

## 當寂靜的世界不再無聲—談人工電子耳

位在英國紐伯里附近的 Mary Hare 學校(1)，看起來像是一個平常不過的中小學。穿過教室的走廊，可以看見年輕的孩子們抄寫著黑板上的算式，認真學習數學；其他教室裡可以看見孩子們穿著白色實驗衣，圍在實驗桌前看著試管裡正在進行的化學反應；走廊的另一邊，則有一群孩子跟著老師努力學習演奏樂器，有的打鼓，有的彈吉他，有些人吹長笛...雖然這些孩子偶而露出困惑的表情，舞動的手足也似乎跟不上音樂的節奏，但是臉上還是時常出現笑容，就像一般孩子在上音樂課時一樣....

不仔細觀察的話，這些孩子外表看起來跟一般的孩子沒什麼不同，但是，其實，他們絕大多數的人生下來就有耳疾，天生就聽不見外界的聲音。只是很慶幸的，這些聽障的孩子並沒有失去跟外面世界接觸的機會；因為在 Mary Hare 這個學校裡面，有特別的老師和特別的教材幫助他們學習。除了課本上面的知識之外，他們花很多的時間學習如何溝通、如何表達自己，並且理解別人想要傳達的訊息。

學校裡當然有提供傳統讀唇語跟手語的教學，但是，更多的孩子也在這邊學習語言發聲—教聽障的孩子講話？教他們音樂？教聽障的孩子演奏樂器？聽起來也許像是天方夜譚。但，感謝醫學科技的發展，因為人工電子耳（Cochlear Implant）的發明，使這一切變得可能！這些天生聽障的孩子因為植入了電子耳，而不再活在沉默無聲的世界裡。因為人工電子耳，這些天生聽障的孩子也有機會聽見聲音；透過努力，他們也可以和一般人一樣學習語言、一樣輕鬆的交談，甚至是欣賞音樂或是演奏樂器。

那麼，人工電子耳究竟是什麼？為可以讓聽障的世界不再沉默無聲？

### 簡介

人工電子耳是一種特別的電子裝置，和一般助聽器不同。助聽器主要原理是將外界聲音放大，放大的聲波一樣需要經過中耳、內耳轉為電波，再由聽覺神經傳到大腦。然而，一般助聽器對完全失聰的病人並沒有太大的幫助，特別是因為內耳毛細胞因病毒感染或是自體免疫疾病而完全受損的病人。過去對於這些病人我們可能束手無策，但是現在雖然助聽器成效不高，只要他們的聽覺神經功能依然完好，都可能可以經由手術植入人工電子耳而恢復部分聽覺。

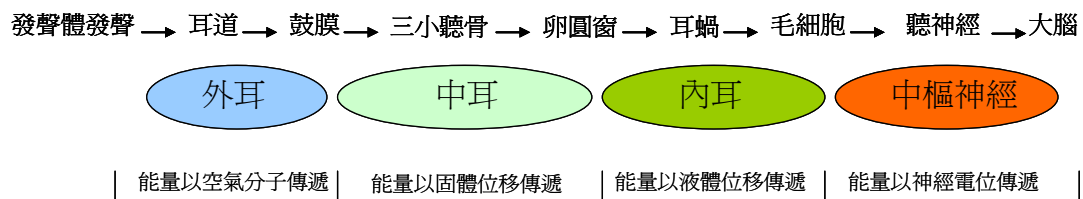
人工電子耳的基本理論是在耳蝸內植入電極，將聲波轉換為電波後直接刺激聽覺神經再傳至大腦，電波的傳遞不需經過內耳聽覺毛細胞，因此對於不適用助聽器的聽障病人可以提供更好的聽覺輔助。直至 2009 年為止，全世界大約有 15 萬人接受人工電子耳(2)。接受人工電子耳的病人除了學語（postlingual）的成年人之外，目前也有越來越多先天性聽覺障礙的孩童在幼兒時期接受人工電子耳。以下將簡述正常耳及人工電子耳的構造與功能。

### 正常耳的生理結構與功能

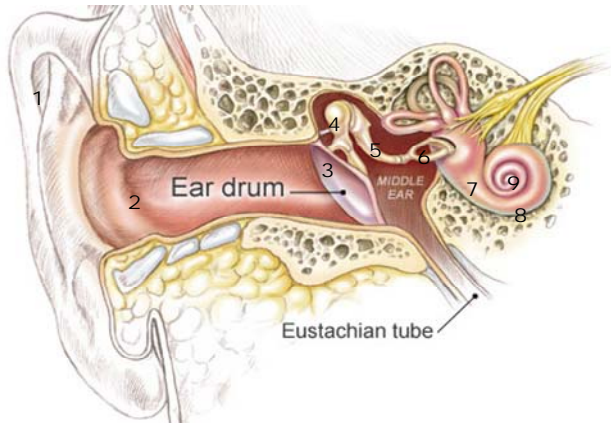
對於許多擁有正常聽覺的人，能夠自在的與別人交談、欣賞音樂，都覺得是理所當然的事，但事實上這些行為都需要依賴一雙健康的耳朵。要了解人工電子耳如何幫助聽障的病人重新聽見聲音，我們必須先理解正常耳朵的生理結構與功能。

