

# 肌腱組織工程

◎長庚大學化工與材料工程學系教授 陳志平

封面故事



專長 | 組織工程、生醫工程、  
生化工程、生醫材料

**肌** 腱是負責傳遞力量及連結肌肉與骨骼的結締組織，同時也儲存相當多的生長因子。肌腱由縱行排列的膠原纖維及散在其中的肌腱細胞構成，而膠原纖維呈線形、螺旋形、或交叉方式排列，因此它的抗張力是所有組織中最強的。同時藉肌腱組織細胞外間質中的蛋白多醣，可提供肌腱粘彈性，使肌腱能夠儲存彈性能量並承受運動中需要承受的高拉力。肌腱連續暴露於高拉伸環

境中，時常會受傷，但由於其低細胞密度特性，受傷之肌腱無法快速癒合。歷經發炎期、生長期、重建期修復完成的肌腱，通常無法達到原本肌腱所擁有的特性及強度。目前臨床上治療肌腱缺損的方法如人工肌腱、異體移植或自體移植，均各有其缺點。

組織工程不可或缺的三大要素為：支架、細胞及訊息因子。肌腱組織工程可以利用可降解生物高分子材料製作出立體支架，使細胞可以在支架上生長。而支架的功能不只當作細胞生長的框架，更可以利用支架的結構進一步引導細胞朝特定的方向生長甚至分化。因此良好肌腱組織工程支架需要具備適當的生物降解速率，良好的生物相容性，可幫助細胞生長、遷移、分泌細胞外間質，及提供良好的強度及機械性質。支架材料的來源可以使用天然高分子或人工合成高分子。而以靜電紡絲法製備奈米纖維束做為肌腱組織工程立體纖維支架，能提供肌腱癒合的必要機械強度，也可提供細胞附著和增殖所需。

肌腱中以肌腱細胞為主要的細胞，順向性排列在膠原纖維束之間，負責合成細胞外間質。肌腱細胞是成熟細胞，

遍布整個肌腱結構，通常錨定在膠原纖維上。肌腱中也有紡錘狀初代肌腱纖維母細胞，為不成熟的肌腱細胞，可分化為肌腱細胞。使用幼兔肌腱組織中萃取的細胞為肌腱組織工程細胞來源，將包含初代肌腱纖維母細胞，可增強細胞分化的能力。

只有多孔性的支架配合細胞，還不足以形成具功能性的組織，因為細胞通常須從外界獲得特定的訊息因子，才能在支架內發揮正常功能。因此正確掌控細胞的訊號、傳遞路徑及彼此間作用的機制亦是肌腱組織工程中很重要的一環。訊息因子可分為化學刺激因子與物理刺激因子。化學因子包含貼附因子、生長因子、分化因子等，皆能正面促進細胞活性功能。物理因子則可為機械力、超音波、光刺激等物理訊號。此外

順向性的支架也可影響肌腱細胞的表現，提供物理刺激因子。

第二型纖維細胞生長因子可促進肌腱修復及肌腱細胞的增生。肌腱細胞在此生長因子刺激下可改善其細胞增生及膠原蛋白分泌。將此生長因子固定在支架表面當作化學刺激訊息因子，可長期維持其活性以產生持續生物作用，刺激肌腱細胞增生、遷移、促進細胞外基質形成，利於肌腱組織再生。由於肌腱細胞受機械拉伸影響可增加訊息傳遞的表現，因此在生物反應器內使用拉伸方式進行細胞/支架複合物培養，可利用機械力刺激，使細胞增生加速，間質分泌增加，提升細胞/支架複合物的機械強度，加速類似原生肌腱組織的生成，可利於後續移植至體內後肌腱組織的修復。👁️

