

為什麼音樂具有奇異的魔力？

科學家正在我們的腦子裡找答案。

我們聆聽音樂的時候，腦子裡有什麼活動？

音樂家的腦子與一般人有什麼不同？

這些證據已能鬥成一幅比較完整的圖像。

# 大腦【神經科學】 怎麼聽音樂？

撰文／溫柏格（Norman M. Weinberger）

翻譯／王道還

音樂包圍著我們——我們可不願沒有音樂。

激昂的交響樂逐漸推向高潮，令人熱淚盈眶，脊梁骨好像通了電流，身子震顫不已；漸次增強的背景音樂，為電影與電視影像添加了情緒感染力；球賽中，管風琴演奏者讓我們一齊起立、歡呼；父母輕聲吟唱，安撫嬰兒。

我們對音樂的喜愛源遠流長，自文明草創，我們就會創作音樂。人類最晚在三萬年前，就會演奏骨笛、打擊樂器與單簧口琴。世上每個社會都有音樂。此外，我們似乎天生就能欣賞音樂。兩個月大的嬰兒就愛聽令人愉悅的協和音，不愛聽不協和音（見98頁〈天生愛樂？〉）。交響樂終曲讓人產生感動的震顫，那時大腦裡最活躍的區域，我們吃巧克力、做愛或吸食古柯鹼都會興奮，全是同樣的快樂中樞。

人人愛音樂；音樂有獨特的魅力，專門攪和情緒。為什麼到處都有音樂？為什麼音樂對我們這麼重要？這是個有趣的生物學謎團。難道音樂能增進人類的生存或生殖機會？美國新墨西哥大學的心理學家米勒（Geoffrey F. Miller）就主張，音樂能協助求偶。或者，像英國利物浦大學靈長類行為學家鄧巴（Robin M. Dunbar）

JOHN STEWART

所說的，音樂當初發展出來，是為了促進社會凝聚力，因為人類社群大到一個程度之後，傳統的「理毛」（grooming）手段就不靈光了。另一方面，說不定音樂原先是演化的意外產物，不過碰巧能挑逗我們腦子的幻覺，才造成皆大歡喜的結果，以美國哈佛大學心理學教授平克（Steve Pinker）的話來說，音樂只是「聽覺的乳酪蛋糕」。是耶？非耶？

## 從腦傷的作曲家身上，我們可以發現 大腦並沒有專門負責音樂的中樞， 而且音樂和語言在大腦中是分別處理的。

對這個演化問題，神經科學家還不能拍板下結論。但是最近幾年，我們開始對音樂的神經基礎有比較明確的知識，例如大腦處理音樂訊息的中樞，以及處理的方式。這些知識是回答演化問題的基礎。對腦傷病人的研究，以及利用神經影像學技術研究正常人的大腦，已經產生了一個令人意外的結論：我們的腦子裡沒有專門處理音樂的中樞。音樂涉及許多區域，分佈在整個腦子裡，有些區域通常涉及其他種類的認知活動。而參與處理音樂的區域，也會因個人的經驗與音樂訓練而異。在我們的感官中，耳朵的感覺細胞最少，內耳只有3500個毛細胞，而眼睛有一億個感光細胞。不過，我們對音樂的心理反應卻能與時變化，極為靈活；甚至只要花一點工夫，就能令大腦調整處理音樂訊息的方式。

### 心靈之歌

現代神經影像學技術問世之前，科學家研究大腦處理音樂的機制，主要的線索來自腦傷病人（包括著名的作

曲家），他們因為受傷、中風或是其他疾病，大腦運作出了毛病。舉例來說，法國作曲家拉威爾（Maurice Ravel）自1933年開始出現一些症狀，顯示他的腦子可能正在局部退化（就是腦子某些區域萎縮了）。他的思考能力仍然完整，聽到自己作的曲子都記得，也還能練鋼琴指法，但就是無法作曲。他對友人說起他想寫的歌劇《聖女貞德》：「……這齣歌劇就在這兒，在我的腦子裡。我聽得見它，但是我沒法寫。我完了。我再也不能作曲了。」四年後，拉威爾就過世了。他死前腦子動過手術，但顯然並不成功。拉威爾的病例顯示，大腦也許真的沒有一個專門負責音樂的中樞。