耳朵作為聽覺的接受器，*最重要的功能是把聲波轉換成神經電位能，讓大腦以及神經系統可以迅速傳遞並解讀。*耳朵的結構，主要可以分成外耳、中耳、內耳三個部分（見圖一，圖說有較詳細的耳朵各部結構功能描述）。大致而言，聲波的能量從發聲體發出後經由空氣分子傳遞至外耳（External Ear）；外耳主要的功能為收集聲波，並把聲波放大後傳遞到鼓膜。鼓膜藉由振動的方式把在氣體分子傳遞的能量轉換成固體移動位能並傳至中耳的聽小骨。聽小骨再將傳遞過來的固體移動位能放大之後傳遞至內耳耳蝸（Cochlea）。耳蝸是一個似蝸牛殼的螺旋形管狀結構。聽小骨末段的鐮骨和耳蝸卵圓窗(oval window)相連；因此，鐮骨的位移會觸發耳蝸內淋巴液的波動（液體移動位能）。耳蝸內的薄膜狀組織 --頂蓋膜(tectorial membrane)--則會隨著淋巴液的波動而位移；頂蓋膜不同程度的位移會施予下方毛細胞上纖毛不同程度的壓力；毛細胞在此扮演非常重要的角色－物理的位能在此轉換成神經電位，後經由聽覺神經傳遞至大腦。

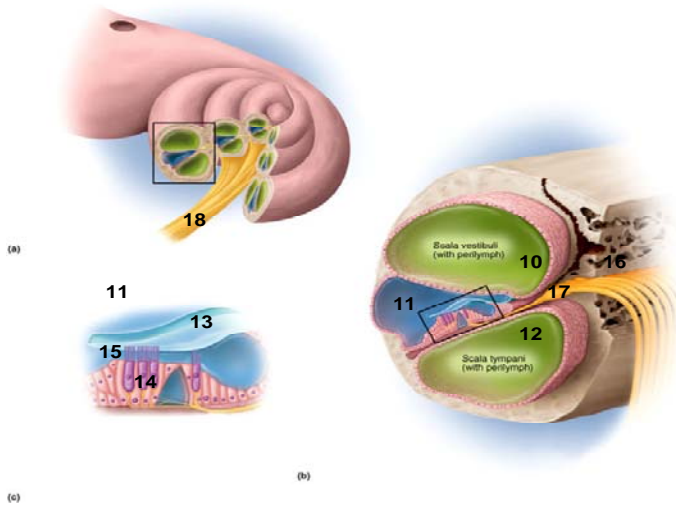
總結上述，我們可以歸結聲音在正常耳的傳導途徑是：



由此可知，外界的刺激能夠最後在我們大腦裡面產生反應而做出辨識必須仰賴耳朵每個部分的精密合作才能讓能量可以成功的轉移並傳遞，因此耳朵任何一個部位的病變都可能造成聽覺的損失。



Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



**圖一 耳朵的結構與功能：**外耳又可以分為耳殼/耳廓 (1, pinnae / auricle) 跟耳道(2, external auditory meatus)。耳殼主要的功能為收集聲波，並藉由耳殼上的凹陷產生聚焦和反射特定頻率的功能，提供我們辨別聲音方位的線索。耳道主要的功能是傳遞並放大聲波直至振動中耳的鼓膜(3, tympanic membrane or ear drum)。鼓膜的功能除了分隔中耳和外耳道之外，也是第一個能量的轉換站。在引起鼓膜振動之前，聲波的能量都還是依靠氣體分子傳遞。而鼓膜藉由振動的方式把在氣體分子傳遞的能量轉換成固體移動位能並傳至中耳的聽小骨。聽小骨可以分成三個部分：錘骨(4, Malleus) 鈹骨(5, Incus) 與鐙骨(6, Stapes)。聽小骨的功能主要在於將鼓膜傳遞過來的固體移動位能放大並傳遞至內耳耳蝸 (7, Cochlea)。耳蝸的螺旋形管狀結構從底端 (8, Basal turn) 至頂端 (9, Apical turn) 大約環繞二又四分之三周。此管狀結構可分成三個腔室：前庭階 (10, Scala vestibuli, 內含外淋巴液 Perilymph)、蝸管 (11, Scala media, 內含內淋巴液 Endolymph)、及鼓室階 (12, Scala tympani, 內含外淋巴液 Perilymph)。聽小骨末段的鐙骨和內耳耳蝸卵圓窗相連處是另一個能量轉換的地方。聲波經過中耳聽小骨放大後引起鐙骨振動，於此處鐙骨位移會觸發耳蝸內淋巴液的波動 (液體移動位能)。耳蝸內有一個薄膜狀的組織，稱為頂蓋膜(13, tectorial membrane)，頂蓋膜會隨著淋巴液的波動而位移。頂蓋膜的下緣與基底膜上蝸管毛細胞(14, hair cell)的上端纖毛 (15, stereocilia) 有接觸，因此頂蓋膜不同程度的位移會施予毛細胞上纖毛不同程度的壓力。毛細胞會將物理的位能轉換成神經電位，而後傳遞給蝸軸 (16, modiolus) 中的螺旋神經節(17, spiral ganglion)，再經由聽覺神經 (18, auditory nerve) 傳遞至大腦皮層。(3)

