulți factori ce include seria și marca cimentului, temperatura ambiantă, temperatura monomerului și polimerului și raportul lichid/pudră.

În timpul polimerizării au loc schimburi exoterme și de volum. În timpul fazei inițiale a polimerizării, lanțurile de polimeri formate rezultând o contracție de până la 7%. În timpul fazei a doua a polimerizării temperatura crește și cimentul suferă o expansiune termică. În timpul fazei finale, cimentul se răcește rezultând o contracție termică și o micșorare de volum.

Polimetacrilatul este mai puțin rezistent la întindere decât la compresiune. Are o rezistență la compresiune de 100 Mpa (15000 psi) și o rezistență la întindere de 70 Mpa (10000 psi) modulul de elasticitate a PMMA este de aproximativ de 2,3 Gpa în comparație cu 16 Gpa pentru osul cortical.

La evaluarea efectelor tehnicilor de preparare asupra rezistenței PMMA este important de ținut cont că șoldul este solicitat de aproximativ 1 mil. de ori pe an în timpul mersului. Ca rezultat, studiile care au examinat cimentul osos utilizând încărcare statică sunt la o valoare limită. Rezistența la oboseală a PMMA este un factor critic întrucât cimentul este întâi supus încărcării ciclice in vivo și cedează ca rezultat a oboselii determinate de încărcare. Testarea la oboseală cu teste pregătite standard conform recomandărilor producătorilor au arătat diferențe marcante în rezistența la oboseală a diferitelor compoziții de PMMA. De exemplu într-un studiu cimentul obișnuit Zimmer s-a demonstrat a avea o rezistență la oboseală de doar 879 cicluri în timp ce Simplex P a avut o rezistență la oboseală de 15147 cicluri.

Tipurile de fractură ale PMMA la solicitări repetate peste limită și la oboseală au fost studiate. Testele PMMA la încărcare repetată au demonstrat un tip de clivaj în trepte. Această indică direcția propagării fisuri. James și ceilalți au demonstrat că în toate suprafețele de fractură la oboseală, fractura a pornit de la porii interiori. Modelul fracturii indică propagare acesteia de la porii interiori, către suprafața externă a mostrei. Suprafața fracturii la oboseală este netedă în jurul părului intern și devine aspră lângă perimetrul tipului de ciment, indicând că pe ultima porțiune fractura s-a produs dezasturos. Perii mai mari sunt mai susceptibili de a iniția fracturi decât cei mici.

Studii asupra eșecului cimentului osos făcute prin examinarea cimentului de la revizia chirurgicală și autopsie au dus la concluzia că cimentul ușor cedează în primul rând la oboseală. Topoleski și ceilalți au ajuns la concluzia că propagarea fracturii la oboseală este mecanismul cel mai probabil de ușurare în sine. Fracturile par a se propaga prin mărirea unor mici defecte existente pe traseul fracturii cimentului. Pe măsură ce energia se adaugă sistemului micile defecte se unesc și fractura se extinde. Porii mari de asemenea se presupune a contribui la eșecul cimentului.

Tehnica actuală de cimentare

Prepararea canalului

În mod curent cimentul este folosit de obicei pe partea femurală a protezei totale de șold. Din moment ce factorii tehnici au fost subliniați ca fiind importanți pentru succesul cimentării respinse cimentării femurale, discuția utilizării actuale a cimentului osos se va focaliza pe cimentarea componentelor femurale. Scopul în cimentarea femurală este optimizarea interfeței ciment – os, obținerea unui strat de ciment fără defecte cu o grosime minimă de 2 mm și inserarea componentei femurale astfel încât să fie centrată în stratul de ciment într-o aliniere neutră. Obturarea canalului femural permite o presiune mai mare de infuziune și o umplere mai bună. Obturarea canalului include ciment osos și plombe ușoare de plastic disponibile în comerț. Ideal obturarea ar trebui plasată aproximativ la 2 cm distal de vârful componentei femurale. Osul spongios înlăturat poate fi îndepărtat, în orice caz când se pregătește canalul pentru componenta cimentată, nu trebuie să se folosească instrumente de găurit. Găurirea produce o suprafață interioară netedă care scade adeziunea la interfața ciment-os.

