

電子耳

幫你找回平衡感

別以為電子耳只能讓人恢復聽覺！

對那些因內耳受損而失去平衡感的患者而言，有朝一日或許能藉由在內耳埋植電極，而重新恢復平衡的人生。

撰文／桑迪納（Charles C. Della Santina）

翻譯／林雅玲

當你要求朋友列舉出身體的感覺，他們通常只會提到五種：視覺、聽覺、嗅覺、味覺和觸覺。大部份的人從來沒注意到自己還有第六種感覺，也就是覺知自己頭部的定位和轉動。然而一旦失去這種感覺，頭部動作可能會引起嚴重的眩暈而讓人失去自主能力，進而導致行動不穩與視覺模糊。好消息是人工電子耳研究的進展，可望讓內耳「前庭迷路」（vestibular labyrinth）受損而喪失第六覺的患者恢復平衡感。

現年57歲，在美國賓州和弗州都有房子的甘農是位退休的蒸汽管安裝工，他可等不及這種人工義耳的出現。甘農因一種病毒感染病而在七年前喪失了大部份的平衡感。他說：「讓我成為第一個植入人工前庭的人吧，五年來我一直在等這通電話！只要研究人員研發成功，要我自己走到醫院接受手術都沒問題。」

甘農以前熱中游泳，他說：「退休後我搬到靠海的地方，就是因為我愛水，但失去平衡感後我就無法走直線，尤其是在沙灘上。如今走在路上，家長會以為我是醉

漢而將小孩扯離我身邊。站在幾公分高的衝浪板上，我就覺得快要跌下來一樣。我現在也很少開車，晚上更是完全不開，因為我會將一盞車燈看成20盞。」

雖然他覺得在白天開車相當自在，不過到了晚上，他說一閃而過的路燈會在他眼中留下彗星般的長尾巴，「就像雷射表演一樣，如果可以，我願意用聽覺換回平衡感。」電子內耳近期的進展，為甘農與數萬名因內耳受損而失去平衡感的患者帶來希望，這類內耳損傷可能由特定抗生素（例如紫菌素）、化療、腦膜炎或梅尼爾氏症引起。

保持直立與平穩

就像在耳蝸植入電極能利用電刺激部份聽覺神經來恢復聽力，新型電子耳則利用電刺激前庭神經來恢復平衡感。在正常狀況下，前庭神經會將前庭迷路發出的訊號傳送到大腦，電子內耳提供的電流訊號則略過損壞的前庭系統，直接連結到神經。

正常的前庭迷路能執行兩個重要任務，第一個是評估上下與方位，另一個則是覺

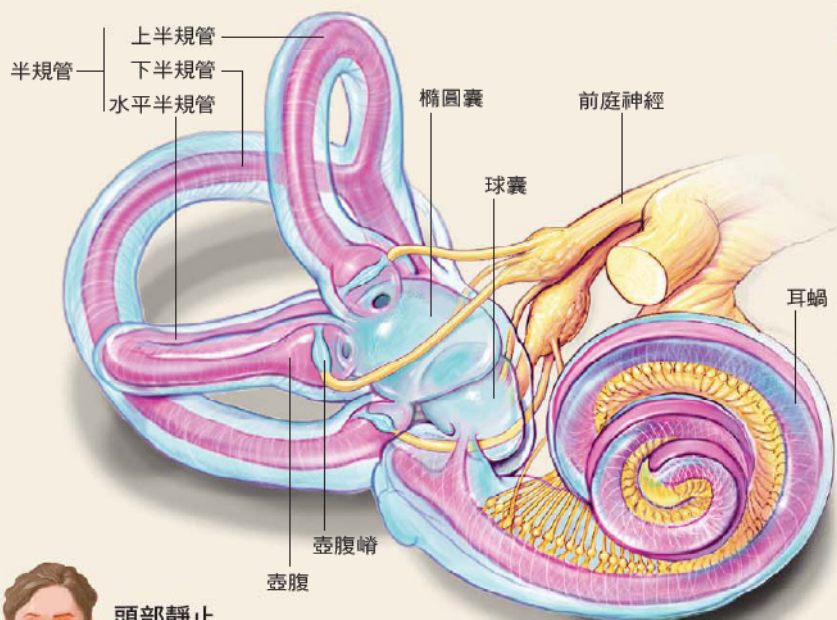
重點提要

- 內耳的前庭系統受損會引起眩暈、行動不穩和視覺模糊。
- 內耳的半規管結構負責偵測頭部轉動。
- 研究人員正研發能替代半規管功能的人工義耳，希望藉此恢復患者的平衡感。

