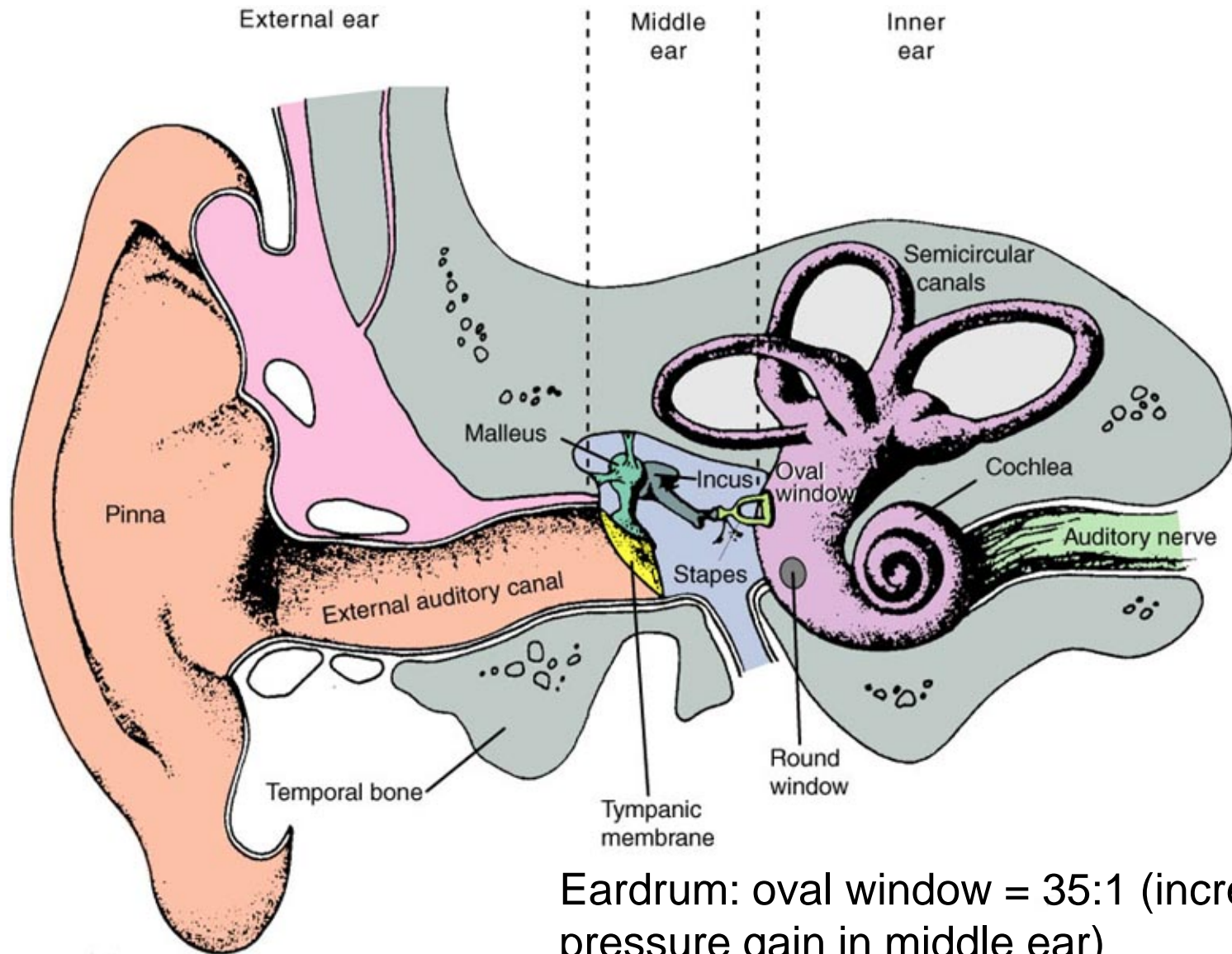


感覺&知覺 III

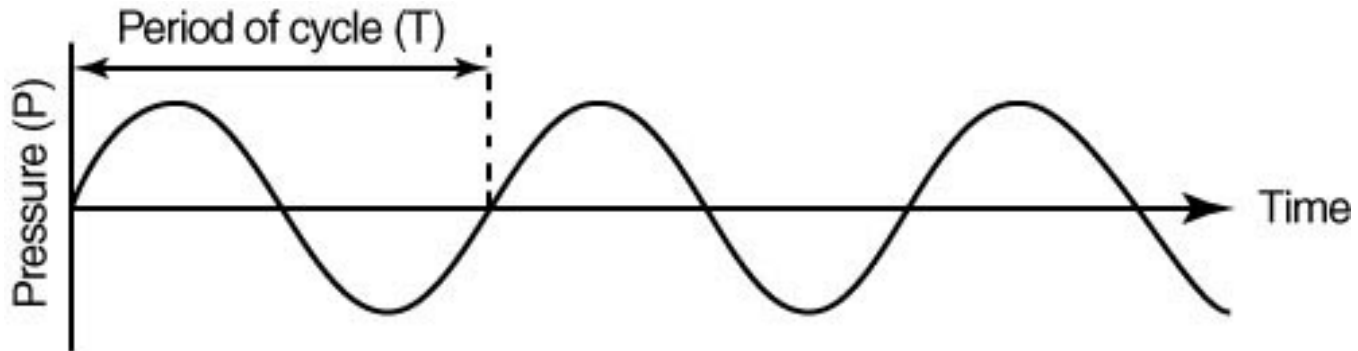
聽覺與平衡覺

The auditory periphery within the human head



Eardrum: oval window = 35:1 (increase pressure gain in middle ear)

Sound pressure as a function of time for the sinusoidal pressure of a pure tone



$$f = 1/T$$

f: Frequency in Hz

T: Period in seconds

$$\text{SPL} = 20 \log(P/P_{\text{ref}})$$

SPL : Sound pressure level

P : Pressure in μPa

P_{ref} : 20 μPa

Copyright © 2002, Elsevier Science (USA). All rights reserved.

The threshold of human hearing is about 0 dB (the amplitude of air particle movements are about 0.01 μm in extent).

The upper limit of human hearing is about 120 dB.

Human are sensitive between 20 Hz and 20,000 Hz (most sensitive 1-4 kHz).

Decibels

Decibels are defined as a logarithmic unit of sound intensity. Mathematically a decibel (dB) is defined as:

$$10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

Where P1 and P2 are powers in Watts. Decibels can also be calculated using amplitudes. The above equation becomes:

$$10 \log_{10} \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{A_1}{A_2} \right)$$

Where A1 and A2 are amplitudes.

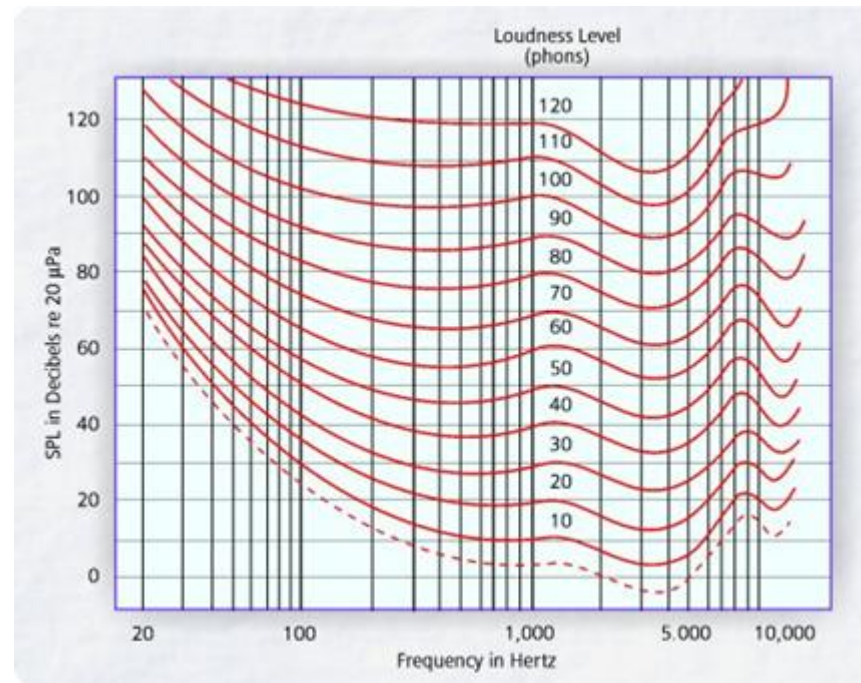
In the first demonstration, [track 1](#), we hear a 440 Hz tone (A4 on the musical scale). The tone is then reduced in 1 dB steps. On [tracks 2](#) the tone is reduced in steps of 3 dB.

Intensity vs. Loudness

Intensity





$$\text{SPL (dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_{\text{ref}}} \right)$$

Loudness



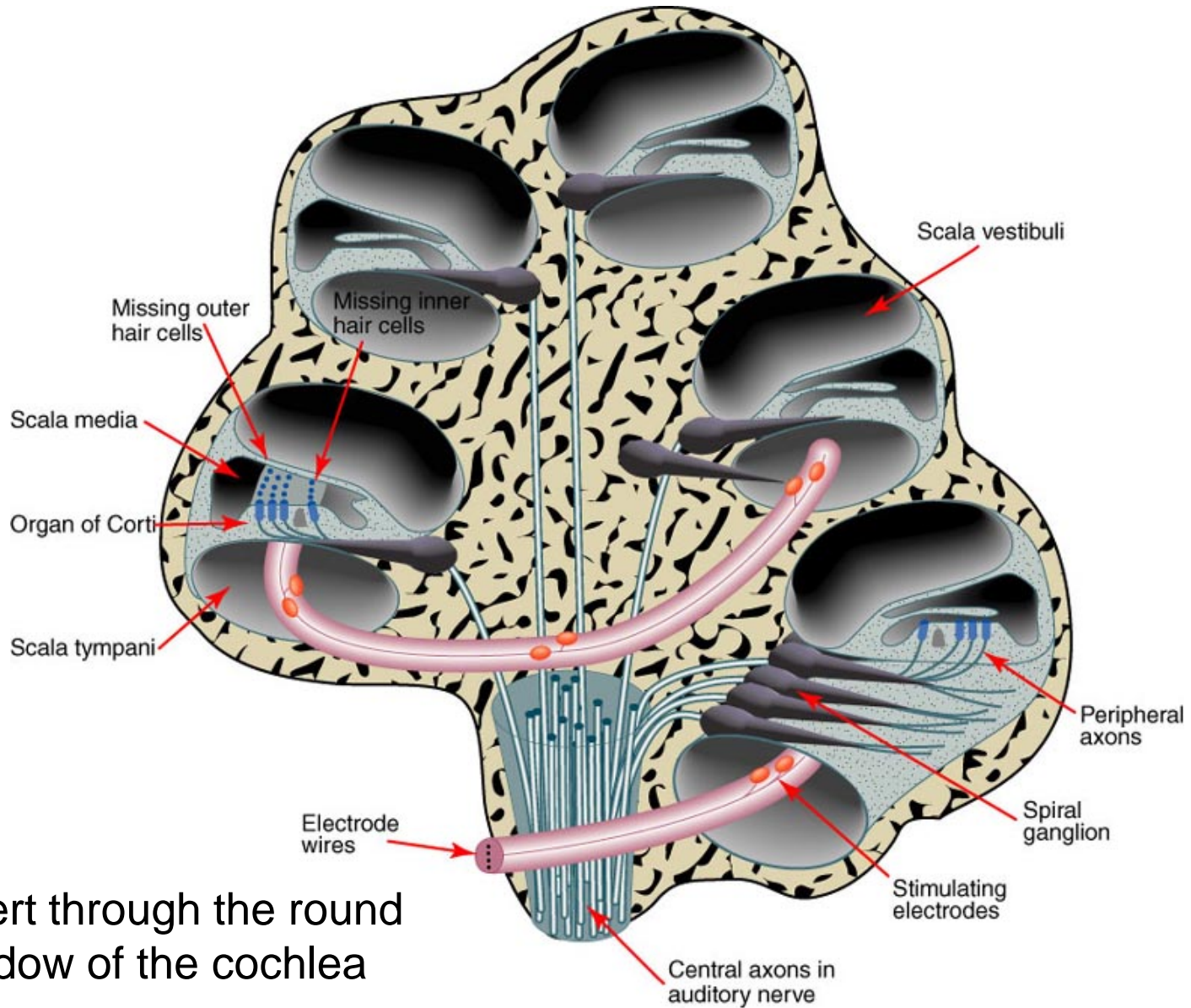
To illustrate the relationship between intensity and loudness based on the Fletcher-Munson curves, a demonstration was created that plays various frequencies at a constant SPL. [Track 1](#) shows that the perceived loudness of tones varies at equal sound intensity.