Într-un studiu al lui Nervman și al celorlalți cel mai ridicat procent al eșecurilor în cazul folosirii instrumentelor de găurit a fost cu 22% mai mic decât în cazurile folosirii unei broșe. Un alt studiu a demonstrat că găurirea flexibilă reduce adeziunea la interfața ciment-os cu 49%, iar găurirea rigidă cu instrument ascuțit la vârf reduce adeziunea la suprafață cu 70%.

Înainte de inserarea cimentului, canalul trebuie să fie curățat folosind spălare cu presiune. Prin îndepărtarea măduvei, grăsimii și sângelui interfața dintre os și ciment este mai bună. Un studiu comparat adeziunea la interfață între ciment și os

trabecular nepreparat, os pregătit prin irigare și os pregătit prin spălare cu presiune. Spălarea cu presiune a dat un rezultat semnificativ mai bun la penetrarea cimentului și la adeziunea interfață în comparație cu osul nepregătit. De asemenea reduce riscul emboliei grăsoase sau emboliei medulare. Canalul poate fi uscat folosindu-se aspirația sau burete uscat sau îmbibat cu adrenalină. Anestezia spinală de asemenea poate fi benefică după cum a fost demonstrat prin scăderea hemoragiei din osul spongios a canalului femural. În studii experimentale peroxidul de hidrogen și sarea înghețată pot avea efecte similare.

Reducerea porozității

A existat o controversă privind efectul reducerii porozității asupra durabilității cimentului osos chirurgical. Reducerea porozității are numeroase efecte asupra PMMA, inclusiv o scădere a mărimii a porilor ca și a porozității totale a PMMA. Prin scăderea mărimii și numărului porilor crește suprafața secțiunii transversală a cimentului osos. Aceasta ar trebui să ducă la îmbunătățirea proprietăților statice și dinamice ale materialului. Sunt două metode uzuale în aplicațiile clinice pentru a reduce porozitatea cimentului osos chirurgical: centrifugarea și amestecul sub vid. Centrifugarea cu scopul reducerii porozității a fost descrisă pentru prima dată de Burke și ceilalți. În acest studiu centrifugarea a crescut rezistența la tracțiune la 54% și a crescut rezistența la oboseală la 136%. Cum s-a precizat mai sus proprietățile de oboseală a diferitelor cimenturi osoase variază marcat. Este clar că nu doar porozitatea este singurul determinant al rezistenței la oboseală. Într-un studiu a 5 tipuri de ciment osos comercializate LVC a avut cea mai mică porozitate, dar de asemenea a avut și o medie a rezistenței la oboseală mică. În contrast Simplex P a avut o porozitate intermediară și cea mai mare rezistență la oboseală de 15147 cicluri medii. Deși porozitatea singură nu explică variația rezistenței la oboseală a cimenturilor osoase testate, în fiecare caz în care porozitatea a fost redusă prin centrifugare, rezistența la oboseală a fost îmbunătățită semnificativ. Rădarea monomerului prelungeste timpul de activitate dar de asemenea reduce rezistența la oboseală. Această scădere a R la oboseală poate fi înlăturată prin creșterea duratei de centrifugare. Jasty și ceilalți au arătat că prin creșterea perioadei de centrifugare a Simplex P de la 30 s la 120 s reducerea porozității adecvate și rezistența la oboseală poate fi obținută chiar rădarea monomerului.

Îmbunătățiri similare în R PMMA au fost demonstrate prin amestecarea sub vacuum. Lidgren și ceilalți au descris la început amestecarea sub vacuum ca un mijloc de a reduce porozitatea. Winson și ceilalți au dezvoltat un sistem ce angajează un

vacuum parțial (500-550 mmHg). Aceasta a dus la o reducere a porozității sub 1% comparativ cu centrifugarea ce a dus la porozități de 3,4 – 4,8%. Amestecarea sub vacuum a dus la creștere de 7-10 ori a perioadei de timp până la eșec comparativ cu eșantioanele testate. Linden a testat Simplex P, Zimmer, LVC și CMW și a arătat că Simplex P amestecat sub vacuum a avut proprietăți mecanice cele mai bune când a fost testat la încărcare ciclică (aplecată, îndoită) în patru puncte.

