

«Formulación y propiedades mecánicas de cementos óseos a base de fosfatos de calcio»

Presentada por Oscar Bermúdez Castillo para optar al título de Doctor en Ciencias

Directores: J. A. PLANELL ESTANY y F. C. M. DRIESSENS

Universitat Politècnica de Catalunya

El propósito general del presente trabajo fue el desarrollo tecnológico de nuevos cementos de fosfatos de calcio para empleo en odontología y ortopedia, como materiales para sustitución o aumento de tejidos duros, incluyendo su formulación, elaboración y caracterización. Específicamente se persiguió determinar formulaciones con mejores posibilidades de satisfacer las exigencias de biocompatibilidad y mecánicas requeridas por los usos propuestos, optimizar dichas formulaciones y caracterizar su microestructura y propiedades mecánicas.

Como ingredientes para la preparación de los cementos se utilizaron fosfato tricálcico- α (α -TCP), monocalcio fosfato monohidrato (MCPM), óxido de calcio (CaO), clorapatita (CA), sodio-whitlockita (SWH), fosfato cálcico de potasio (CPP), dicalcio fosfato (DCP), dicalcio fosfato dihidrato (DCPD), óxido de magnesio (MgO) y fosfato de magnesio trihidrato ($\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Como materiales nucleadores para favorecer el fraguado se utilizaron β -TCP, hidroxiapatita sinterizada (SHA) e hidroxiapatita precipitada (PHA). Algunos de los materiales estuvieron disponibles comercialmente y otros tuvieron que ser preparados por reacción en estado sólido a alta temperatura.

Se hicieron más de 200 combinaciones de ingredientes. Para todas ellas se midió el tiempo de fraguado inicial, el tiempo de fraguado final, la resistencia a compresión y la resistencia a tracción diametral. Alrededor de 100 formulaciones fraguaron en menos de 60 minutos y presentaron resistencias a compresión mayores que 1 MPa. De ellas las que parecieron más prometedoras fueron sometidas a un estudio posterior con el fin de determinar las que a más corto plazo podrían conducir a un cemento con posibilidades de aplicaciones médicas y odontológicas. De acuerdo con los resultados de dicho estudio, al menos las formulaciones que se relacionan en la tabla I podrían ser elegibles para dichas aplicaciones. En la tabla, OCP se refiere a octocalcio fosfato y CDHA a hidroxiapatita deficiente en calcio.

Las formulaciones más prometedoras (la H7, F y V3) fueron implantadas con el fin de evaluar su comportamiento mecánico *in vivo* y sus posibles transformaciones químicas. Se obtuvo que las formulaciones H7 y F conservaron su resistencia mecánica en el nivel inicial y experimentaron cambios que sugirieron su transformación en un material similar al hueso. De acuerdo con esto, fueron sometidas a un programa de optimización respecto de su resistencia y a un estudio más detallado de sus propiedades mecánicas (tenacidad a la fractura y módulo de Weibull).

Los resultados del presente trabajo se relacionan en la tabla I.

Los materiales obtenidos tienen resistencias mecánicas que les permiten ser utilizados en muchas aplicaciones odontológicas y en algunas de cirugía de la columna. Las formulaciones H y F especialmente tienen la ventaja de conservar sus propiedades mecánicas bajo implantación y sufrir cambios químicos que sugieren su transformación en un material parecido al mineral óseo. La formulación V además es inyectable.