高音頻手機鈴聲 「老」師聽不見

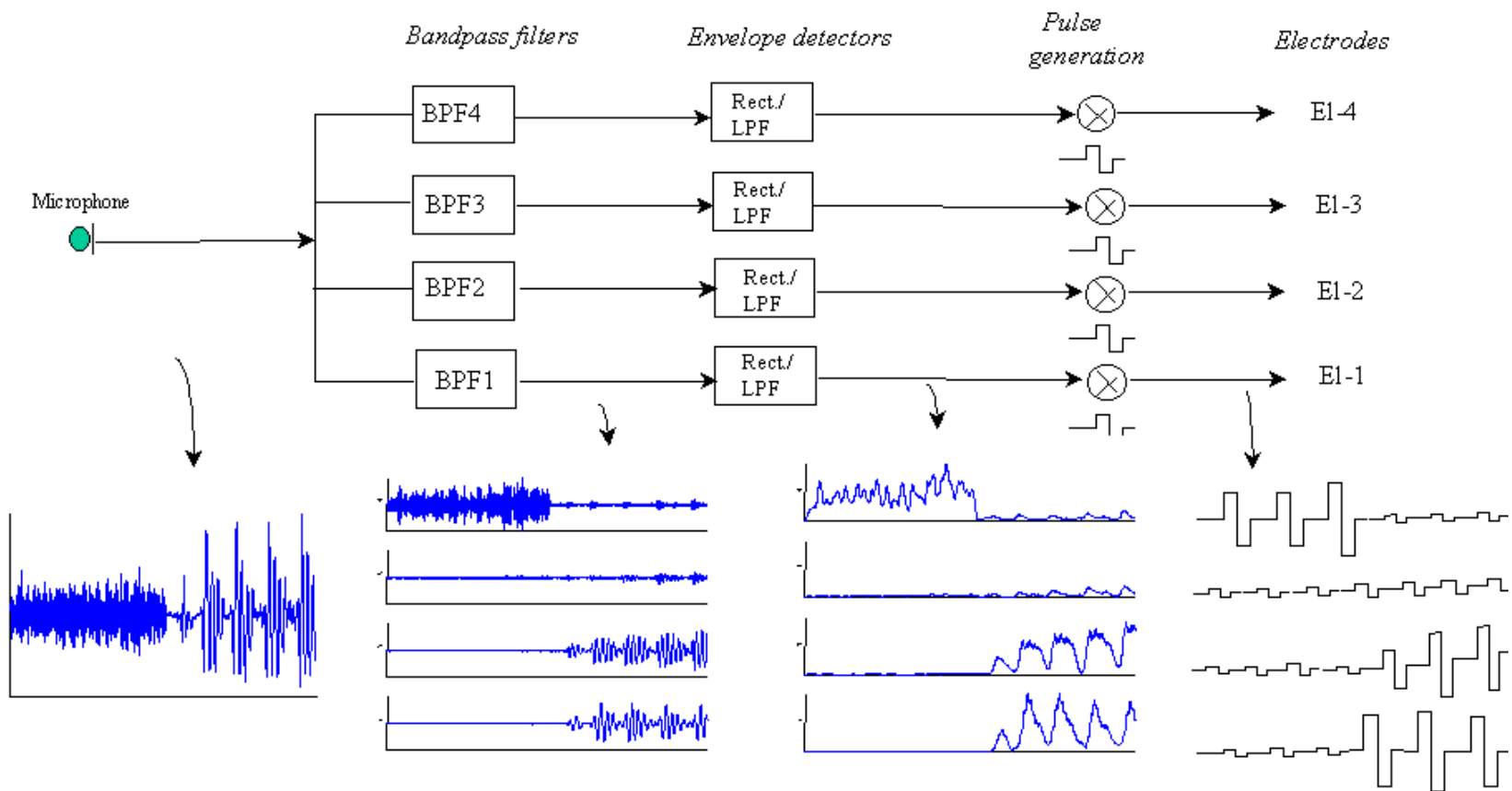
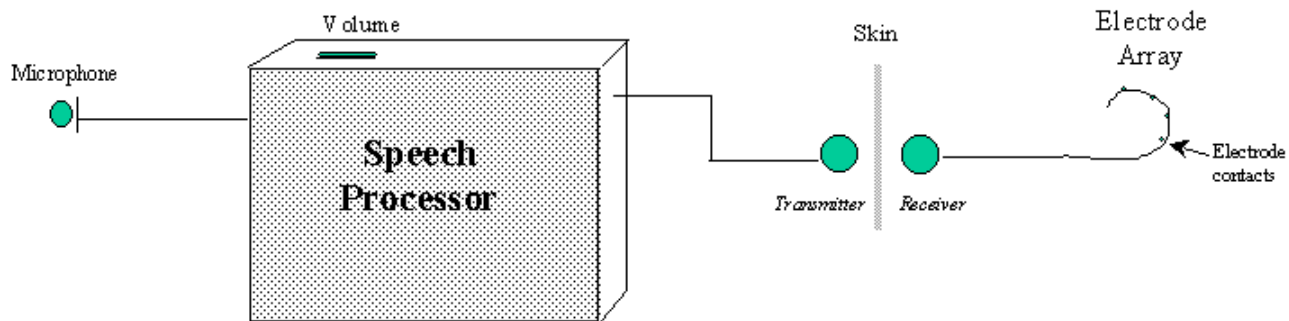
Frequency	Age group	
 8 kHz	Everyone	
10 kHz	Below 60 years	
12 kHz	Below 50 years	
14 kHz	Below 45 years	
 15 kHz	Below 40 years	
16 kHz	Below 24 years	
 17.4 kHz	Below 24 years	Mosquito ringtone
18 kHz	Below 24 years	
19 kHz	Below 24 years	
20 kHz	Below 24 years	
21 kHz	Below 20 years	
 22 kHz	Below 20 years	

<http://www.teenbuzz.org/>

Cochlear implant



Insert through the round window of the cochlea

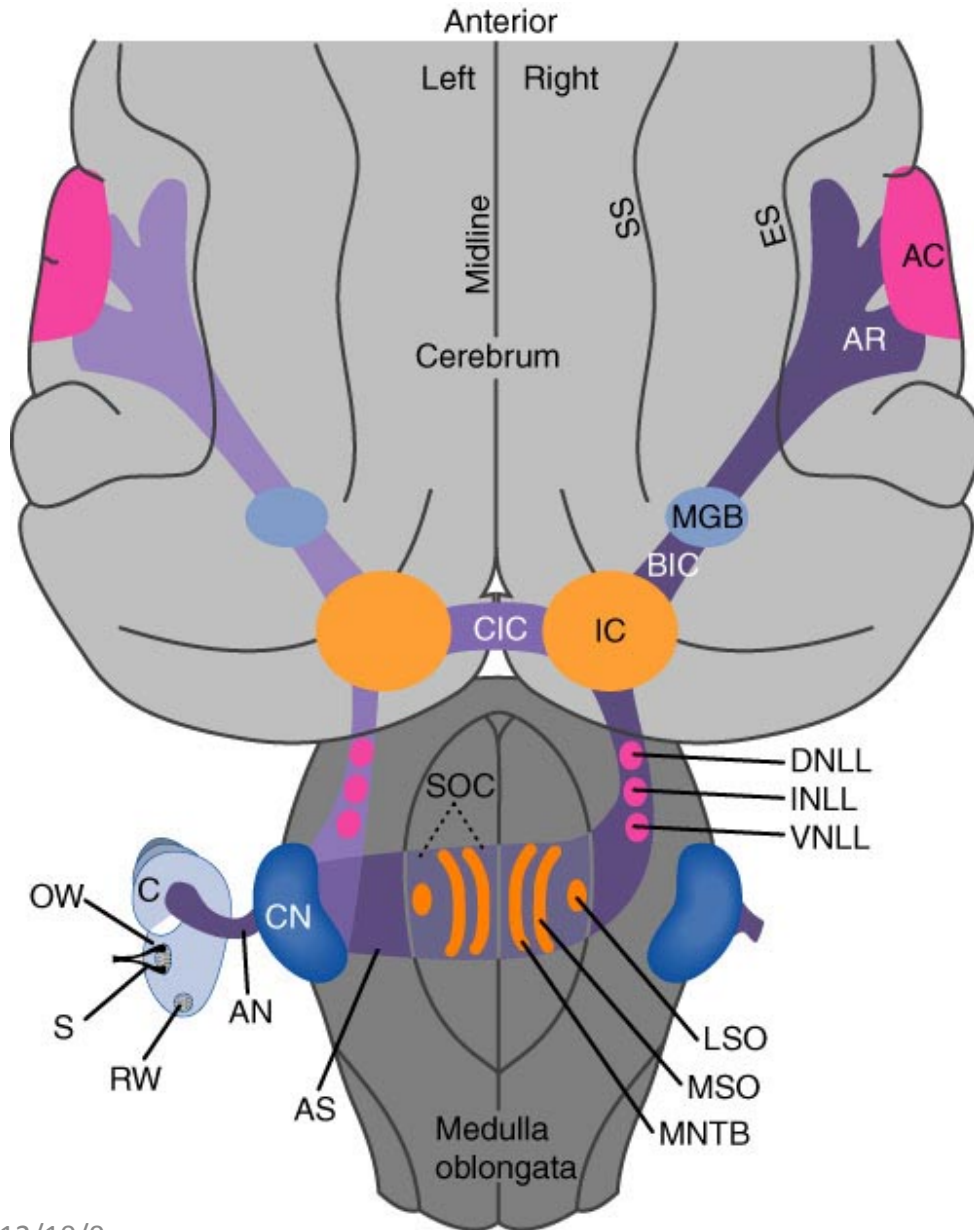


Sine-wave simulations

# of Channels	Processed speech	Original speech
1	<u>1-channel simulation</u>	<u>Original sentence</u>
2	<u>2-channel simulation</u>	<u>Original sentence</u>
4	<u>4-channel simulation</u>	<u>Original sentence</u>
6	<u>6-channel simulation</u>	<u>Original sentence</u>
8	<u>8-channel simulation</u>	<u>Original sentence</u>