另一位作曲家的遭遇則進一步指出，音樂與語言在大腦中是分別處理的。1953年，俄國作曲家謝巴林（Vissarion Shebalin）中風了，不能說話也聽不懂別人說的話，可是他還能作曲，10年後才過世。這個病例看來證實了音樂與語言各有各的神經基礎。不過，最近的研究結論豐富了我們的理解，這涉及音樂與語言所共有的兩個特徵：兩者皆是傳訊媒介，以及每個都有語法（支配樂音與字詞組合的一套規則）。美國加州聖地牙哥神經科學研究所（NSI）的巴特爾（Aniruddh D. Patel）博士利用神經影像技術，發現大腦額葉有個區域與音樂及語言的語法都有關，大腦其他區域則處理兩者其他的相關面相。

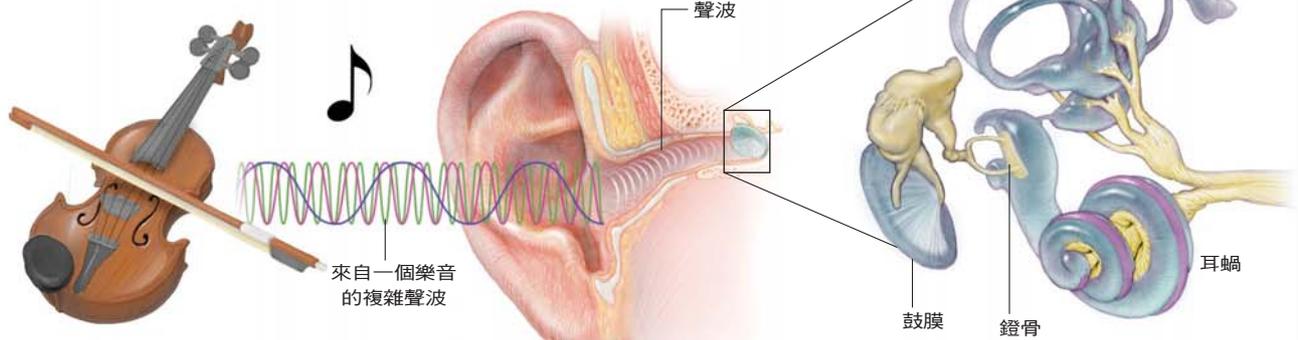
以神經影像技術做的研究，也讓我們更細緻地了解大腦對於音樂的反應。要是我們對耳朵的傳聲機制有些了解（見右頁〈大腦處理音樂的機制〉），更能掌握這些研究結果的意義。聽覺系統與其他的感覺系統一樣，也有個層級組織，由一串神經處理站組成，將聲音從耳朵一直送到最高層的聽覺皮質。內耳的耳蝸是神經系統處理聲音訊息（例如樂音）的起點。耳蝸接收到複雜的聲音，例如小提琴的琴聲，就會將其中的基礎頻率分析出來，然後將這些資訊送入聽神經。聽神經中有許多神經纖維，不同頻率的聲音刺激由不同的纖維傳送。這些神經纖維的神經衝動最後會傳入大腦顳葉的聽覺皮質。大腦聽覺系統的神經元，各有各的最宜反應頻率，相鄰神經元的反應曲線有重疊之處，因此不會有「漏接」的情事。由於聽覺皮質上鄰近的神經元有相近的最宜反應頻率，於是我們能在聽覺皮質表面找出一張頻率分佈圖

### 會聽音樂的大腦

- 自從人類有文化以來，音樂就普遍存在於世上每個社會。我們似乎天生就喜愛音樂；兩個月大的嬰兒就會把頭偏向播放愉悅音樂的一側。
- 腦子有許多處理音樂的區域，無論是知覺面，還是情緒面；腦子也會隨經驗調整功能組織，對重要的音樂訊息做出更強烈的反應。
- 音樂為何那麼動人？音樂對我們有什麼重要？研究腦子如何處理音樂的科學家，正在奠定我們回答這些問題的基礎。