Tabla I. Cementos desarrollados en el presente trabajo

| Producto | Ingredientes | Resistencia a compresión (MPa) | Nombre |
|------------------------|---|--------------------------------|------------------|
| OCP + CDHA + DCP | α -TCP + DCP | 46-54 | Formulación F |
| CDHA | α -TCP | 62-78 | Formulación H7 |
| OCP | α -TCP + MCPM | 9-13 | Formulación H90 |
| CDHA | α -TCP + MCPM + CaO | 5-7 | Formulación H51 |
| DCPD | MCPM + CA + SWH | 6 | Formulación M120 |
| OCP | MCPM + CPP | 6 | Formulación R45 |
| Fosfato de magnesio .. | DCP + MgO + $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ | 11 | Formulación V3 |
| Fosfato de magnesio .. | DCPD + MgO + $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ | 5 | Formulación V4 |

Conclusiones

1. Se demostró que es posible desarrollar una amplia gama de cementos de fosfatos de calcio. En particular se obtuvieron 5 productos con un amplio rango de resistencias mecánicas, comparables a las de muchos cementos referenciados en la literatura.
2. Atendiendo a la resistencia mecánica, resulta claro que los cementos desarrollados en el presente trabajo pueden ser utilizados para muchas aplicaciones en odontología. Pueden aplicarse también en ortopedia en situaciones de cargas compresivas, como las que se presentan en los segmentos vertebrales, y aquellas en que los esfuerzos a tracción no son muy elevados, como los que podrían tener lugar en el córtex tibial durante la marcha lenta. Por otra parte, algunos estudios sugieren que las propiedades mecánicas de los cementos de fosfatos de calcio en su nivel actual pueden ser suficientes para algunas aplicaciones en ortopedia, como la fijación temporal de clavos intramedulares. Por ese motivo es de esperar que los CPC's desarrollados en el presente trabajo tengan en el futuro aplicaciones también en ortopedia.
3. Los cementos H7 y F desarrollados en el presente trabajo constituyen una de las alternativas a considerar a más corto plazo para aplicaciones en odontología y ortopedia habida cuenta de su excelente biocompatibilidad, ausencia de citotoxicidad, la conservación de las propiedades mecánicas bajo implantación y valores de dichas propiedades comparables a las de algunos cementos convencionales. El presente trabajo ha contribuido a definir mejor las condiciones de preparación que permiten obtener productos más resistentes.
4. De manera consistente se encontró que molidos por tiempos muy cortos o muy prolongados, por fuera de los extremos que se fijaron en los programas de optimización, son inefectivos de cara a obtener CPC's más resistentes, concretamente de los tipos H y F. Ambas situaciones tienden a producir el mismo resultado: partículas o aglomerados de partículas más grandes. También se comprobó que los extremos de adición de hidroxiapatita (0 o mucha) como material nucleador no favorece la obtención de buenas propiedades mecánicas. Se concluye entonces que la futura optimización de las formulaciones H y F debe buscarse sobre la base de variables de procesamiento diferentes a las consideradas en el presente trabajo.
5. Puesto que todas las formulaciones en el programa piloto fueron tratadas de la misma forma y las rutinas de preparación no favorecieron las propiedades de ninguna de ellas, se puede presumir que las diferencias relativas en resistencia reflejan realmente diferencias en las propiedades de los materiales ensayados. Se puede concluir entonces que parece haber límites específicos a la resistencia de los distintos tipos de cementos, límites que deben estar relacionados con la naturaleza química y la resistencia intrínseca de los productos formados y la manera como se relacionan espacialmente, por lo cual es poco probable que una formulación de propiedades deficientes, como las que fueron excluidas de la tabla V.2, pueda llegar a presentar resistencias elevadas merced a un programa de optimización.
6. De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, no es posible hacer independientemente la optimización de ninguna de las 2 variables, resistencia o tiempo de fraguado. Los estudios futuros tienen que orientarse a la obtención de un compromiso entre la resistencia mecánica ideal y el tiempo de fraguado ideal.
7. Se comprobó que el tiempo de fraguado de varios cementos de fosfatos de calcio puede ser reducido apreciablemente gracias al efecto de ion común, aunque las propiedades mecánicas se ven afectadas. Sin embargo, se piensa que por medio de una adecuada elección de los aditivos y de su proporción en la mezcla es posible compensar, al menos parcialmente, la tendencia de la resistencia a disminuir.