<http://www.utdallas.edu/~loizou/cimplants/cdemos.htm>

Ascending pathway of auditory system



Cochlea

Cochlear nucleus

Superior olivary complex

Nuclei of the lateral lemniscus

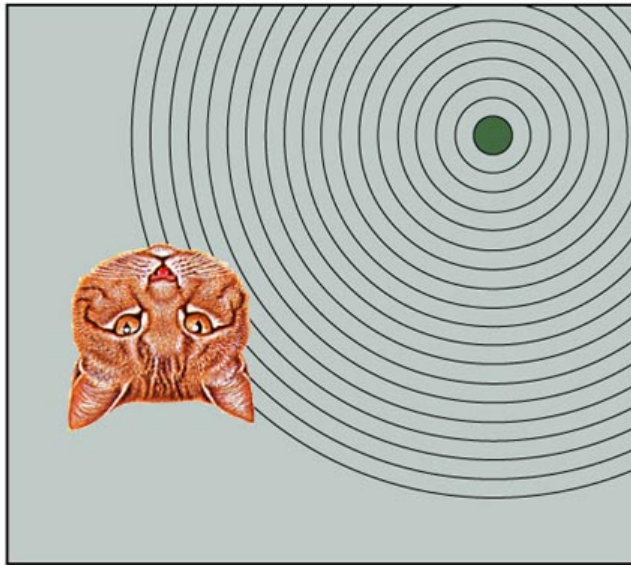
Inferior colliculus

Medial geniculate body

Auditory cortex

A

Interaural time differences



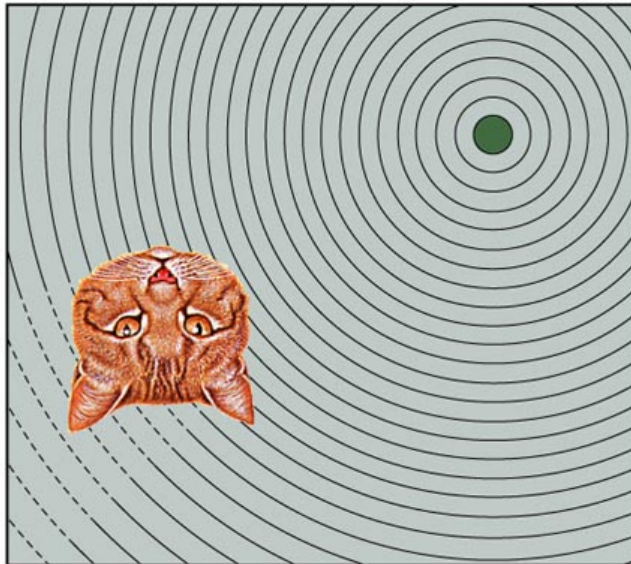
ITD results from the longer time it takes sound to travel from the source to the ear away from the source.

Good for low frequencies (<1 kHz)

In human, we are somewhat less accurate at the middle frequencies.

B

Interaural level differences




Minimum discrimination angle is one degree of azimuth (10 μ s in ITD or 1 dB in ILD)

ILD results from the head forming a “sound shadow”, reducing the level of sound at the ear away from the source.

Good for high frequencies (>3 kHz)

人類的「聽聲辨人」能力很差
BBC Human Senses



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。

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。

大腦【神經科學】 怎麼聽音樂？

撰文／溫柏格 (Norman M. Weinberger)
翻譯／王道遠

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

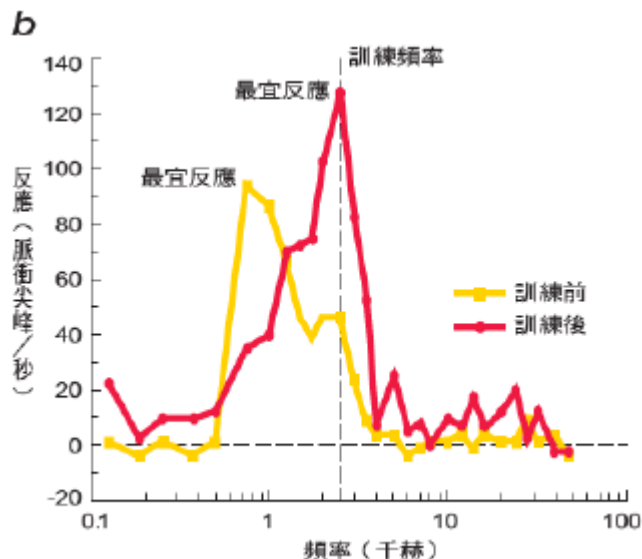
另一位作曲家的遭遇則進一步指出，音樂與語言在大腦中是分別處理的。1953年，俄國作曲家謝巴林 (Vissarion Shebalin) 中風了，不能說話也聽不懂別人說的話，可是他還能作曲，10年後才過世。這個病例看來證實了音樂與語言各有各的神經基礎。不過，最近

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。

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。

將腦子重新定調



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。

音樂與情緒

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。

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那個報償系統。

演唱會的聲音魔力
BBC Human Senses

關於音樂感知的神奇個案

1 天打雷劈

席可瑞遭到雷擊，大難不死。就在他的生活似乎恢復正常兩、三天後，最驚異的事才要開始——他突然有股強烈的渴望，想要聽鋼琴樂聲。

4 心靈唱盤

父親口袋裡總擺著兩三本管絃樂袖珍總譜，在看病人的空檔翻閱，樂曲就自動在心中演奏。用不著把唱片放進唱機，他就能好生享受這無聲的音樂。

5 腦蟲入侵

電影或電視劇主題曲，還有廣告，常常都有餘音繞樑三日不絕的魔力，這種在我們的腦海中縈繞不去的旋律就叫「腦蟲」。

9 爸爸打噴嚏的音是G

十九世紀的牛津音樂教授歐斯雷爵士音感絕佳，他在五歲的時候說：爸爸打噴嚏的音是G，風吹的音是D，家裡的鐘噹噹響的那兩個音是B調……

12 腦袋裝了兩千齣歌劇的人

馬丁記得兩千齣以上的歌劇以及全部的清唱劇，這種音樂天分實在教人嘆為觀止，然而除去音樂，他的腦袋幾乎空無一物。

28 音樂小精靈

葛蘿莉亞擁有女高音的美妙嗓音，會唱兩千首左右的曲子……可是她不會「五加三」，也無法獨立生活，就像大多數的威廉斯氏症患者。

「平衡感」需要內耳、本體感覺、視覺
BBC Human Senses

為什麼會暈車？

暈車、暈船或暈機幾乎是現代人不可避免的困擾，這種另類的「現代病」其來有自。

撰文／龐中培

動暈症的症狀除了頭暈外，還包括噁心、嘔吐，原因目前還不清楚。最廣為接受的理論是這樣的衝突啟動了身體對抗神經毒的機制，控制這個機制的中樞是腦中的最後區（area postrema），這個區域負責解決視覺與平衡的衝突，同時也負責在身體有毒素進入時引發嘔吐。坐車時，視線往往落在車廂中，車廂和身體移動的方向與速度是相同的，所以就視覺而言，身體是靜止的，但是這個時候前庭系統卻一直傳出身體在劇烈移動的訊息，這樣衝突使得最後區做出解釋：其中一個是幻覺，而這個幻覺應該是吃了什麼不乾淨的東西造成的，因此腦下達嘔吐的命令，好吐出有毒的東西。

這個理論可以解釋許多動暈症的現象。例如沒有吃飽時比較不容易暈車，因為消化系統給腦的訊息是：不，沒有吃東西；坐在窗戶邊看著遠方比較不容易暈車，這樣視覺與平衡感覺比較一致；在車上看書更容易暈車，是因為這時視覺更集中在固定的範圍中；開車的人通常不會暈車，因為駕駛接受的視覺訊息和身體的移動是一致的，同時也能預期移動的方向。

2010.05

為「動暈症」（motion sickness），是平衡感覺與視覺衝突造成的。為了維持身體的平衡，腦部必須不斷收集來自視覺、肢體感覺與內耳平衡感覺的訊息，並且加以整合。這些來自不同地方的感覺無法協調時，就容易產生暈眩，尤其是在運動中又突然有劇烈的搖動，更容易加重症狀。另