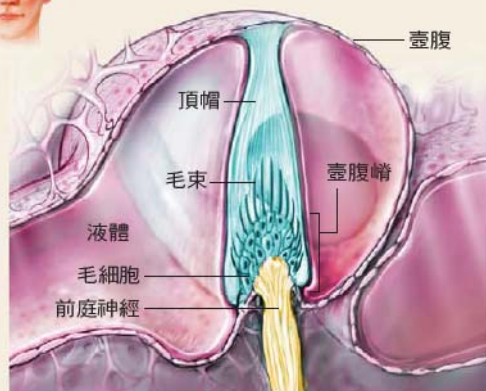


〔取代部份內耳〕 恢復平衡的設備

內耳裡精細的前庭迷路是控制平衡的樞紐，當它受損時會引起行動不穩與視覺模糊。研究人員正在研發電子裝置來彌補這種損傷，就像利用「人工電子耳蝸」來彌補聽力損失一樣。



頭部靜止

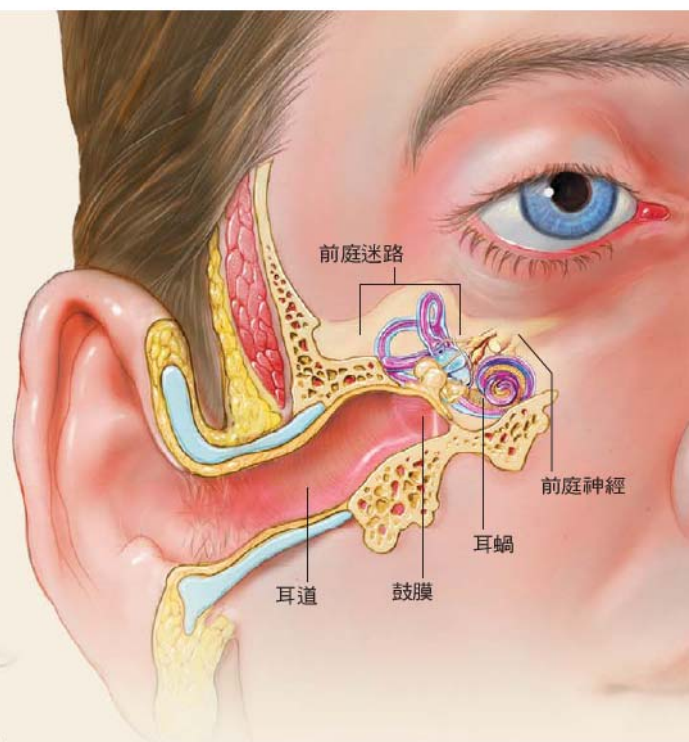


◀ 靠液體流動感應移動

當頭部靜止時，半規管裡的液體保持靜止，前庭神經纖維也保持固定的脈衝頻率（上圖）。當頭部轉動（下圖），水平半規管裡流動的液體會造成頂帽（伸展在半規管末端的彈性膜）彎曲。毛細胞會將這個搖動轉化成脈衝訊號，經由神經傳給腦部的相關部位。這些神經脈衝驅使的反射行為，使得眼球轉向頭轉動的反方向，讓眼球能繼續注視目標物，並維持身體的穩定平衡。



頭部轉動



◀ 內耳：不只是聽覺

前庭迷路包含三個充滿液體、結構類似呼拉圈的半規管，每個半規管的一端都有壺腹構造。壺腹以三維方式偵測頭部的轉動，並和內耳的其他感應器一樣，藉由特殊細胞將液體的流動轉換成神經訊號。迷路裡的橢圓囊與球囊則告知腦部，當下頭部與重力的相對方位。作者研發的電子耳可望取代半規管的功能。

▶ 幫助平衡：繞道的電子線路

研發中的電子耳將運用微型陀螺儀來感應頭部轉動，藉此取代耳中損壞的結構。陀螺儀是埋植耳中設備的一部份，它包含一個微機電轉輪（以製造電腦晶片常用的光學微影技術製造而成）。當頭部轉動時，轉輪會輕微轉動，而改變硬體中轉輪附近的電容器電壓 ①。陀螺儀內的微處理器偵測該改變，並將訊號傳給安置在內耳的電極 ②。電極將訊號傳給前庭神經 ③，最終送到腦幹裡調節眼球位置的神經。