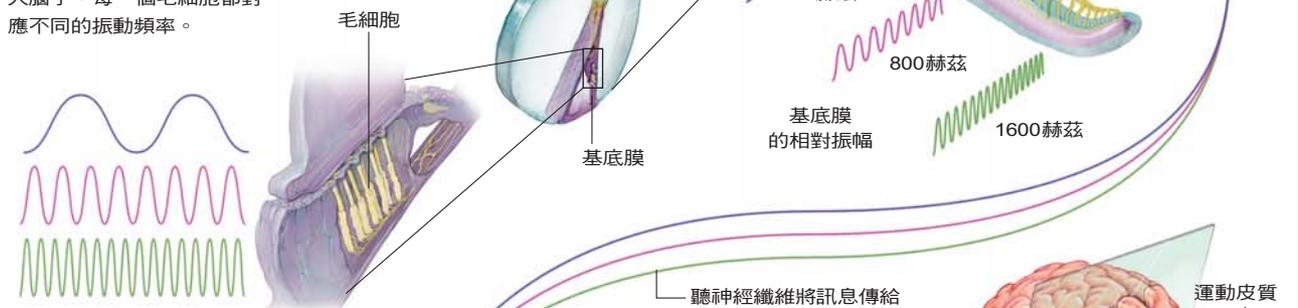
# 大腦處理音樂的機制

我們聽音樂的時候，腦子的反應涉及聽覺皮質以外的許多區域，其中有些通常涉及其他種類的思考過程。視覺、觸覺和情緒經驗都會影響腦子處理音樂的方式。

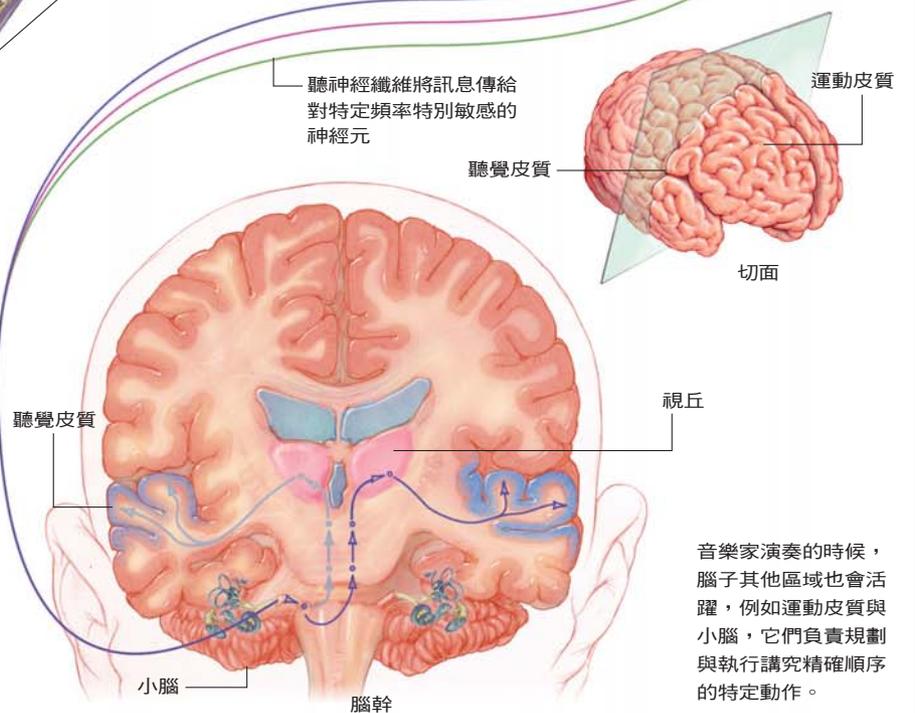


聲波在外耳與中耳轉變成內耳的液波。鐮骨是個與耳蝸相連的微小骨頭，能將鼓膜傳入的震動，傳入耳蝸中的淋巴液。

耳蝸中的基底膜受到淋巴液的壓力而位移，就會刺激基底膜上的毛細胞（聽覺受器）產生神經衝動，由聽神經傳入腦子。每一個毛細胞都對應不同的振動頻率。



腦子有個層級功能組織處理音樂，而且以分散模式處理。在大腦皮質聽覺區中，初級聽覺皮質是第一個處理站，接收耳朵傳來或其他低階聽覺系統經由視丘傳來的訊號，負責音樂知覺的早期階段，例如音高（頻率）與輪廓（音高變化的模式），它們都是樂曲的基礎。初級聽覺皮質會隨經驗而重新定調，對重要的聲音與樂音反應特別靈敏。這種因為學習而重新定調的結果，對後續的處理也會有影響。負責後續處理的區域包括次級聽覺皮質與相關的「聽覺聯合區」（處理比較複雜的音樂模式，例如和聲、曲調以及節奏）。



音樂家演奏的時候，腦子其他區域也會活躍，例如運動皮質與小腦，它們負責規劃與執行講究精確順序的特定動作。

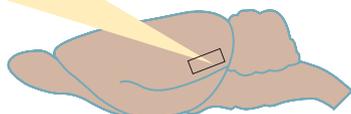
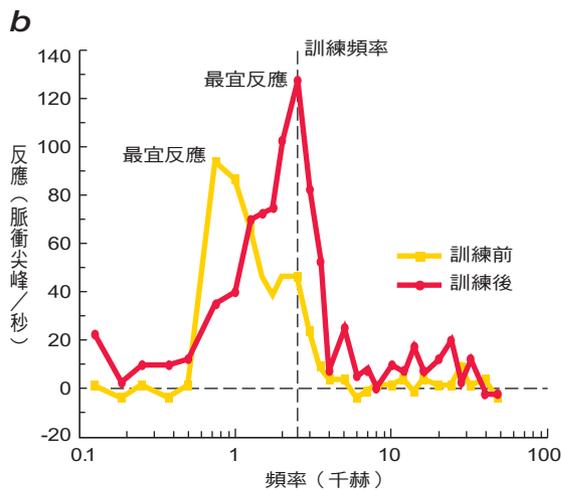
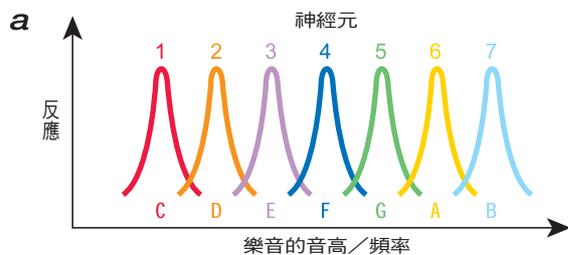