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

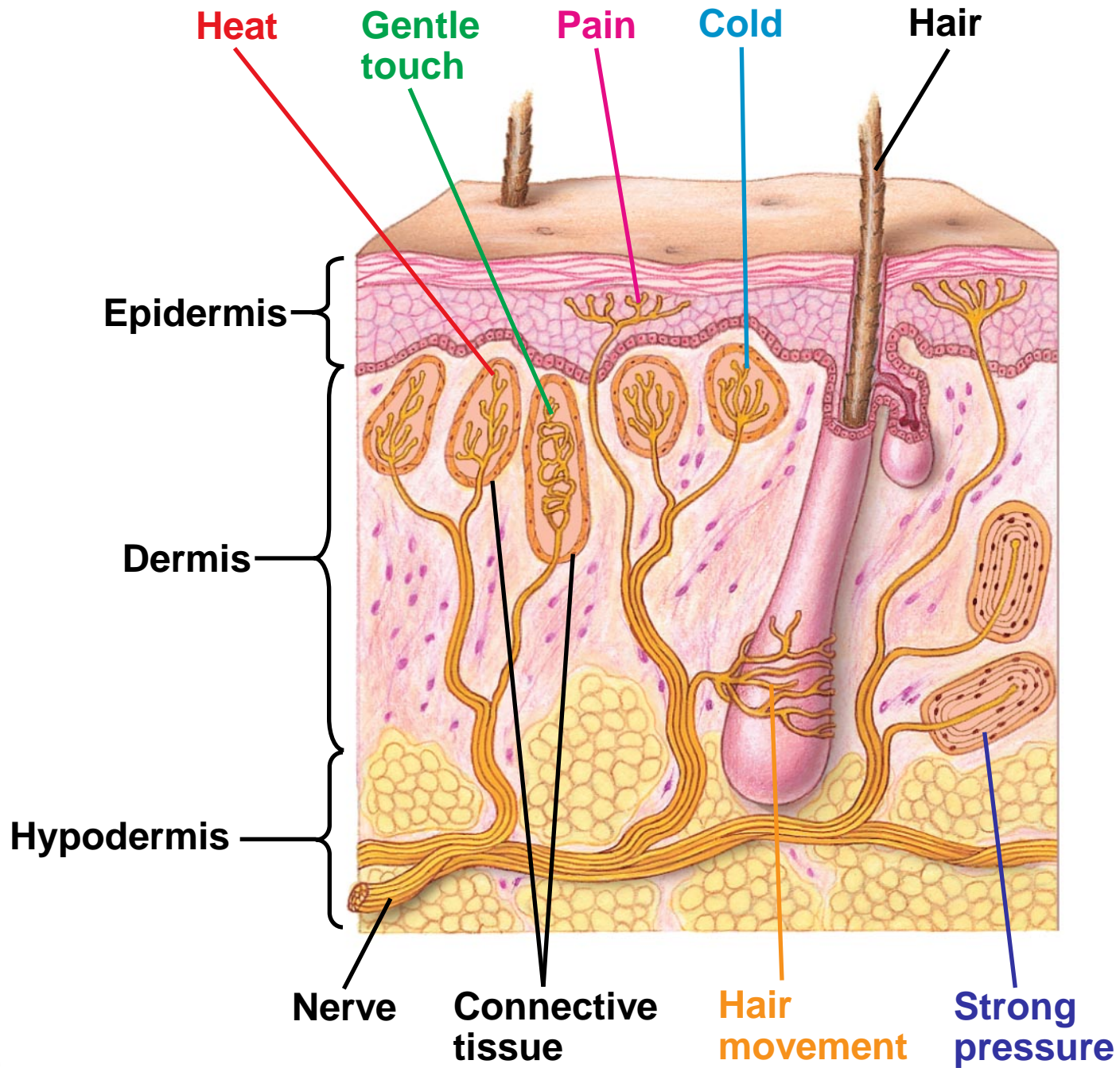
保持直立與平穩

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。

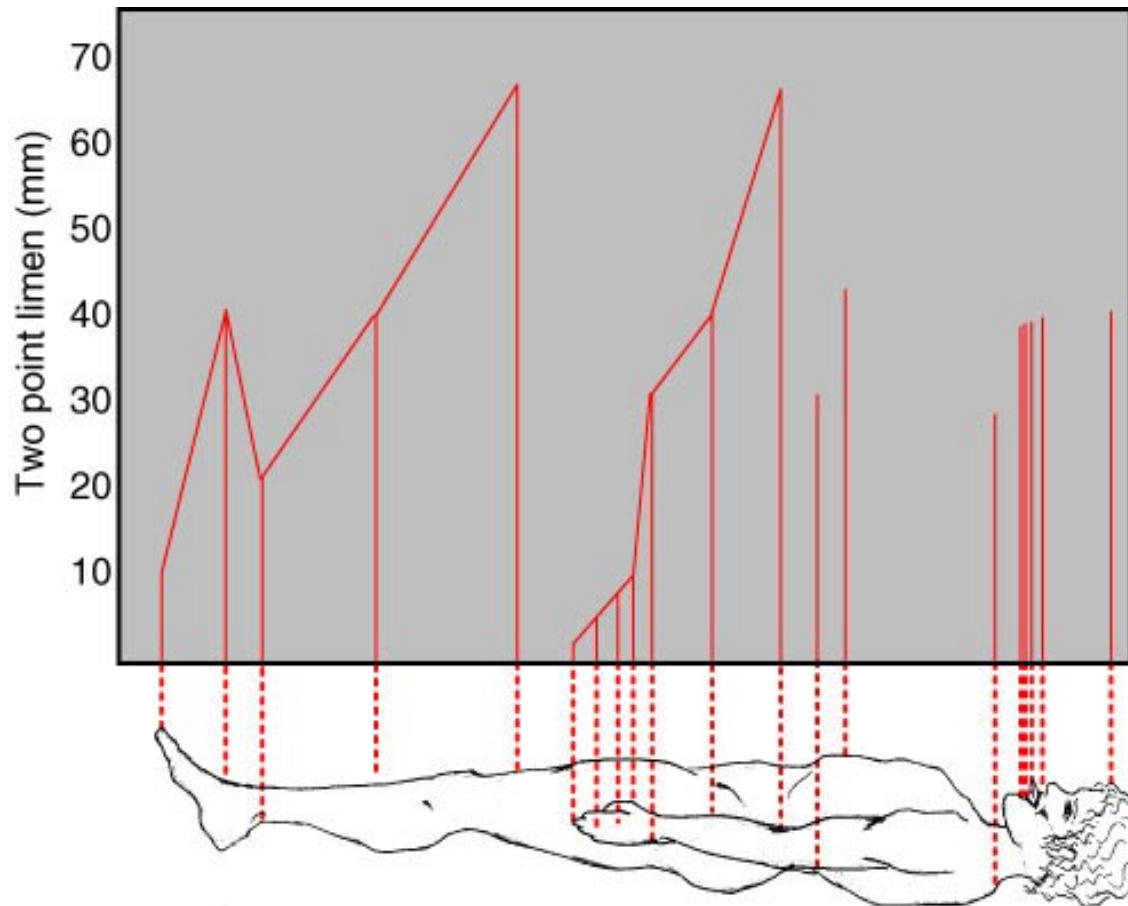


它包含一個極小型的微機電陀螺儀來測量頭部在三維空間的轉動，其微處理器則能將訊號送到電極來刺激前庭神經的三個分支。25年來已經有超過12萬名失聰患者在耳蝸中植入人工電子耳的電極，它在電子學與感應科技的發展經驗，能做為新一代神經埋植器的基礎，進而縮短從研發到臨床應用的過程。

觸覺與痛覺



Variation in two-point limen (threshold) across the body surface

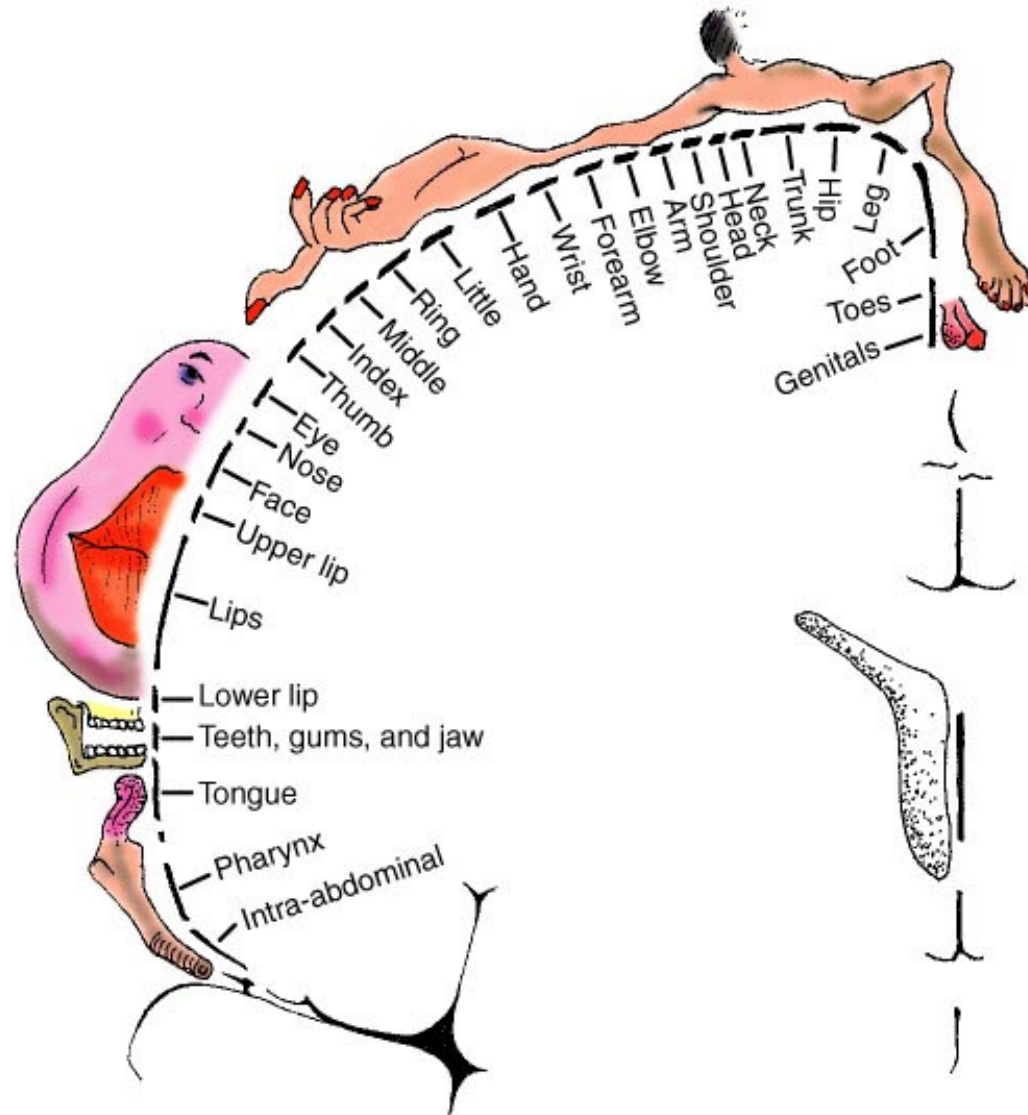


Copyright © 2002, Elsevier Science (USA). All rights reserved.

Finger tip: 0.9 mm, around mouth: 0.5 mm

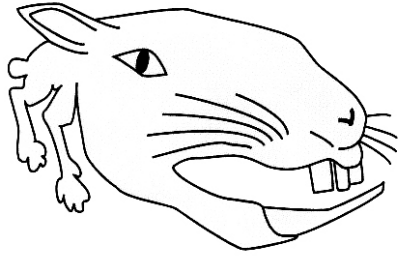
Legs, shoulders, and back: 60-70 mm

Somatotopic organization of human SI (Penfield, 1950)

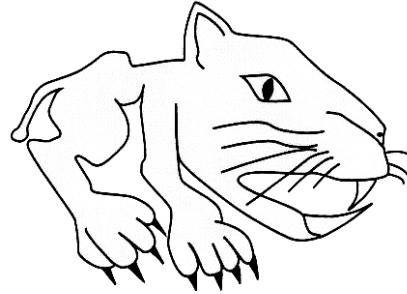


Different species rely on different parts of the body for adaptive somatosensory information

Rabbit



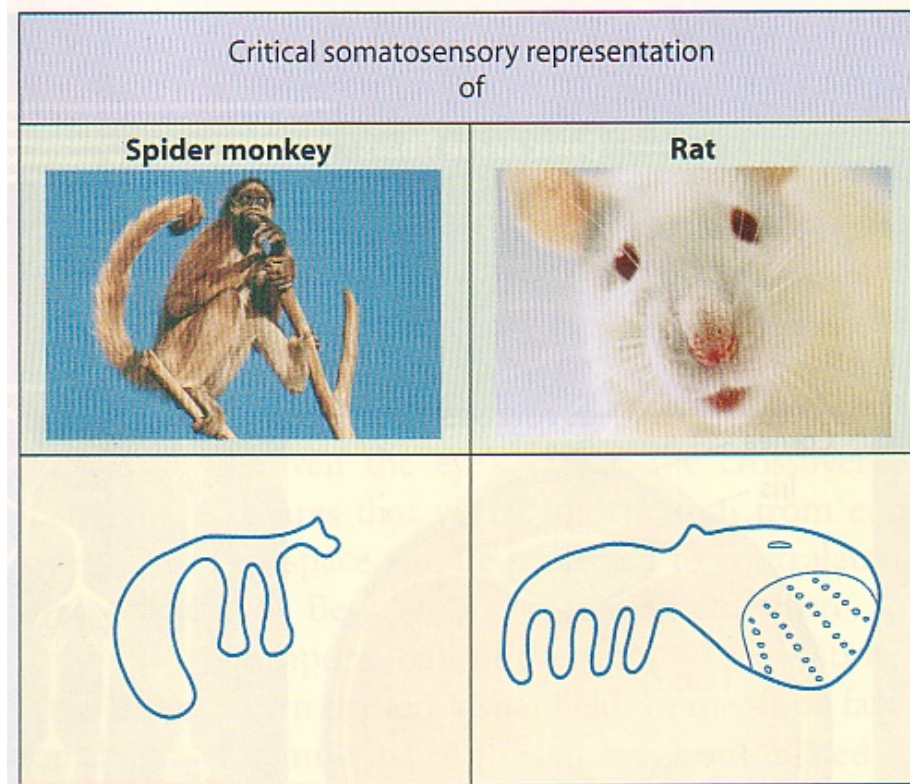
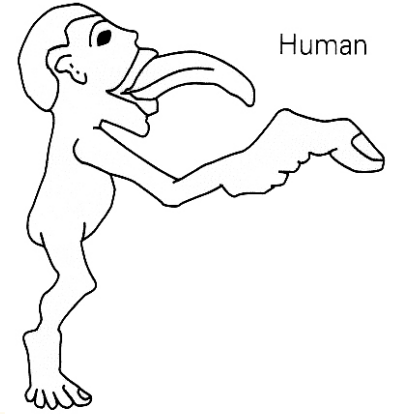
Cat