## 人工電子耳的結構與功能

人工電子耳的功能和正常耳類似，最終的目標是把外界的聲波轉化成電位能。常見的人工電子耳通常由幾個裝置構成：1. 多頻道電極 2. 接受感應線圈 & 刺激器 3. 語言處理器 4. 傳送感應線圈 5. 指向性麥克風（圖二）。接受感應線圈、刺激器、及電極必須經由手術植入：當病人全身麻醉之後，首先於耳後開一小洞進入中耳腔，而後在圓窗(Round window)上方以耳蝸造口術（Cochleotomy）切開一小口，將電極植入耳蝸之鼓室階中。接收感應線圈及刺激器的部分則置於耳後皮下顳骨上凹槽內。當皮膚癒合後，接收感應線圈/刺激器處只會在皮下成一微小凸起。傳送感應線圈則在配戴時以磁鐵固定於耳後與接收感應線圈/刺激器相對之皮膚位置上。麥克風則通常掛在耳後（圖三），語言處理器則隨身攜帶。

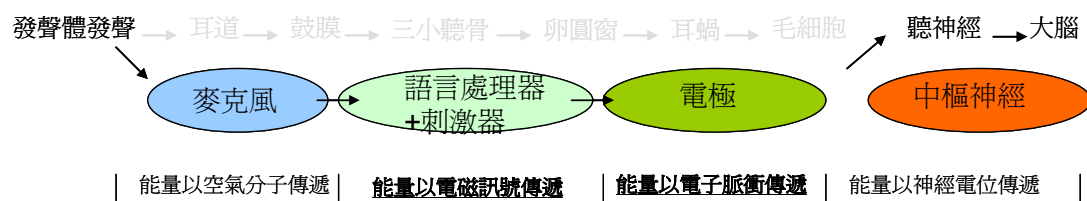


圖二 人工電子耳（Model: Cochlear Nucleus 22）：1. 多頻道電極（Multi-channel Electrodes）2. 接受感應線圈(Receiver Coil)及刺激器(Stimulator) 3. 語言處理器（Speech Processor）4. 傳送感應線圈 (Transmitter Coil) 5. 指向性麥克風（Directional Microphone）。(4)



圖三 人工電子耳配戴示意圖：1. 指向性麥克風（有些廠牌於此會附上小型的語言處理器）2. 傳送感應線圈。(5)

人工電子耳的原理並不難理解：當聲音由麥克風接收之後，會先傳送至語言處理器；語言處理器事實上是個微電腦，其搭載的程式會將傳進來的訊號放大、數位化、選擇、過濾並編譯成適合的電子訊號，接著藉由傳送器與接收器之感應線圈把訊號傳至刺激器，再由刺激器驅動植入的電極送出相對應的電子脈衝，以刺激聽覺神經。因此相較於正常生理耳朵傳遞聲音的機制，人工電子耳的麥克風部份可說是取代了正常耳朵外耳收集聲波的功能；而語言處理器除了分析聲波之外，也扮演了將聲波轉換成適合的電子脈衝的角色，因此語言處理器取代部分中耳及內耳的功能。最後，植入鼓室階的電極取代了毛細胞的功能，直接以電子脈衝刺激位於蝸軸中的螺旋神經節與聽覺神經。



**聲音經過人工電子耳聽起來如何？植入人工電子耳後可以恢復多少的聽覺？有聽覺障礙的人都適合人工電子耳嗎？**

對於學語後失去聽覺的成人，當他們失去聽覺並接受電子耳植入之後，聲音從他們「新耳朵」聽起來到底是如何呢？這是個有趣的問題，因為幾乎所有病人描述的狀況都不一樣！有些人說剛開始使用人工電子耳時，外界聲音聽起來像是品質很差的電話機傳來的聲音，也有些人說像是老舊的收音機傳來不清楚的調幅（AM）廣播。事實上，因為每個聽障病人聽力受損以及聽神經功能保留的程度不同，加上之前用的語言以及失聰前聽覺習慣各有不同，所以接受電子耳植入之後，每個人聽力程度的恢復也都不一樣。所有接受電子耳植入的病人在使用電子耳的前幾個月都需要和專業的聽力檢查人員合作，接受聽語復健，才能按照個人的狀況調整語言處理器的程式以及參數值，以找到個人化最佳的語言編碼(speech coding strategy)、閾值(threshold level)及舒適值(comfort level)。

