

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ

МАТЕРИАЛЫ С ПОВЫШЕННОЙ БИОРЕЗОРБИРУЕМОСТЬЮ НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ И ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

Евдокимов П.В., Вересов А.Г., Путляев В.И.

Факультет наук о материалах, МГУ им.М.В.Ломоносова,
E-mail: putl@inorg.chem.msu.ru
Москва, Россия

Одним из важных направлений современного неорганического материаловедения является разработка биоматериалов на основе фосфатов кальция для замены или лечения поврежденной костной ткани. В настоящее время на первый план выходит так называемый регенерационный подход, в рамках которого акцент делается на замещение биоматериала нативной костью, а материалу отводится роль активного источника необходимых для построения костной ткани элементов. Распространенные на сегодня материалы на основе гидроксиапатита ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ – ГАП) имеют следующие недостатки: низкая скорость биорезорбции *in vivo*, слабое стимулирующее воздействие на рост новой костной ткани (остеоиндукция), низкая трещиностойкость и малая усталостная прочность в физиологических условиях. Однако регенерационный подход требует от современных биоматериалов прежде всего ускорения процесса срастания и замены имплантата новой костной тканью и остеостимулирующего действия материала имплантата, в то время как механические нагрузки во время лечения можно исключить.

Одним из известных способов повышения резорбируемости фосфатных биоматериалов является переход к химическому модифицированию ГАП. Другой способ улучшения биологических характеристик материала заключается в переходе к материалам, содержащим более растворимые по сравнению с ГАП фосфаты кальция, в частности, трикальциевый фосфат $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (ТКФ). Целью настоящей работы является получение материалов, предназначенных для замены костных тканей, обладающих повышенным уровнем резорбции по сравнению с ГАП и ТКФ. В качестве таковых предложено использовать двойные фосфаты кальция и натрия общей формулой:

$\text{Ca}_{(3-x)}\text{M}_{2x}(\text{PO}_4)_2$ ($x=0\div 1$, $\text{M}=\text{Na}, \text{K}$) со структурой β -ТКФ ($x<0.15$) и β - CaNaPO_4 ($x=1$). Стратегия повышения резорбируемости, принятая в работе, основана на уменьшения энергии решетки вследствие замены катиона Ca^{2+} на крупный однозарядный катион щелочного металла; при этом по мере замещения происходит смена структурного типа β -ТКФ \rightarrow β - CaNaPO_4 (ренанит).

Среди возможного ряда прекурсоров – солей щелочных металлов (карбонаты, сульфаты, нитраты, хлориды), выбраны карбонаты и хлориды для синтеза двойных фосфатов с помощью следующих твердофазных реакций:



Реакция (1) протекает в диапазоне 600-800°C, а реакция (2) в диапазоне 700-1000°C.

В керамике на основе β - NaCaPO_4 быстро протекающее полиморфное превращение вызывает образование трещин. Для предотвращения этого явления предложено использовать материалы, содержащие высокотемпературную полиморфную модификацию α - NaCaPO_4 нестехиометрического состава с $\text{Ca}/\text{Na} > 1$.

Взаимодействие исследованных материалов с водными растворами приводит к образованию на поверхности нанокристаллов гидроксиапатита, микроморфология которых (иглы или пластины) зависит от условий проведения гидролитической реакции. Исследованные в работе материалы можно ранжировать следующим образом в порядке возрастания резорбируемости в нейтральных и слабощелочных растворах: β - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 < \beta$ - $(\text{Ca}, \text{Na})_3(\text{PO}_4)_2 \sim \beta$ - $\text{NaCaPO}_4 < \alpha$ - NaCaPO_4 . Высокотемпературный ренанит α - NaCaPO_4 является перспективным компонентом для создания резорбируемой биокерамики на его основе; значение pH его водной суспензии (близкое к 8) является приемлемым для рекомендации этого материала к дальнейшим медико-биологическим испытаниям.