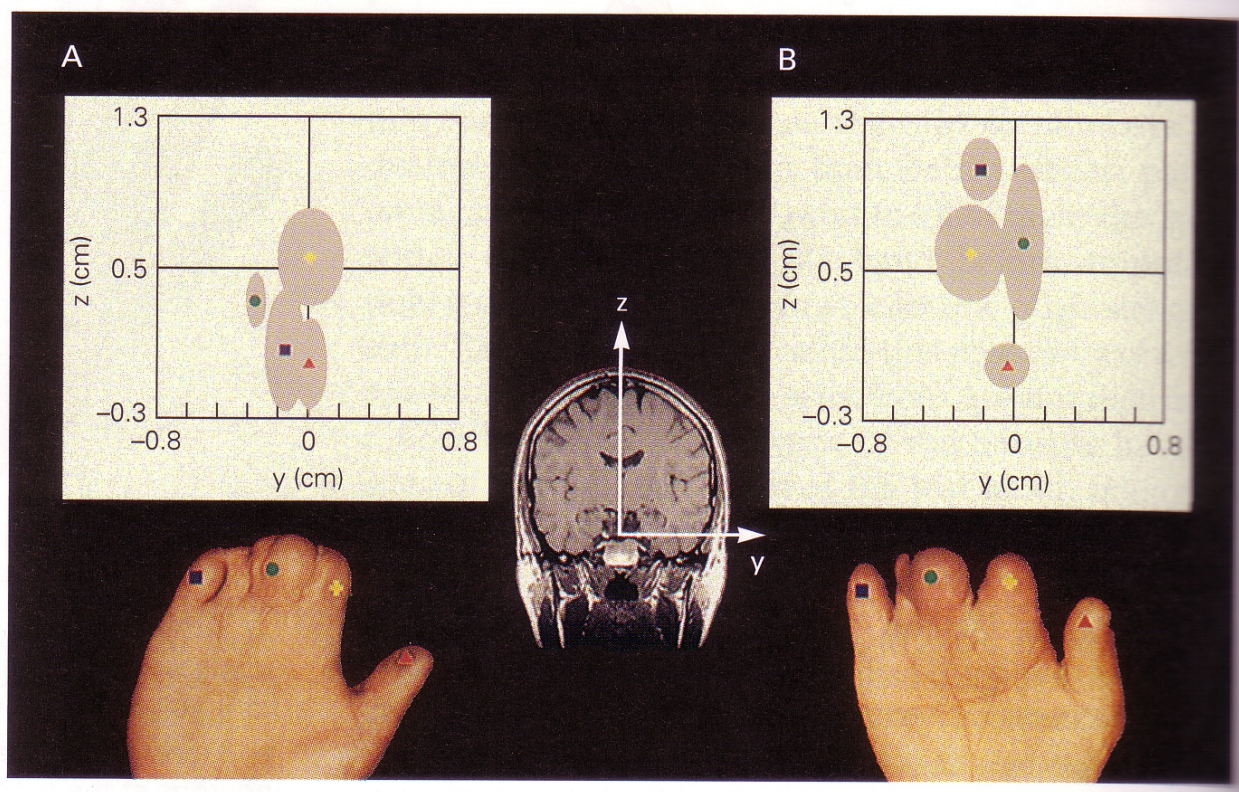


Monkey



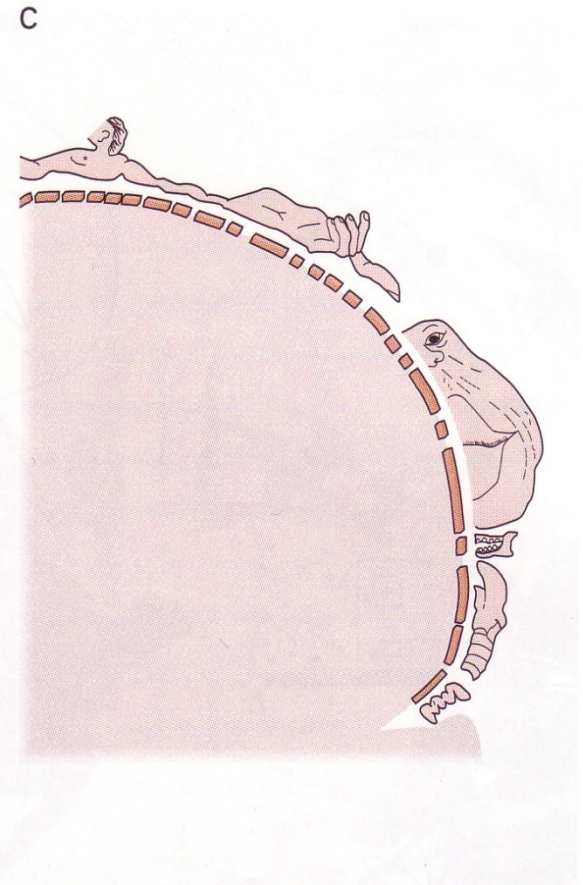
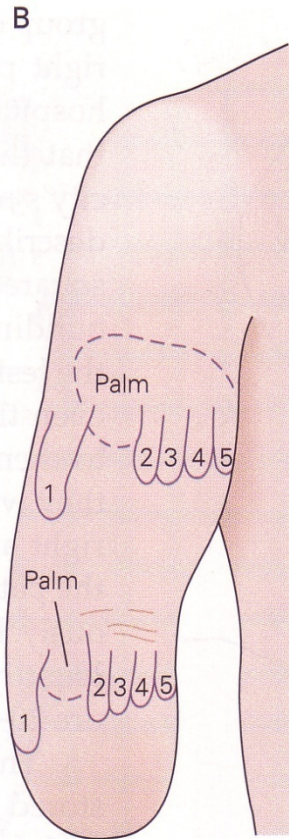
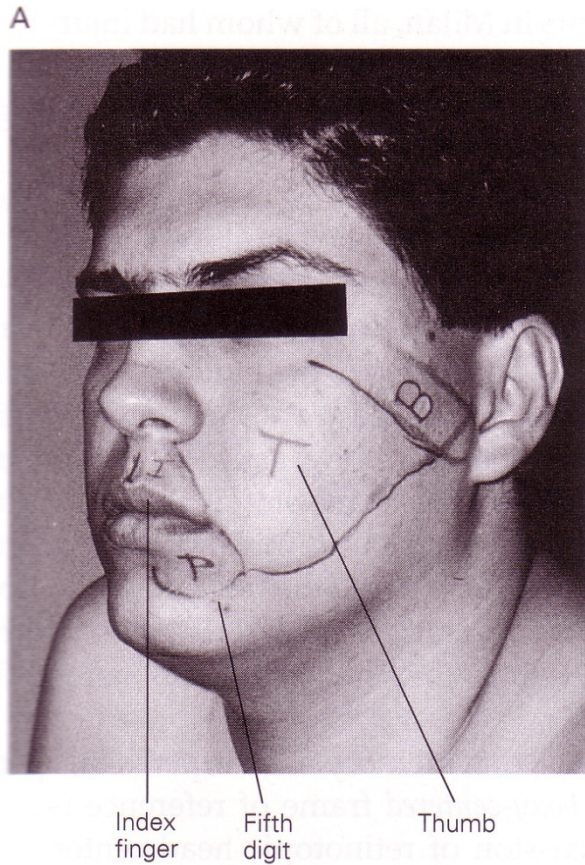
Human





The area of representation of the hand in the somatosensory cortex changes after surgical correction of syndactyly of digits 2-5

幻肢 (Phantom limb)



Phantom limb sensations can be evoked by stimulating body surfaces

治療幻肢的方式



Mirror box

痛由心生
BBC Human Senses

味覺與嗅覺

味覺生理 新發現

味覺是動物為求生存而發展出來的複雜感覺，近年科學家終於得以窺見其一二。然而在感官刺激之外，味覺是否還有特殊的生理功能？

撰文／潘震澤

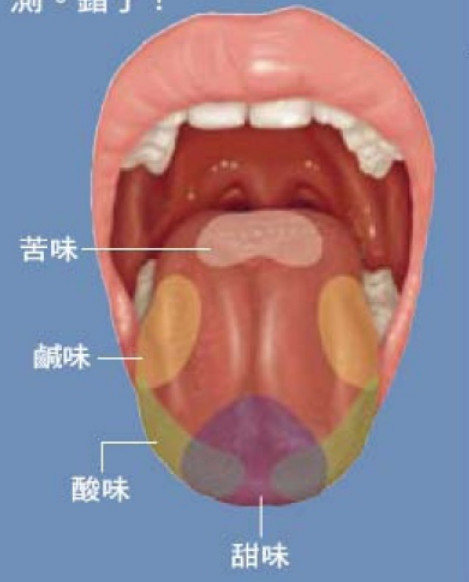
食物的攝取與生命的存活息息相關，吃到可口的食物，自然會產生愉悅的感覺。

Oishii (好好吃)



過時的模式

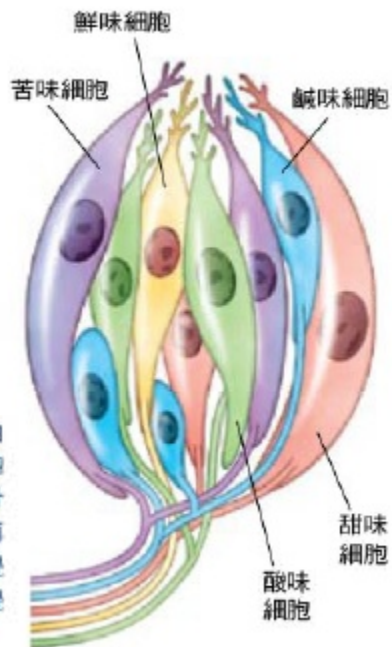
過去的看法認為，每一種味道都是由舌頭上特定的區域來偵測。錯了！



最新研究結果發現，每個味蕾都由數種味覺細胞組成；每種味覺細胞則只表現一種味覺受體，亦即只針對一種類型的味道分子反應；再者，每種味覺細胞都與專屬的味覺神經元聯繫，將訊息送入大腦感覺皮質，而屬於「專用道」設計。



FIGURE 24.2B Diagram of a tongue showing the distribution of various taste bud populations, which are found in the fungiform (F) papillae on the anterior tongue, the vallate (V) and foliate (FO) papillae on the posterior tongue. These taste buds are innervated by branches of the VIIth, IXth, and Xth cranial nerves. From Chandrashekar *et al.*, 2006.