ANDREW SWIFT

(見下方〈將腦子重新定調〉)。

不過，大腦對音樂的反應更複雜些。音樂包括一串樂音，知覺音樂，必須抓住聲音之間的關係。大腦有許多區域分別處理音樂的不同要素。就拿樂音來說吧，它包

## 將腦子重新定調

每個聽覺神經元都有反應偏好，對特定音頻反應得特別熱烈 (a)。要是動物學會某個特定樂音是重要的，神經元的反應模式就會變化 (b)。這種細胞調適能「編輯」大鼠大腦上的頻率分佈圖，使皮質以較大的區域處理一個重要樂音。例如，要是8千赫這個頻率變得重要，負責這個頻率的區域就會變大 (c)。



括頻率與響度兩個要素。有一度學者懷疑，已經針對特定頻率調出最宜反應模式的神經元，只要偵測到那個頻率，就會以同樣的方式反應，不會改變。

但是到了1980年代末，麥肯納 (Thomas M. McKenna) 在我的實驗室 (美國加州大學爾灣分校) 與我一齊研究「輪廓」，我們開始質疑這個傳統看法。所謂輪廓是指音高 (pitch) 起伏的模式，那是所有旋律的基礎。我們以五個樂音創作輪廓不同的旋律，然後觀察貓聽覺皮質上某個神經元的反應。我們發現，神經元的反應隨旋律的輪廓而變化：神經元對特定樂音的反應，隨那個樂音在旋律中的位置而變。同樣的樂音，要是前面有其他樂音，神經元也許反應得特別熱烈；如果它是第一個樂音，反應就頗為冷淡。還有，同樣的樂音要是出現在上升輪廓中，神經元的反應與它出現在下降輪廓中或其他複雜輪廓中也不同。這些發現證明，旋律的組成模式大有關係：聽覺系統處理聲音的方式，與電話或音響系統不同，它們只是單純地傳送聲音罷了。