Modelele in vitro au fost folosite pentru examinarea efectelor reducerii porozității față de imperfecțiunile superficiale (de suprafață). Rezultatele acestor studii nu au ajuns toate la un acord. În prezența unui șanț (unei tăieturi, unei caneluri) în eșantionul test Davies și ceilalți au raportat că cimentul osos Simplex P a avut o rezistență la oboseală semnificativ mai mare la toate e nivelele de solicitare comparativ cu eșalonul test necentrifugat. Îmbunătățiri similare ale comportării al oboseală a PMMA după centrifugare au fost utilizate etaloane compozite de cimente osos trabicular. Hamati și ceilalți au arătat că amestecarea sub vacuum de asemenea a îmbunătățit rezistența la oboseală a etaloanelor test cu imperfecțiuni superficiale. Utilizând un model de șold in vitro Chao și ceilalți au arătat că centrifugarea a dus la o creștere semnificativă a rezistenței statice și o tendință spre o creștere a rezistenței la oboseală a cimentului osos în contrast Rinnac și ceilalți nu au arăta un efect benefic în rata de propagare a fracturii când au evoluat cimentul centrifugat înainte de fisurare și cimentul necentrifugat în prezența unei creștături superficiale. Etaloanele utiolizate în acest studiu au fost de 26 mm / 90 mm. reacția exotermică în etalonul de această dimensiune era de așteptat să crească temperatura până la punctul de fierbere al momentului, ce poate introduce în schimb porozitate în etalon. Lautenschlager și ceilalți au folosit etaloane de 7 mm și au descoperit că amestecrea sub vacuum și centrifugarea au îmbunătățit R la fracturare.

Inserarea cimentului și presurizarea

Prin operație cimentul este inserat printr-o metodă clasică utilizând un pistol cu ciment. După umplerea canalului cimentul este presurizat. Adeziunea la interfața os-ciment este direct legată de adâncimea de penetrare a cimentului în os, care în continuare est elegată de presiunea de pătrundere. Tehnic est emai ușor de obținut o presiune de penetrare mai mare în diafiză și mai dificil de obținut o presiune similară în metafiză. O evaluare⁴ in vitro a 3 tipuri de sisteme de presurizare a cimentului comercializate și toate cele trei sisteme au avut un vârf al valorii ăpresiunii de presurizare la interfața ciment-os inclusiv zonele proximale ale femurului de pste 200

Kpa (30 psi). un sistem a evoluat și intraoperator. În primele 10 cazuri maximul presiuni de penetrare în femurul proximal a fost 220 ± 70 KPa ($32 \text{ psi} \pm 10$) în cazurile de revizie maximă presiuni de penetrare a fost maxima presiuni de penetrare a fost semnificativ mai mic 130 ± 60 KPa (19 psi)

Centrarea tijei și grosimea stratului de ciment

Multe tije cimentate moderne sunt proiectate pentru a fi folosite cu centralizator de tijă. Aceste dispozitive ajută la centralizarea tijei în interiorul canalului asigurând un strat de ciment mai uniform. Scopul este de a evita regiunile unde stratul devine subțire sau nu există. Studiile radiografice care au evaluat eficiența centralizatorilor tijei au arătat că tijele femurale cu un centralizator central au fost mai bine aliniată când au fost controlate și comparate.

Studiile de element fin și de măsurare a tensiunii au arătat că R un stress puternic și o concentrare de tensiuni în stratul distal de ciment din jurul vârfului tijei și scade în stratul proximal de ciment. Studiile pe elementele finite de asemenea au demonstrat că prin creșterea grosimii stratului de ciment peste 2,5 mm în jurul vârfului tijei se produce o reducere marcată a tensiunii în strat. Studiile în cadrul autopsiei examinând integritatea de ciment au observat că fracturile rareori se produc în straturile de ciment mai groase de 2 mm. studiile clinice au raportat asocierea straturilor subțiri de ciment și defectele din stratul de ciment cu eșecul mecanic. Pe baza informațiilor disponibile, pare rezonabilă încercarea de obținere a grosimii stratului de cel puțin 2 mm.