對於幼年學語前失聰，日後很久才接受人工電子耳的病人，通常人工電子耳對重新學習語言的幫助並不大。電子耳對這類病人最大的幫助通常是在於提高病人對外界環境的察覺，病人可以配合聲音和視覺有效率的讀唇語。然而，人工電子耳對於學語後失聰的成人則有非常顯著的改善。雖然每個病人從開始使用電子耳到真正習慣以致可理解外界的聲音所需要的時間不一定，但是很多聽障病人在經過長時間練習、調整，學習將新的聲音與記憶中語言的印象相連結後，最終可以正常的與人交談，不需靠讀唇語或是打手語跟別人溝通，甚至可以使用電話。美國研究指出大多數聽障成人在接受電子耳後，對於可以達到日常生活的句子辨識度可達 90% ~ 100%(4)。目前也有失聰後植入電子耳的音樂家經過一段時日後可以重新演奏樂器的特別例子(7)。

另外，目前越來越多醫生以及研究人員開始建議有聽障孩子的父母親，讓天生聽障的孩子在適合的情況下，盡早接受人工電子耳的植入(兩歲以上(6))。在幼年植入人工電子耳，可以幫助聽障的孩子從小開始就習慣於有聲音的環境，也非常有利其語言的學習。

然而，並不是所有的聽障病人都適用於人工電子耳。目前人工電子耳仍然必須依賴病人有功能完整的聽覺神經。如果病人罹患聽神經瘤(acoustic neuroma)而必須移除，大多數的情況下聽神經都會因此而損壞。對於聽神經受損的病人，目前除了以上耳蝸人工電子耳外，植入腦幹電子耳(auditory brainstem implant)有可能可以幫助恢復部分聽覺。當然，一個聽障病人是否適合植入人工電子耳，除了其聽覺神經必須仍然有功能之外，還有其他許多因素需要專業醫師及醫療團隊詳盡的評估才能決定。

## 結語

目前有很多科學家正在努力改善現有的人工電子耳裝置，使更多聽障的病人受益；除了設計更好的電極及語言處理器之外，也在尋求其他形式的電子耳以求幫助更多聽障的病人：上述典型的人工(耳蝸)電子耳之外，目前還在研究階段的，如聽神經電子耳(8)可以幫助耳蝸受損的病人並提供耳蝸電子耳欠缺的低頻敏感度，腦幹電子耳(9)可以幫助聽神經受損的病人、中腦電子耳(10)可以幫助聽神經及耳蝸神經元受損的病人等等。現在的耳蝸電子耳仍然有許多的缺點可以改善，例如：電子耳使用者對音調高低(Pitch perception)的判別能力依然不佳。這個問題使得人工電子耳目前尚未在許多以聲調語言(發同一個語音時，長短、高低不同的聲調，會構成不同的意思，例如中文、越南文、泰語等—如中文裡面的四聲變化)當做母語的地區普遍使用。對於電子耳與音調高低這方面的研究才剛剛開始，隨著台灣使用人工電子耳的人口日益增加，我們需要更多科學方面的人才一起來努力研究改善、並發明更好的人工電子耳，來幫助更多聽障的朋友聽見更多美好的聲音！

1. <http://www.maryhare.org.uk/>
2. Mary Brophy Marcus (2009-08-17). "Eyeing smaller, faster, smarter ear implants
3. [http://blogs.webmd.com/all-ears/2009\\_07\\_01\\_archive.html](http://blogs.webmd.com/all-ears/2009_07_01_archive.html)  
<http://www.waukesha.uwc.edu/lib/reserves/zoo234diagrams.html>
4. <http://www-personal.umich.edu/~ueda/cochlear/>
5. <http://stanford.wellsphere.com/hearing-loss-deafness-article/cochlear-implant-101/517776>
6. NIDCD: <http://consensus.nih.gov/1995/1995CochlearImplants100html.htm>
7. <http://www.cochlearcommunity.com/services/1834.php>
8. Middlebrooks & Snyder. J Assoc Res Otolaryngol. 2007 8(2):258-79: Auditory prosthesis with a penetrating nerve array.
9. FDA:  
<http://www.fda.gov/MedicalDevices/ProductsandMedicalProcedures/DeviceApprovalsandClearances/Recently-ApprovedDevices/ucm089750.htm>
10. Lim et al., Hear Research, 2008 242, 74-85: The auditory midbrain implant: Effects of electrode location