

生物陶瓷材料的應用與挑戰

文·圖/段維新

人體是無機材料與有機材料的完美結合，人體中的陶瓷材料則是一種無機的非金屬材料，在人體內扮演承重（骨骼），支撐（骨骼），研磨（牙齒），絞碎（牙齒）等等的苦工。

人的身上有兩百多塊骨頭，每一塊骨頭大小重量都不相同，人的身上還有32顆牙齒，每一塊牙齒形狀、大小、重量也不相同，除此之外，人與人之間的牙齒與骨頭大小重量也不相同，從工程的角度來看，最大的挑戰之一，就是必須能製作多種形狀及大小的陶瓷，符合每一個病人的需求。加法製造（3D列印）因為沒有模具的限制，且近期透過掃描技術及相關製造技術軟硬體的標準化，骨頭及牙齒的製作已有許多突破，在外型的問題解決以後，陶瓷材料的安全性卻始終扮演至為重要的角色。

表1列出五種曾經使用在人體內的陶瓷材料，以機械性質比較，這些陶瓷材料各有其優缺點，而這些陶瓷材在身體內不同位置，都曾經使用過一段時間，但是人體是一個非常複雜的環境，除了無毒的要求，安全性還包括了長時間的穩定性。若我們以一個產品為例，或許可以點出生物陶瓷的機會及挑戰。

表 1：曾使用在人體的人工陶瓷材料機械性質

生物陶瓷	彈性常數 / GPa	強度 / MPa	韌性 / MPam ^{0.5}
氧化鋁	380	300~400	3~4
氧化鋯	200	600~1200	6~12
氮化矽	310	600~1000	5~10
氫氧基磷灰石	95	120	2~3
硫酸鈣	80	20	無相關報導

這個產品為人工髖關節，目前國內醫療院所每年進行的人工髖關節置換手術約10,000例（賴伯亮，2021），一組人工髖關節使用了各種材料，如：鈦合金、超高分子量聚乙烯及陶瓷材料，這是一個結合各種材料優勢的產品，例如：鈦合金常作

為人工髖關節的股骨柄（圖1a），超高分子量聚乙烯作為襯墊（圖1d），陶瓷材料因為硬度高，常被用在股骨頭（圖1c），表1中的氧化鋁因為硬度最高，很早就被想到可以作為股骨頭，但在一開始使用就快速磨損了周邊的襯墊，很快就被淘汰了。氧化鋯的硬度只有氧化鋁的一半，韌性卻高達兩倍，剛好在1985年左右，日本的陶瓷粉末製造商克服了氧化鋯韌化氧化鋯粉體成團的問題，將氧化鋯的燒結溫度降到1450°C，且密度可以達到幾乎緻密，機械性質超越所有陶瓷材料（表1）。美國一家非常大的製藥及醫療器材廠商很快就注意到這個陶瓷材料，並將它用在人工髖關節的股骨頭上，並於1997年取得美國食品藥物管理局（FDA）的認證，這家美國公司委託全世界最大的陶瓷製造商代工，此產品很快就取得市場廣泛的接受，訂單快速增加，這家陶瓷製造商為了滿足市場需求，將箱型爐批次式的生產方式，改為連續式鏈條爐生產方式，並在廠內進行所有測試，確認批次式與連續式生產方式，產品性質完全相同，然後開始出貨。但是以連續式生產的產品在出貨後，三年內陸續出現人工髖關節的陶瓷股骨頭在體內破碎的臨床報導，不得已在2001年發出全面召回（recall），但為時已晚，以連續式生產的產品在體內破碎的比例高達42%，在全球達數百例，使得這家美國公司及曾經是全世界最大的陶瓷製造商全面退出陶瓷醫療器材領域。