Aditivi

Antibioticele au fost adăugate de obicei la cimentul osos ca profilaxie pentru infectarea adânci. De când incidența infecțiilor în urma protezării totale a șoldului este mai mică decât incidența respingerii aseptice, este important de știut efectul antibioticilor asupra rezistenței la oboseală a PMMA. Schurman și ceilalți au realizat teste de întindere și teste de tensiune (compresiuni total reversibile pe Palacos R cu și fără gentamicină). Ei au raportat că până la 2 g de gentamicină adăugată la Palacos R nu a avut un efect semnificativ asupra R la întindere. În puls când toate etaloanele au fost incluse în analiză, fără să se țină cont de prezența golurilor, antibioticul nu a avut efect semnificativ asupra R la oboseală. Dacă s-au exclus etaloanele cu goluri mai mari de 1 mm, gentamicina a avut un efect advers asupra R la oboseală.

Davies și ceilalți au evaluat R la oboseală a cimenturilor Simplex P și Palacos R cu și fără antibiotice. S-a adăugat gentamicină la Palacos R și eritromicină și

colisitin la Simplex P. nici unul nu a avut efecte negative asupra rezistenței la oboseală. Amebele combinații au fost preparate comercial. Bargar și ceilalți au analizat efectul adăugării tobramicinei asupra flexibilității. Au raportat că tobramicina a slăbit semnificativ cimentul. Davies și Harris au evaluat efectul tobramicinei amestecată manual asupra R la oboseală a Simplex P. Testarea oboselii la tensiunii-compreiune total reversibile a fost realizată cu și fără tobramicină, ca și cu și fără centrifugare. Tombramicina nu a afectat R la oboseală a cimentului Simplex P necentrifugat. Centrifugarea a dus la o creștere a rezistenței a oboselei a Simplex P cu tobramicina a fost crescută de 8 ori prin centrifugare.

Biocompatibilitatea

Răspunsul biologic la materiale implantate a fost studiat întotdeauna utilizându-se materiale obținute la revizia chirurgicală. Numeroase rapoarte au descris histologia membranei care se formează la interfața ciment-os în asociere cu respingerea septică. Histologică această membrană este umplută cu granulom de corp străin. Guldring și ceilalți au descris pentru prima dată trăsăturile asemănătoare sinovialei, ale membranei la interfața ciment-os în respingerea protezelor totale de șold ei au demonstrat că acest țesut are capacitatea de a produce protaglandina E2 și colagenaze și au postulat că această reacție poate fi responsabilă pentru liza osoasă observată la unii pacienți cu implante de ciment respinse. Utilizând tehnici imunohistochimice, Jiranek și ceilalți au demonstrat că macrofagul este tipul de celulă predominant în membrana din jurul componentelor acetabulare cimentate respinse. Hibridizarea in situ a arătat că macrofagele produc citokine ca interleukina 1- α . Aceste citokine sunt implicate în stimularea resorbției osoase și probabil joacă un rol în respingere.

La examinarea materialului din cazurile de revizie este dificil de separat rolul relativ al resturilor de PMMA de alte materiale implantate cel mai probabil PE. Willer și ceilalți au examinat țesutul în leziunile osteolitice la revizia chirurgicală. În 4 cazuri s-a identificat histologic doar PMMA (nu și PE). Ei au tras concluzia că osteoliza focală poate rezulta doar de la particulele de ciment osos. Osteoliza de asemenea a fost observată în jurul implantelor lipsite de PE ca hemiarthroplastiiile cimentate cu MOORE și McKee-Farrar și a susținut în continuare concluzia că această reacție tisulară de respingere se poate produce independent de PE.