大多數的研究以旋律為主，但是研究節奏 (樂音的相對長度與間隔)、和聲 (同時出現的樂音間的關係) 以及音色 (兩個樂器演奏同一個樂音時的聲音差異) 都得到了有意思的結果。科學家研究節奏，發現兩個大腦半球涉入的程度不同，至於哪個半球涉入較深，不同的研究團隊得出不同的結論。因為不同的作業 (甚至不同的節奏刺激) 可能必須動用不同的處理模式。舉例來說，左顳葉似乎處理的是比較短的刺激，因此讓受試者收聽比較短的音樂，要求他分辨節奏，就會發現他的左顳葉比較活躍。

在和聲方面，情況就比較清晰。科學家讓受試者專注於和聲，以神經影像技術觀察他們的大腦皮質，發現右顳葉的聽覺區比較活躍。右顳葉也偏重處理音色。動過右顳葉切除手術的病人，會難以分辨音色，切除左顳葉的病人就不會。此外，正常人在分辨音色的時候，右顳葉就會活躍。

大腦的反應也與聽者的經驗與訓練有關。即使一點點訓練都能很快改變大腦的反應。舉例來說，直到10年前，科學家還相信聽覺皮質的每個神經元一旦「定音」，就不再變了。不過，我們研究輪廓的結果，使我們懷疑神經元即使「定音」之後，也許還能改變。也就是說，在學習過程中，有些神經元會對它們注意到而且記住的聲音變得格外敏感。

為了證實這個想法，巴金（Jon S. Bakin）、埃德林（Jean-Marc Edeline）與我在1990年代做了一系列實驗。我們想知道，要是受試者經過學習而知道某個樂音非常重要，聽覺皮質的基本組織會不會變化？我們以天竺鼠做實驗，先讓牠們聽許多不同的樂音，並記錄聽覺皮質不同神經元的反應，找出最能激發強烈反應的樂音。然後，我們選一個不會激發強烈反應的樂音，讓它成為腳遭到輕微電擊的前兆。只消幾分鐘，天竺鼠就學會了這個「樂音－電擊」關聯。接著，我們再度觀察聽覺皮質神經元的反應——訓練之後立即就做，隔些時候再做，直到訓練後兩個月為止。結果，神經元的「定音」改變了，前兆樂音才會引發強烈的反應，與原先的最宜頻率不同。可見學習會令大腦重新定音，使更多神經元對必須採取行動的聲音做出最宜反應。這個細胞調整的過程會向外延伸，「編輯」皮質的頻率分佈圖，讓更大的皮質區域處理重要的樂音。想知道哪些頻率對動物很重要，只消找出牠聽覺皮質的頻率組織就成了（見左頁〈將腦子重新定調〉）。

重新定音的效果相當持久，毋需更多訓練就會增強，幾個月都不消褪。這些發現開創了一個研究方向，更多研究團隊加入之後，發現大腦儲存學習結果的方式之一，是投入更多神經元處理那個學得的刺激。我們不能以人做同樣的實驗，但是利用神經影像技術做研究，能在大腦皮質各個區域偵測到幾千個神經元平均反應幅度的變化。英國倫敦大學神經心理學教授杜蘭（Ray Dolan）的團隊，訓練人類受試者從事類似的作業，讓他們學會某個特定樂音是重要的。1998年，他們發表報告指出，學習也能在人類大腦造成同樣的定音變化。我們在嘈雜的房間裡，很快就能辨認一個熟悉的旋律；罹患神經退化疾病的人，例如阿茲海默症患者，即使記憶喪失得厲害，仍然記得過去學過的音樂。這些現象也許都可以用「學習（重新定音）的長期效果」來解釋。