難以捉摸的「旨」

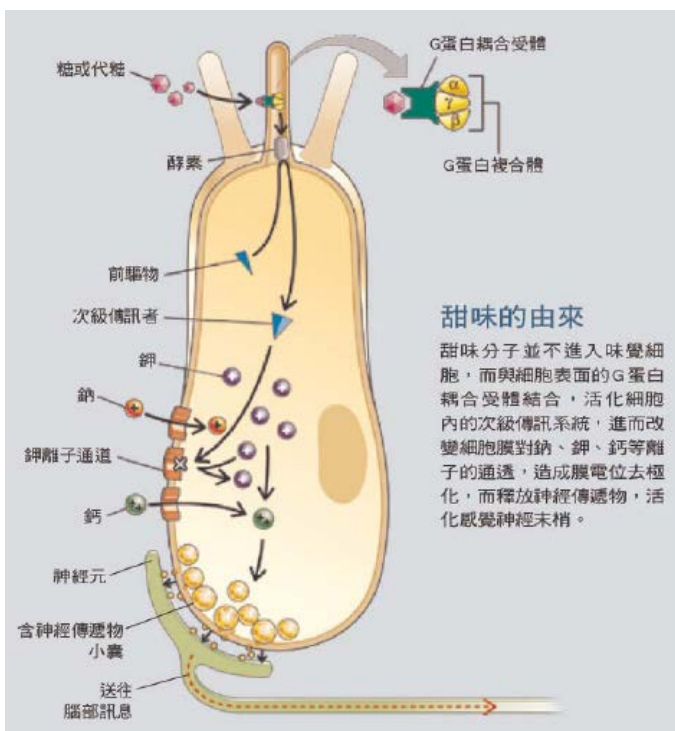
日語中以「旨」字來指稱「鮮」或「美味」，雖然鮮味在一個世紀前就被發現，但接受它成為舌頭可辨別第五個基本味覺，仍然備受爭議。鮮味通常適用於肉類、乳酪、肉湯和其他富含蛋白質的食物中，用來形容它們濃郁的性質。這種感覺可能較鹹味或甜味還微妙，但研究人員仍認為它是單一味覺，而不是其他任何基本味覺的組合。

放大你的味覺

若能藉由化合物增強食物的甜味和鹹味，減少糖與鹽的攝取，或許有助於對抗肥胖和心臟病。

撰文／溫納 (Melinda Wenner)

翻譯／金翠庭

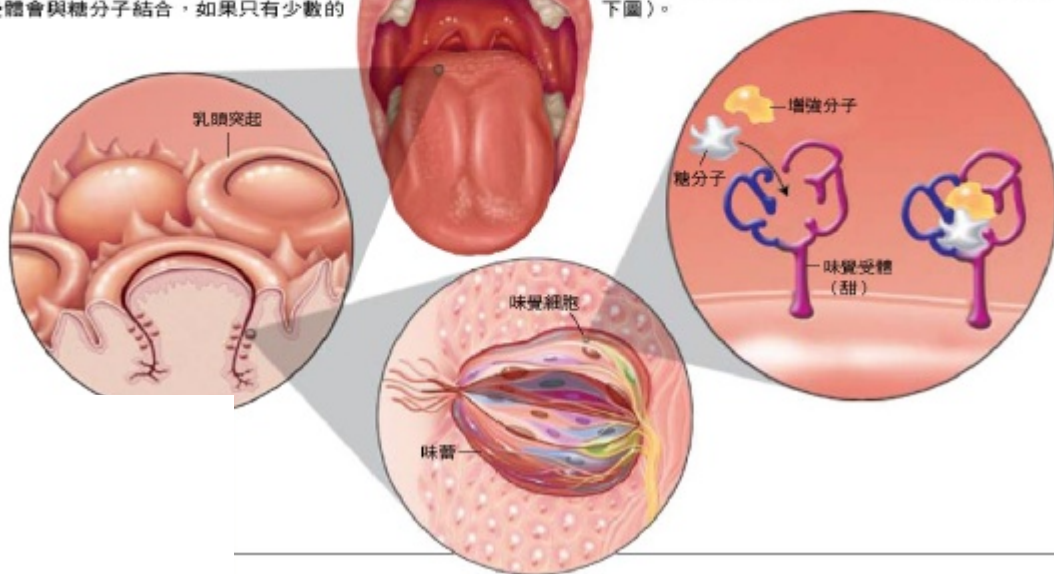


作用原理

增加甜味、不增加熱量

最新的味覺模式與傳統（左下角）不同的是，舌頭上並非由某個區域負責偵測某種味道，而是每一個乳頭突起中的味蕾，都可以感受所有的味道。每個味蕾中含有數個長形的味覺細胞，可感應甜、鹹、酸、苦或鮮（旨）味。例如甜味細胞表面上的受體會與糖分子結合，如果只有少數的

糖與之結合，味蕾就向大腦發出微弱的訊號（右頁上圖）；如果有更多糖與受體形成更多結合，就會造成更強的甜味訊號（右頁中圖）。可增強味道的分子，本身不會引發訊號，但會增加糖分子和受體結合的可能性，在只有少數糖分子存在的情況下，仍能強化甜的感覺（右頁下圖）。

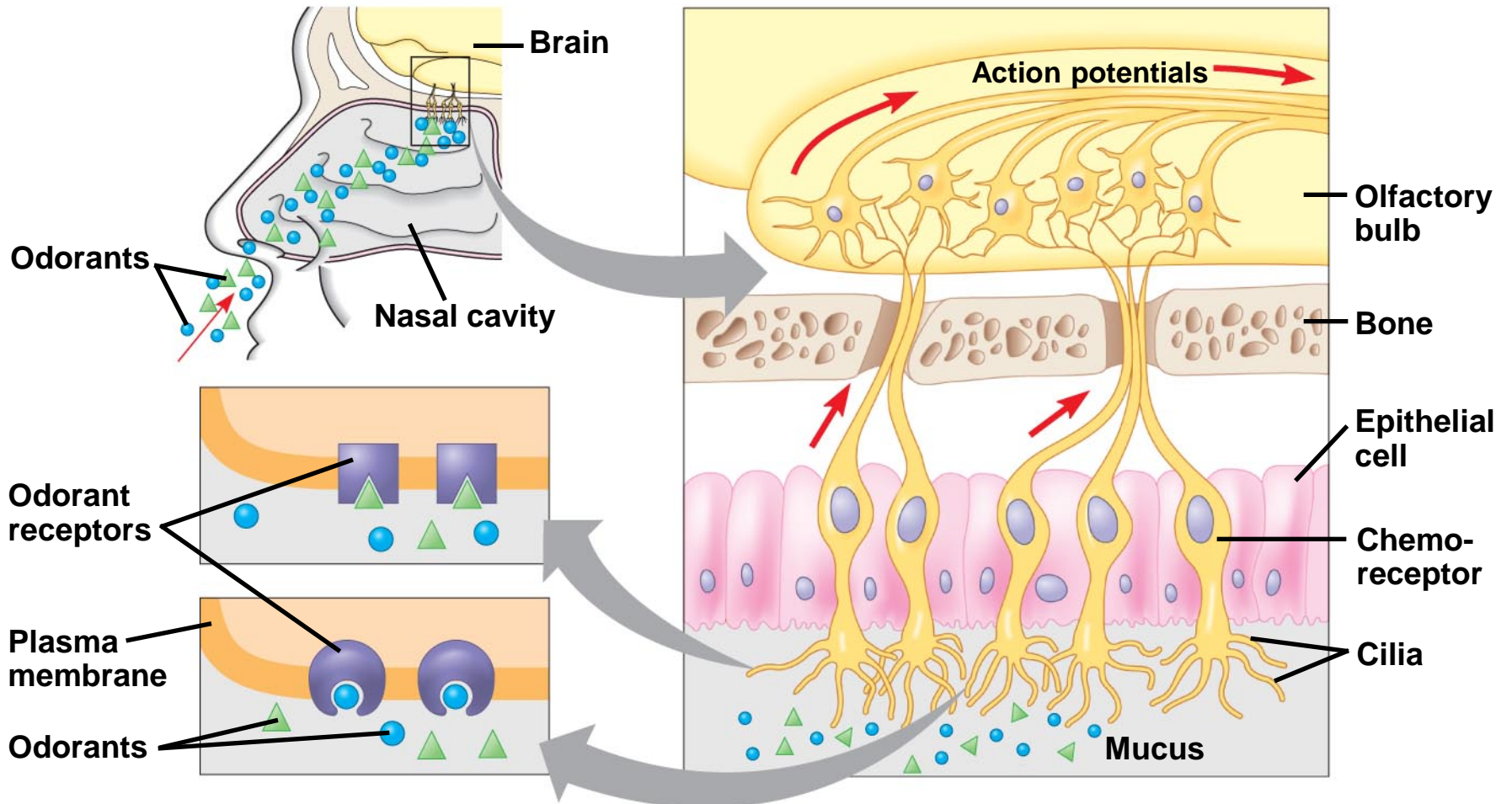


超級味覺
BBC Human Senses

味覺其實是靠嗅覺
BBC Human Senses

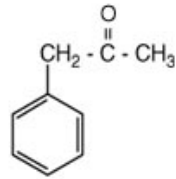
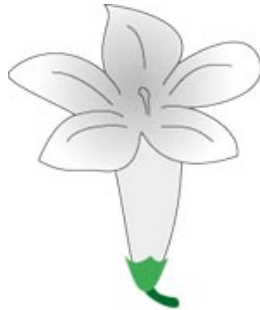
「風味」與「口味」不同

人類的嗅覺

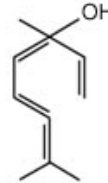


Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

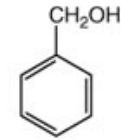
Odor molecules (**odor object**) given off by the jasmine flower



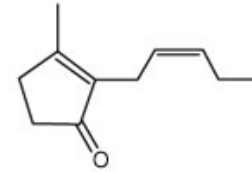
Benzyl acetate
(major component)



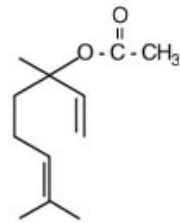
d-linalool



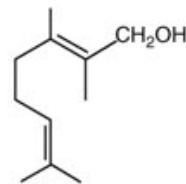
Benzyl alcohol



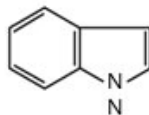
Jasmone
(peculiar component)