Materialul de la autopsie a oferit informații valoroase despre răspunsul tisular la buna funcționare și respingerea protezelor articulare totale. O analiză laborioasă a răspunsului biologic la PMMA din femur a fost efectuată de către Maloney

și ceilalți, Jasty și ceilalți, Malcolm și ceilalți. În componentele femurale care au funcționat bine clinic interfața ciment-os apare integrată în os. O membrană de țesut moale s-a observat rar și mai ales la 1-2 cm proximal ai femurului. Aceasta reprezintă o extensie a membranei induse de reziduuri (particule), formată la articulația șoldului observată de obicei la revizia chirurgicală. Elemente medulare, în mod normal foarte sensibile la substanțe toxice erau întâlnite în mod normal la interfața ciment-os. Celule anticorp gigant și macrofage nu au fost întâlnite (observate) în aceste reconstrucții stabile.

Controversa continuă asupra rolului relativ al factorilor biologici și mecanici în respingerea antiseptică a componentelor cimentate. Ambele sunt evident importante. Factorul ce declanșează respingerea femurală pare a fi mecanic. Desprinderea dintre metal și ciment este primul eveniment detectabil în eșecul acestor componente. Localizarea desprinderii timpurii a fost prevăzută (anticipată) de studiile de element finit proximal de-a lungul suprafeței antero-laterale a implantului și la vârful tijeii. Studiile la autopsie susțin aceste concluzii. Creșterea fricțiunii la interfața metal-ciment ca un rezultat al desprinderii poate fi o potențială sursă a reziduurilor de metal și ciment. Interfața desprinsă permite formarea unui țesut moale între metal și ciment, și poate determina accesul particulelor reziduale la interfața distală ciment-os. Mișcarea și particulele reziduale duc la formarea așa numitei “pseudomembrane” observată la respingerea aseptică.

Schmalzried și ceilalți au examinat interfața ciment-os și ciment implant a etaloanelor acetabulare recuperate la autopsie. În contrast cu descoperirile pe partea (fața) femurală o membrană de țesut moale era interpusă între ciment și os într-o măsură diferită în fiecare etalon acetabular. Macrofage încărcate cu particule de PE erau predominante din punct de vedere histologic. Pe cât era mai extinsă formațiunea membranoasă, cu atât era mai instabilă componenta acetabulară cimentată. Membrana interpusă între os și ciment părea direct responsabilă pentru respingerea implantului. Nu exista nici o dovadă a eșecului mecanic al cimentului acetabular. Spre deosebire de ce s-a raportat la femur radioluminescența între ciment și os în acetabulum era o reflecție a unei formațiuni membranare de țesut moale. Deci, pe fața acetabulară formațiunea membranoasă și resorbția osoasă indusă de particule pare să inițieze și să ducă la respingerea aseptică.

Studiile pe animale susțin conceptul că cimentul este bine tolerat biologic. Într-un studiu pe câini implante în diafiză recuperate la 1-42 săptămâni după operații au

arătat că nu există urme de moarte celulară în os sau inflamație produsă de PMMA. Dranert a demonstrat că noul os poate fi direct depozitat pe cimentul osos, umplând golurile existente inițial între ciment și os. În comparație răspunsul biologic la particulele de PMMA la animale se aseamănă cu țesutul obținut de la interfața ciment-os a implantelor respinse.

În studiile pe culturi de celule, Herman și ceilalți au raportat că mediul celulelor sangvine mononucleare nesegmentate și al celulelor aderente la suprafață ce a fost stimulat de particulele de PMMA polimerizat și nepolimerizat conținea interleukina 1, factori de necroză tumorală și PG E2. Aceste substanțe au fost implicate în resorbția osoasă când mediul determinat (format) a fost adăugat la proba (mostra) de os a membrului....., resorbția osoasă a fost stimulată după cum rezultă la măsurarea eliberării calciului radioactiv. Horowitz și ceilalți au arătat că particulele de PMMA nu numai că au stimulat macrofagele din cultură să elibereze mediatorii inflamației dar au dus la moarte celulară.