即使我們沒有聽見聲音，仍然可以回憶一首音樂，像是正在聆聽似的。挑一首你知道的曲子，在腦袋裡放出來，任何一首都成。這首音樂正在腦子的哪個地方播放？美國巴克內爾大學心理學教授郝普恩（Andrea R. Halpern）與加拿大馬吉爾大學蒙特婁神經學研究所教授扎佐（Robert J. Zatorre）研究過這個問題。他們找

來做實驗的人都不是音樂家。在受試者聆聽音樂或想像自己正在聽同一首曲子的時候，以正子斷層掃描儀觀察他們大腦的活動。1999年，他們發表報告指出，顳葉有許多區域不但在聆聽音樂的時候活動得熱烈，想像音樂時也會熱烈活動。

## 音樂家的大腦

對音樂家做的研究，將前面報導的許多結論擴張了，以令人印象深刻的方式證實：大腦為了處理音樂訊息，能夠修改自己的佈線模式。前面提過，輕微的訓練就能增加反應神經元的數量，長期訓練能使大腦更為熱烈地反應，甚至發生實質上的改變。音樂家就是證據。通常他們每天都要練上許多小時，數年不斷，結果他們對音樂的反應與一般人不同；而他們大腦的某些區域，變得特別發達。

## 音樂的各面相由大腦不同部位處理， 右顳葉偏重處理和聲以及音色， 左顳葉則處理較短的節奏刺激。

1998年，潘特夫（Christo Pantev）還在德國的蒙斯特大學，他的團隊發表了一篇報告，指出音樂家聆聽鋼琴演奏的時候，左半球聽覺區熱烈活動的區域比一般人大了25%；但只有音樂樂音才能引起這種反應，非音樂的聲音就不成。他們還發現，越早學音樂的人，對音樂反應的區域越大。對兒童做的研究顯示，早期的音樂經驗也許能促進大腦發育。加拿大安大略省麥克馬斯特大學的夏茵（Antoine Shahin）、羅伯茲（Larry E. Roberts）和特雷納（Laurel J. Trainor）以四、五歲的兒童做實驗，研究他們的大腦對鋼琴音、小提琴音和純音的反應。2004年，他們指出，在家裡接觸音樂較多的孩子，大腦聽覺區的活動比較強，沒接觸過那麼多音樂的孩子，必須年長三歲才會那麼強。

音樂家對聲音的反應比較強烈，部份原因是他們的聽

### 關於作者

溫柏格在美國凱斯西儲大學取得實驗心理學博士學位，現任加州大學爾灣分校神經生物學與行為學系教授。他在加州大學爾灣分校參與創設了學習與記憶神經生物學中心，以及音樂與科學資訊數位典藏中心（MuSICA）。溫柏格是研究聽覺系統的學習與記憶功能的先鋒人物，現在參與《學習與記憶的神經生物學》、《音樂知覺》兩份學術期刊的編輯。

## 天生愛樂？

許多人認為自己對音樂不怎麼在行，但事實上，我們天生就對音樂有某種程度的敏感。只要觀察任何一個嬰兒，都可以發現人的腦子與音樂有不解之緣：嬰兒在學會說話之前，就對音樂有明顯的反應能力。父母或其他成人與嬰兒溝通，會本能地運用音樂性強的說話方式，例如誇張的抑揚頓挫以及類似曲調的片語，也許就是這個原因。在所有人類社群中，成人都是以這種「兒語」對嬰兒說話（請參見2004年8月號〈新聞掃描：從「兒語」開始〉）。

嬰兒除了對「兒語」積極反應，還似乎會鼓勵母親以「兒語」對他們說話。1999年，加拿大多倫多約克大學的鮑克威爾（Laura-Lee Balkwill）與湯普森（William F. Thompson）發表了一篇研究報告，指出北美西方社群與東方印度社群的母親，無論嬰兒在不在身邊，都對嬰兒唱同樣的歌。但是其他人光聽錄音，就能