察頭部的轉動；前者讓我們能夠正常站立與行走，後者則讓我們的眼睛能注視目標物。舉例來說，當你抬起頭時，前庭迷路就會指引你的眼睛準確地同步往下轉動，而保持視網膜上影像的穩定。失去這個「前庭-動眼反射」，世界看起來就像一部由手持錄影機在晃動下所拍攝的電影。這個反射也是研發中的義耳想要替代的功能，希望藉此恢復大部份喪失的平衡感。

前庭迷路利用三個充滿液體、外型類似呼拉圈的半規管來測量頭的轉動，三個半規管分別兩兩垂直排列，因此它們能記錄頭部在三維空間的轉動。

舉例來說，兩耳各有一個半規管是測量水平移動。當我們的頭向左轉，半規管裡的液體會對伸展在管末端的膜施壓，使半規管基部細胞上的毛狀突起（纖毛）彎曲。纖毛彎曲會引發前庭神經傳出訊號，送達腦幹與小腦這兩個負責感覺接收與運動控制的中心，它們會接著傳遞訊息給肌肉，來讓眼睛轉向頭部移動的反方向。

繞道得來的平衡感

我與約翰霍普金斯大學前庭神經工程實驗室的同事，已經研發出一款會讓甘農感



甘農將是新型電子耳的第一個志願受試者，他是退休的蒸汽管安裝工，七年前因為生病而失去平衡感。

興趣的新型電子耳，並進行了動物試驗。它包含一個極小型的微機電陀螺儀來測量頭部在三維空間的轉動，其微處理器則能將訊號送到電極來刺激前庭神經的三個分支。25年來已經有超過12萬名失聰患者在耳蝸中植入人工電子耳的電極，它在電子學與感應科技的發展經驗，能做為新一代神經植入器的基礎，進而縮短從研發到臨床應用的過程。

醫生通常只在患者的一個耳朵植入電子耳，希望能讓手術風險（例如傷及內耳負責聽力的構造）局限在一個耳朵。根據動物實驗的結果，我們相信植入一組取代半規管功能的電子內耳，就能提供前庭受損患者足夠的穩定與平衡。也許以後能研發進一步的設備，來修復內耳負責的重力感知功能，不過目前對內耳失去功能的患者來說，矯正視覺模糊更為重要。

除了約翰霍普金斯大學，還有其他研究人員也在發展電子前庭。麻州眼耳專科醫院（MEEI）的莫菲德與鞏望嵩團隊在2000年首度發表能替代三個半規管之一的電子前庭，並證實動物能適應埋植器傳送的訊號。同樣任職MEEI的路易斯正在研究該設備是否有穩定身體的功能。

最近，華盛頓大學的菲利普斯團隊研發出一種類似節律器的設備，希望能壓制梅尼爾氏症患者眩暈發作時的異常神經脈衝。加州大學爾灣分校的薛克爾與賽普勒斯共和國賽普勒斯大學的耶奧尤，正從事電路的整合來支持這類研究。還有MEEI的華爾領導的團隊，正在發展有助於維持身體穩定的設備。

掛念著甘農與類似症狀患者的身體不適，我們在美國約翰霍普金斯大學的研究團隊希望在克服技術與法規的問題後，盡快開始進行臨床測試。如果研究進展如預期，修復第六覺的人工電子耳終將能讓甘農這樣的患者找回平衡感。

SA

林雅玲 清華大學生命科學研究所畢業，現於中央研究院國際研究生學程就讀博士班。

關於作者



桑迪納是美國約翰霍普金斯大學醫學院耳鼻喉科與生醫工程學副教授，他也是該校前庭神經工程實驗室的主持人。他的外科治療對象主要是前庭受損的患者，並專精於利用埋植人工電子耳蝸來恢復患者的聽覺。身為研究人員，他也致力於發展能治療前庭感覺功能喪失的裝置。

延伸閱讀

Living without a Balancing Mechanism. John Crawford in *British Journal of Ophthalmology*, Vol. 48, No. 7, pages 357–360; July 1964.

Gentamicin-Induced Bilateral Vestibular Hypofunction. L. B. Minor in *Journal of the American Medical Association*, Vol. 279, No. 7, pages 541–544; February 18, 1998.

A Multichannel Semicircular Canal Neural Prosthesis Using Electrical Stimulation to Restore 3-D Vestibular Sensation. Charles C. Della Santina et al. in *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 54, No. 6, pages 1016–1030; June 2007.

想參觀美國約翰霍普金斯大學的前庭神經工程實驗室嗎？請至 www.hopkinsmedicine.org/otolaryngology/research/vestibular/VNEL