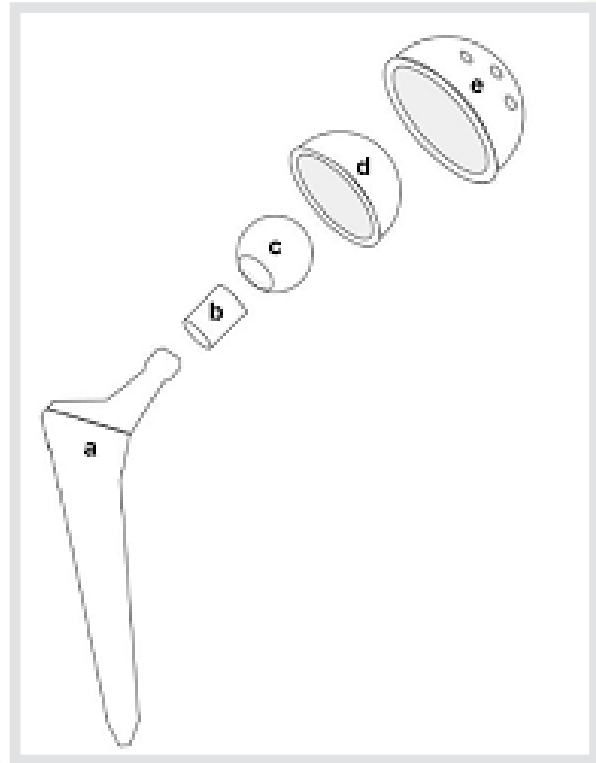



圖1：人工髖關節中的股骨頭（c）常以陶瓷製作（Piconi et al, 2006）。

這個例子說明了陶瓷材料仍有許多挑戰，尤其是在長時間的生物穩定性。前述案例在政府委託及學術界許多實驗室的獨立調查後，一致確定，人工髖關節的股骨頭在體內的破碎是因為氧化鋯低溫劣化的問題，例如將氧化鋯韌化氧

化鋁置於 134°C ，兩個大氣壓的水熱環境下，5天後試樣表面就會出現劣化層（圖2），這個表面劣化層有許多微裂縫，對產品的強度影響很大。

陶瓷材料雖然具有較金屬及高分子材料優異許多的生物相容性，但是它的硬、脆及在水熱環境下的長期穩定性，仍然需要許多研究的投入，才能將陶瓷材料作為生物材料，造福人們。（本期專題策畫／土木學系周中哲教授）

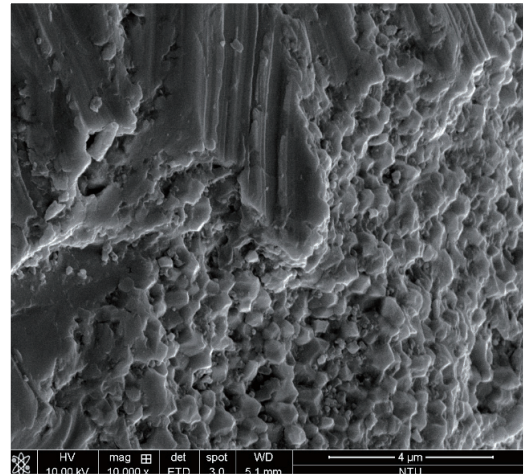


圖2：以氧化鈮韌化的氧化鋁在水熱環境下，試樣表面所出現的劣化層。

參考文獻：

- [1] 賴伯亮，組織工程的臨床應用～機會與討戰，長庚醫訊，第42卷第6期（2021）。
- [2] C. Piconi, G. Maccauro, L. Pilloni, W. Burger, J. Mater. Sci: Mater. Med. 17, 289-300（2006）。



段維新小檔案

英國里茲大學陶瓷博士，德國 Max-Planck 研究院粉末冶金實驗室博士後，現任國立臺灣大學材料科學及工程學系教授，獲國際陶瓷學院院士，材料學會會士等榮譽。主要研究領域包括：陶瓷燒結理論及實務，陶瓷基複合材料，生物陶瓷。