判斷嬰兒是不是在母親身邊。他們同時證明，至少有些音樂表現方式，所有人類社群都使用，因為即使說不同語言的人聽了錄音，也分得出來。

既然嬰兒還不會說話，我們怎麼知道他們會聽音樂呢？我們用客觀的判準衡量他們的行為。舉例來說，先讓嬰兒坐在媽媽的大腿上。在他兩側各放一隻音響喇叭，旁邊各有一個透明盒。通常盒子是暗的，但是嬰兒一旦把頭轉向盒子的方向，盒子裡的燈就亮了，而且裡面的玩偶（小狗或猴子）也會動起來。實驗的時候，研究

人員先在嬰兒面前以玩偶或其他東西吸引嬰兒注意，同時，一隻喇叭重複播放一個樂音或一段旋律。實驗人員會隨機按下一個按鈕，以改變刺激。要是嬰兒注意到音樂刺激變了，轉頭去看那隻喇叭，就會受到「獎勵」：喇叭旁的盒子會亮起來，裡面還有會動的玩偶。

研究人員發現，嬰兒像成人一樣，能分辨前後有異的樂音。他們也能察覺拍子與節奏的變化。同一首曲子以不同的調子演奏，他們也知道。加拿大多倫多大學心理系教授闕哈布（Sandra Trehub）最近發現，2~6個月大的嬰兒偏好協和音而不愛非協和音，印證了前述的實驗。不過，孩子似乎早在出生之前就開始學習音樂了。北愛爾蘭貝爾法斯特女王大學心理系教授赫柏（Peter Hepper）發現，胎兒在出生前兩個星期，就能分辨母親每天看的電視節目主題曲與從未聽過的音樂。

覺皮質面積比較大。2002年，德國海德堡大學史奈德（Peter Schneider）所領導的團隊發表報告指出，音樂家的聽覺皮質體積是一般人的1.3倍。聽覺皮質體積增加的幅度與音樂家接受訓練的程度有關，也就是說，學習音樂會使處理音樂的神經元數量增加，練得越多，增加得越多。

此外，使用手指彈奏樂器的音樂家，大腦控制演奏手指的區域較大。1995年，德國康士坦茲大學的埃爾伯特（Thomas Elbert）團隊發表報告指出，小提琴家的大腦中，接收左手食指到小指觸覺訊息的區域比較大（那幾根手指在演奏時必須迅速而複雜地移動）。相對地，接收右手訊息的大腦皮質區域並沒有擴大，因為右手只拉弓，手指不需要做特殊的動作。一般人就沒有這種差異。還有，2001年，現在已轉到加拿大多倫多大學羅特曼研究所的潘特夫指出，職業喇叭手的大腦只對喇叭樂聲熱烈反應，對其他聲音的反應都不熱烈，即使是小提琴音也罷。

音樂家還必須發展使用雙手的本領，特別是演奏鍵盤的音樂家。因此，我們會預期，大腦左、右半球運動區的協調呼應有解剖學基礎。果不其然。聯繫大腦左、右半球的神經束叫做胼胝體，連絡左、右運動區的神經纖維位於胼胝體前端。音樂家的胼胝體前端較一般人大，且越早學音樂的人增加幅度越大。其他研究也指出，音樂家的運動皮質與小腦（運動協調機構）都比較大。

### 音樂與情緒

科學家除了研究大腦如何處理音樂的聽覺訊號，對音樂如何激發強烈的情緒反應也非常感興趣。在這個研究方向上，英國基爾大學的斯洛波達（John A. Sloboda）是先鋒。1991年，他發表問卷調查報告，指出有八成受訪者表示音樂會引發身體反應，包括顫抖、大笑與流淚。1995年，美國俄亥俄州立布林格陵大學傑出研究教授潘克沙普（Jaak Panksepp）發表調查報告，在幾百名回答問卷的年輕人當中，有七成表示他們喜愛音樂

是「因為音樂能引發情緒與情感」。1997年，美國康乃爾大學認知心理學教授昆曼索（Carol L. Krumhansl）發表了一份研究報告，為上述兩份調查結果添上了血肉。昆曼索的團隊播放代表快樂、悲傷、恐懼和緊張的音樂給受測者聽，同時測量他們的心搏、血壓、呼吸及其他生理指標。結果，每一種音樂類型都能引發不同的生理變化，而且眾人有一致的反應模式。