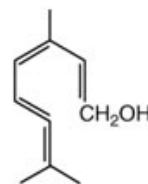
Linalyl acetate



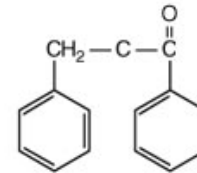
Geraniol



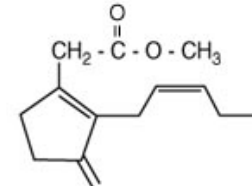
Indole



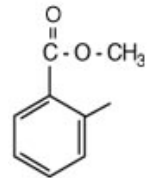
Nerol



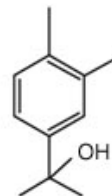
Benzyl benzoate



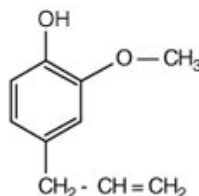
Methyl jasmonate
(peculiar component)



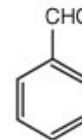
Methyl anthranilate



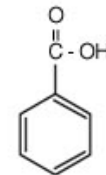
α -terpinol



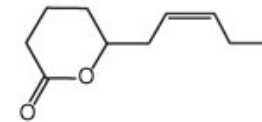
Eugenol



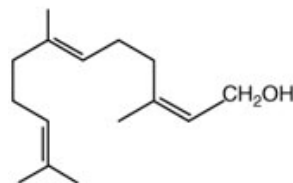
Benzaldehyde



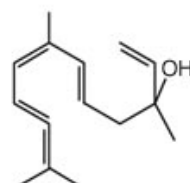
Benzoic acid



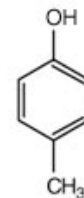
Jasmine lactone
(peculiar component)



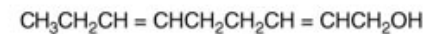
Farnesol



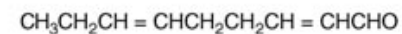
Nerolidol



p-cresol

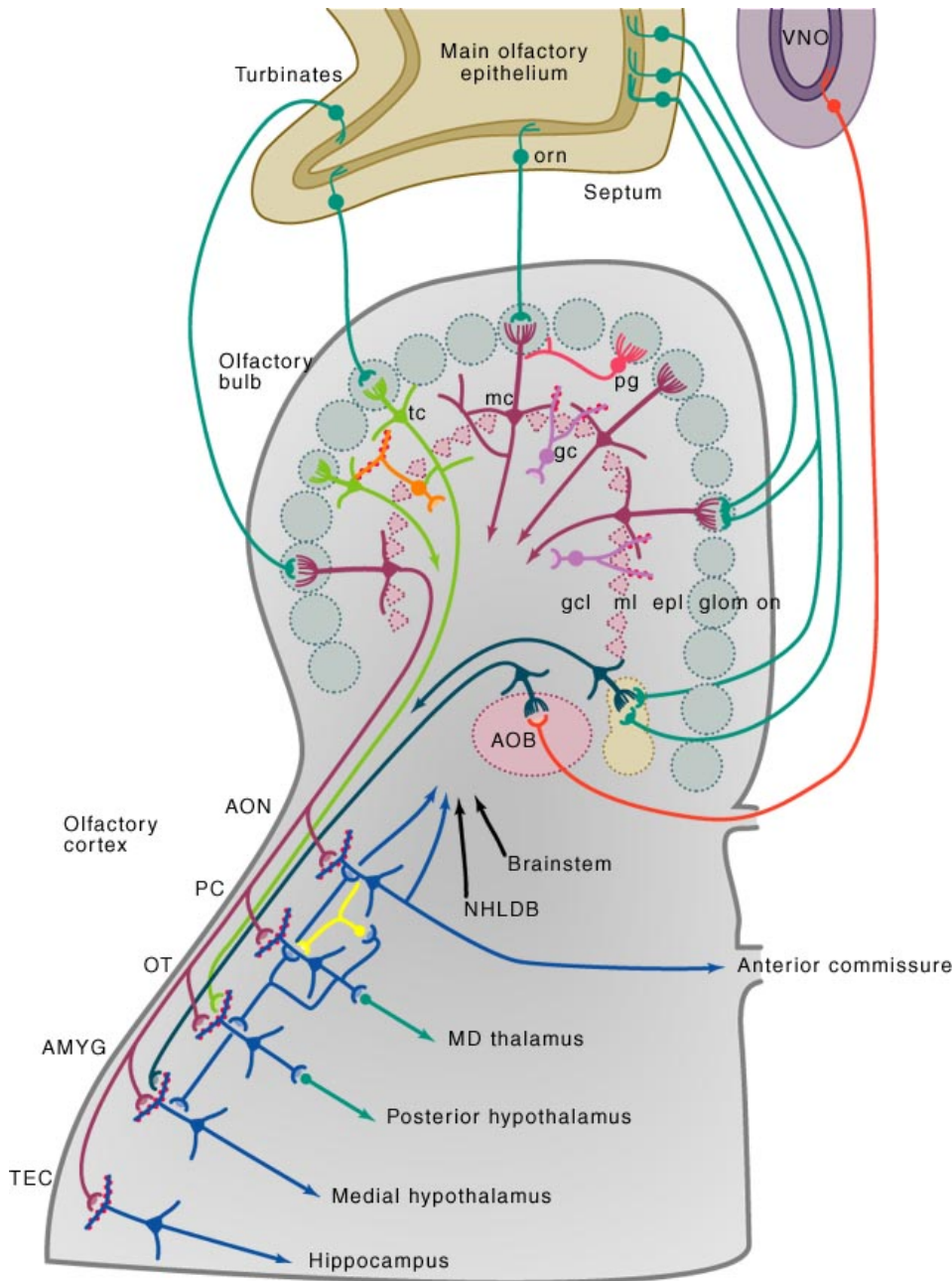


Nonadiene - 2, 6 - ol



Nonadiene - 2, 6 - al

Main projection pathways in the olfactory system



AON: anterior olfactory nucleus

PC: pyriform cortex

OT: olfactory tubercle

AMYG: amygdala

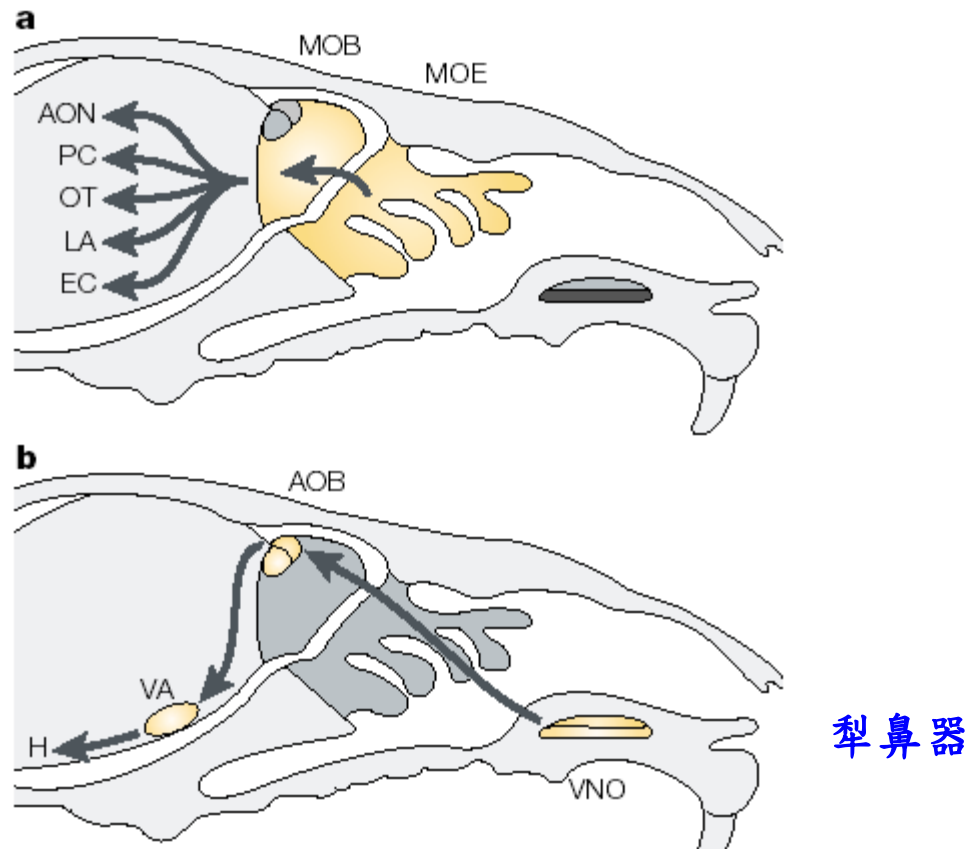
TEC: transitional entorhinal cortex

NHLDB: nucleus of horizontal limb of diagonal band

MD: mediodorsal

嗅覺感受因人而異
BBC Human Senses

Functional and anatomical segregation of the two mammalian olfactory systems



Information provided by pheromone signals is primarily processed by a distinct neural circuit. Pheromones are mostly detected by sensory neurons in **the vomeronasal organ (VNO)**, a bilateral tubular structure in the anterior region of the nasal cavity. VNO axons project to the accessory olfactory bulb (AOB), which in turn transmits sensory information to the vomeronasal amygdala (VA) and then to specific nuclei of the hypothalamus (H), which are involved in regulating genetically pre-programmed physiological and reproductive responses. (adapted from Dulac and Torello, NRN2003)



|| 2011 國際化學年 ||

費洛蒙 溝通的氣味

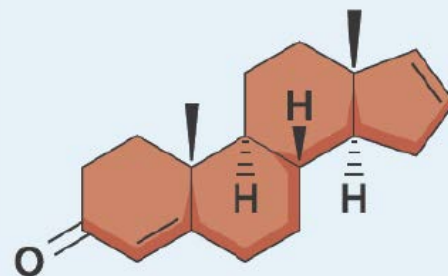
鳥類及蜜蜂都經由化學訊號彼此溝通，人類也是，不過我們常常忽略它。

撰文／布隆 (Deborah Blum)

翻譯／林慧珍

重點提要

- 證據顯示，人類在不知不覺中交換化學訊號，達到使婦女的月經週期同步、辨識親緣關係、及傳遞壓力或恐懼等情緒的目的。
- 這種訊號可能類似許多動物的費洛蒙，包括哺乳動物。
- 研究人員正在分離人類分泌的化合物，並試圖找出它們對於生理及心理的作用。



雄甾二烯酮是一種類固醇，它是人類費洛蒙的候選者之一，已證明能影響認知、壓力激素及情緒反應。

聞女性負面情緒時的眼淚會降低男性性慾

14 JANUARY 2011 VOL 331 SCIENCE

Human Tears Contain a Chemosignal

Shani Gelstein,^{1*} Yaara Yeshurun,^{1*} Liron Rozenkrantz,¹ Sagit Shushan,^{1,2} Idan Frumin,¹ Yehudah Roth,² Noam Sobel^{1†}

Emotional tearing is a poorly understood behavior that is considered uniquely human. In mice, tears serve as a chemosignal. We therefore hypothesized that human tears may similarly serve a chemosignaling function. We found that merely sniffing negative-emotion-related odorless tears obtained from women donors induced reductions in sexual appeal attributed by men to pictures of women's faces. Moreover, after sniffing such tears, men experienced reduced self-rated sexual arousal, reduced physiological measures of arousal, and reduced levels of testosterone. Finally, functional magnetic resonance imaging revealed that sniffing women's tears selectively reduced activity in brain substrates of sexual arousal in men.