Rolul sistemului imunitar în răspunsul tisular la particulele rezultate din uzură a fost investigat de Jasty și ceilalți folosind modele animale. Șoareci cu diferite capacități imunologice (șoareci imunodeficienți, șoareci cu deficit de celule T , șoareci cu deficit de celule T și B și șoareci cu deficit de celule T, B și inclusiv celule NK) au fost stimulați (provocați) prin injectarea subcutanată a pudrei de PMMA. Toți șoarecii indiferent de imunodeficiență au răspuns prin formare histologică a unui granulom constând în macrofage și celule gigant. Într-un studiu pe cultură celulară Santavirta și ceilalți au demonstrat că limfocitele nu au o reacție semnificativă la particulele de PMMA și de asemenea a observat că celulele gigant multinucleate și macrofagele predominau când au examinat țesutul din leziunile osteolitice agresive din jurul implantelor cimentate de șold eșuate. Aceste date sugerează că răspunsul biologic la particulele reziduale produse la uzură reprezintă o reacție tipică la corp străin și nu este imunomediata. Este posibil ca sistemul imunitar să fie important în modularea răspunsului celular la particulele reziduale.

Fără a ține cont de evenimentele inițiatoare calea finală comună în respingerea implantului este resorbția osoasă la interfața implant-os. Osteoclastele deși sunt responsabile pentru cea mai mare parte a resorbției osoase totuși există argumente ale faptului că macrofagele sunt capabile în mică măsură de resorbție osoasă. Murray și Rushton au arătat că macrofage activate (expuse la latex, zimosan, PMMA și PE) stimulează resorbția osoasă când mediul rezultat a fost adăugat la afecțiunile șoarecelui.

Quinn și ceilalți au stimulat macrofage izolate sau în cultură cu fibroblaste și/sau osteoblaste cu particule de metilmetacrilat. Osul cortical a fost adăugat la culturi și după 7 zile, resorbția osoasă în mică măsură a fost demonstrată și crește după 14 și 21 de zile. Athanasou și ceilalți au demonstrat ceva asemănător cultivând macrofage și poliarioni ai macrofagelor de la revizuirea pseudocapsulelor articulare ale implantelor cimentate eșuate pe felii (bucăți) de os cortical. Au fost identificate mici cavități de resorbție indicând resorbția osoasă superficială. Aceasta crește posibilitatea ca macrofagele activate nu produc substanțe ce stimulează osteoclastele să resoarbă osul, dar pot juca un rol direct în resorbția osoasă într-o mică măsură.

NOI DESCOPERIRI

Noi descoperiri cu ciment osos chirurgical au fost obținute (atinse) referitor la coeficientul de alterare și îmbunătățire a rezistenței la fracturare. S-a presupus că un ciment osos cu un coeficient de alterare mai redus se referă la o rată a respingerii mai joasă prin reducerea stresului la contact (frecării). Litsky și ceilalți au testat această ipoteză folosind polibutilmetacrilatul pe un modul de artroplastie la oaie. Polibutilmetacrilatul are un modul de elasticitate de aproximativ 12% din cel al PMMA. Autorii au raportat la un număr limitat de indivizi că polibutilmetacrilatul s-a comportat mai bine decât PMMA radiografic și mecanic.

Topoleski și ceilalți au studiat efectele adăugării fibrelor de titan la cimentul osos. Conținutul în fibre de 1% - 5% din volum a dus la o creștere a rezistenței la fractură până la 56%. Microscopia electronică a demonstrat caracteristicile mecanismului de creștere a rezistenței inclusiv desfacerea fibrelor din matrice și deformarea lor. Multe alte materiale de umplură au fost examinate în încercarea de a îmbunătăți proprietățile mecanice ale PMMA. Acestea includ fibre de carbon și fibre polimerice. În general îmbunătățirea proprietăților mecanice ale PMMA au fost mai mici decât se așteptau de la aceste fibre de înaltă performanță.

Dandurand și ceilalți au postulat că aceasta poate fi efectul lipsei de legături de coeziune între PMMA și materialele de umplură. Utilizând spectroscopia dielectrică ei au ajuns la concluzia că fosfatul de apatită octocalcică poate fi legat chimic de ciment. Ei au emis ipoteza că acesta poate îmbunătăți comportarea la oboseală a cimentului, oricum proprietățile la oboseală nu au fost raportate. Deși rapoartele asupra modificării cimentului osos sunt interesante sunt necesare cercetări în continuare înainte de a se realiza experimentul clinic.