直到最近，科學家對這些反應的大腦機制幾乎一無所知。但是，有一位代號 I. R. 的女性病人，倒提供了一條線索。I. R. 由於切除動脈瘤，兩個大腦半球上的顳葉（包括聽覺皮質）都給破壞了。她的智力與記憶力都正常，也沒有失語症症狀，但就是辨認不出任何音樂，無論是過去熟悉得不得了的音樂，還是反覆聆聽過的新鮮音樂。兩個不同的旋律，無論有多大差異，她都無法



還有胼胝體下面的部份區域。相對地，不協和和絃啟動了右半球海馬旁回（parahippocampal gyrus）。因此，大腦在處理與音樂有關的情緒時，至少有兩個系統可用，分別處理不同類別的情緒。至於聽覺系統的不同活動模式與這兩套反應區域的關聯，還有待研究。

2001年，布勒德與扎佗另外發表了一篇論文，為音樂引發愉悅感的機制提供進一步的線索。他們在音樂家聆聽音樂，陶醉其中時，以儀器掃描他們的腦子，發現音樂啟動的區域，有些是食物、性或成癮藥物都會刺激的同一個報償系統。

大致說來，到目前為止，科學家發現的證據顯示：一、音樂有生物基礎；二、腦子裡有個處理音樂的功能組織。即使現在研究還處於草創階段，我們似乎已有理由相信，音樂有許多面相，許多大腦區域參與處理特定

這是從法國一處遺址出土的骨笛，最晚也是3萬2000年前的遺物。它證實了人類從文明草創，就會演奏音樂。

分辨。然而，她對不同類型的音樂仍有正常的情緒反應；她能察覺音樂傳遞的情緒。由這個病例，我們知道顳葉是了解旋律不可或缺的組織，而產生情緒反應則不需顳葉；情緒依賴皮質下構造，也涉及額葉。

為了弄清楚大腦對音樂產生情緒反應的區域，加拿大馬吉爾大學的布勒德（Anne Blood）與扎佗以神經影像學技術做了一個實驗，並在2001年發表研究結果。這個研究利用溫和的情緒刺激，也就是測量人對協和音程與不協和音程的反應。一段協和的音程，通常是由頻率可以形成簡單比例的樂音組成。例如頻率約260赫茲的中央C音與約390赫茲的中央G音，頻率比是2:3，要是同時彈奏，就組成令人愉悅的「完全音程」。相對來說，中央C音與升半音C（大約277赫茲）的比例很「複雜」，大約等於8:9，同時彈奏就會令人不舒服。

這種情緒經驗的大腦機制是什麼？受試者聆聽協和和絃與不協和和絃時，以正子斷層掃描技術得到的結果是，不同的大腦區域參與了不同的情緒反應。協和和絃啟動了右半球額葉眼眶面皮質（報償系統的一部份），

面相的資訊，無論是知性（例如理解一個旋律），還是感性。音樂家似乎另有特別本領，具體地說，他們有些大腦結構會過度發育。這些結果證明：學習能令大腦重新定音，不但加強神經元的反應，還會增加對特定聲音強烈反應的神經元數量。對音樂與大腦的研究會繼續發展，我們可以預言，我們不但會對音樂及音樂存在的理由有更廣的理解，還會發現音樂究竟有多少面相。 SA

王道還 中央研究院史語所助理研究員，專長為生物人類學，著有《天人之際》。

#### 延伸閱讀

1. **The Origins of Music.** Edited by Nils L. Wallin, Björn Merker and Steven Brown. MIT Press, 1999.
2. **The Psychology of Music.** Second edition. Edited by Diana Deutsch. Academic Press, 1999.
3. **Music and Emotion: Theory and Research.** Edited by Patrik N. Juslin and John A. Sloboda. Oxford University Press, 2001.
4. **The Cognitive Neuroscience of Music.** Edited by Isabelle Peretz and Robert J. Zatorre. Oxford University Press, 2003.