越來越多證據顯示，無意識的氣味感知會影響人類的許多行為，包括認知及性行為。今年1月，以色列魏茲曼科學學院心理學家索貝爾（Noam Sobel）帶領的團隊指出，男性聞過女性因情緒落下的眼淚，比起聞了生理食鹽水，更容易突然覺得「性」趣索然。索貝爾發現了男人對這個化學訊號的直接生理反應：睪固酮濃度呈現微小但測量得到的下降。這個訊號可能是演化來暗示不適生育，例如月經。更廣泛的說，這個發現可能有助於解釋人類特有的哭泣行為。

感覺整合

視覺 vs. 聽覺

McGurk Effect



感覺

聲音的氣味

聲音可能會改變我們的嗅覺。

味道有競爭對手了。我們都知道，嗅覺和味覺會聯手製造最好或最糟的用餐經驗，但新的研究指出，嗅覺也可能受到聽覺影響。一旦確定，新發現的這種組合將與嗅覺及味覺產生重要連結。

這種可能存在的「嗅聽覺」是美國紐約州奧倫吉堡克萊因研究所的魏森（Daniel Wesson）意外發現的。他說：「當初我只是單純想了解嗅結節（olfactory tubercle）對氣味的反應方式。」2004年首度有研究指出，大

腦基部的嗅結節可能與氣味的偵測有關。但在魏森進行實驗的某天下午，當他把一大杯咖啡放上實驗台時，實驗小鼠的嗅結節竟出現活化的跡象；他把杯子拿起來，啜飲一口，咚一聲放回實驗台，又再次出現反應。

撰文／皮波斯（Lynne Peoples）

嗅聽覺之說：你所聽到的可能會影響你聞到的味道。

sa.ylib.com

科學人新聞

知 覺

觸覺改變聽覺

拉拉嘴唇，就會改變你聽到的字。



文字遊戲：嘴唇四周所遭受的拉扯，能夠影響受試者聽見和理解的語音。

在奧斯特里的研究中，會讓受試者聽電腦播放一些發音類似的連續語音（如head、had或介於之間的音），同時有一種特殊設計的自動裝置將他們的嘴唇往上、往下或往後拉動。當受試者的嘴唇往上拉動，類似“head”發音時的嘴型，他們較容易聽到“head”，尤其是播放的語音模稜兩可時；當受試者的嘴唇往下拉動，類似說“had”的嘴型，即使播放的語音比較接近“head”，他們仍然較容易聽成“had”；

撰文／衛斯理（Eric Westly）

觸覺治療

藉由了解嘴唇四周的皮膚如何影響語音的知覺，可找出治療語言疾病的新方法。麥基爾大學的奧斯特里說，傳統的語言治療重點為聽覺的組成，但機械和觸覺方面也很重要。根據他最近的研究，奧斯特里解釋道：「體感覺的刺激在引導語言產生和語言學習中扮演重要的角色，現在發現它們對於聽覺知覺也相當重要，這顯示體感覺的刺激或許能當成治療方式。」他說，配合觸覺的語言治療，特別能幫助那些因喪失聽覺或其他原因而導致無法聽見自己語言錯誤的病人。

【神經科學】

你可以聽見顏色嗎？

在具有「聯覺」能力的人身上，嗅覺、聽覺、味覺、視覺與觸覺已不再是獨立運作的感官，感覺混合的結果，使他們能以非凡的方式經驗這平凡的世界。除此之外，聯覺不僅促成了人類語言的起源，這種感官綜合運作的過程，也與你我每個人的創造力有很大關聯！

撰文／拉瑪錢德朗 (Vilayanur S. Ramachandran)、哈伯德 (Edward M. Hubbard)

翻譯／潘震澤

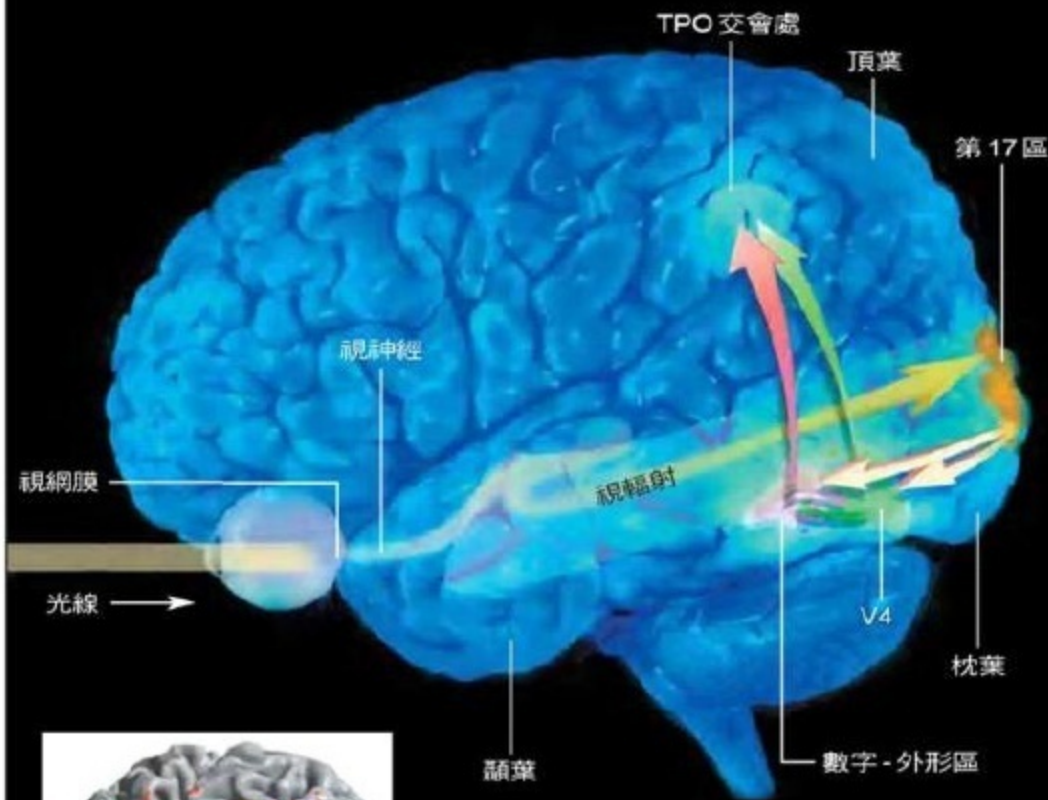


什麼是「聯覺」？

- 聯覺 (synesthesia) 一字由希臘字根 *syn* (一起) 與 *aisthesis* (認知) 組成，代表某些在其他地方都正常，能夠經驗到兩種或更多種感覺相混的人。
- 幾十年來，這種現象都被斥為造假，或只是由於記憶所致，但最近卻顯示那是真實的感覺。發生的原因可能是由於「交錯活化」所致，亦即原本兩個分離的腦區互相引發對方的活性。
- 科學家研究參與聯覺的機制，也同時得知了大腦如何處理感覺訊息的一般過程，並知道如何在看似無關的輸入訊息之間產生抽象的連結。

感官訊息混合在一起

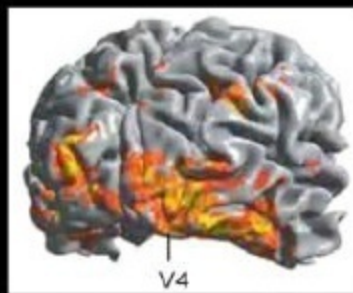
最常見的一種聯覺型式，是看著某個數目字會引發出特別的顏色感。這顯然是由於聯覺者腦中原本不產生互動的區域，在處理數字或顏色的資訊時，彼此造成了活化。



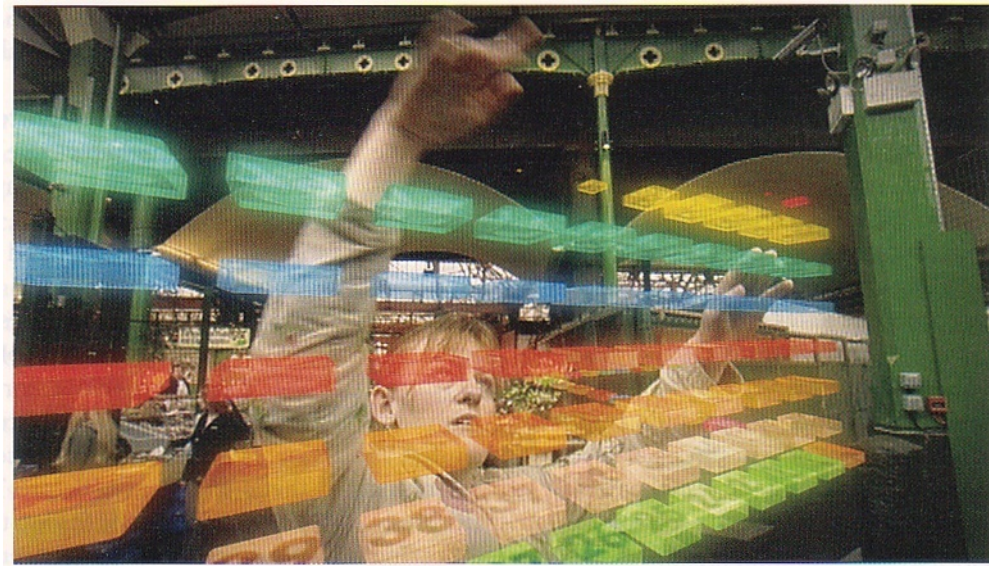
從視網膜傳來的神經訊息，經由視輻射傳向位於大腦後方的第17區；視訊在此處分解成簡單的屬性，像是顏色、形狀、動作及深度等。

顏色的訊息繼續送往V4區，而有關數字視覺形狀的訊息也在該區附近呈現，因此該處成了顏色與數字區之間產生交錯聯繫的所在（見粉紅色及綠色短箭頭）。

最終，顏色訊息往「更高處」走，到達接近TPO（代表顳葉、頂葉及枕葉）的交會處，在此可能進行更複雜的顏色處理。同樣地，有關順序與數量觀念的後期數字運算，也在位於TPO的角回處進行。這或許能解釋有些人的聯覺是將顏色與抽象的數字順序給連了起來，好比說一週中的星期幾。

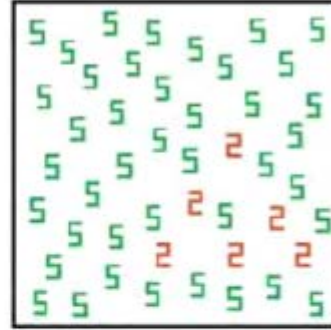
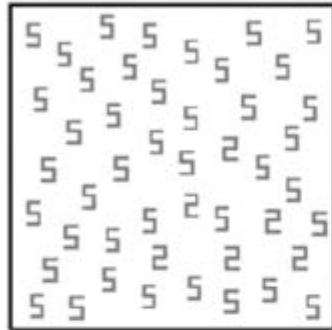


以功能性磁共振成像術拍攝某位聯覺者的大腦後方，顯示當受試者注視灰色背景上方的白色數字時，V4的顏色處理區出現高度的神經活性（黃色）；如果是正常認知者觀看同樣的圖形，該區域就不會興奮。

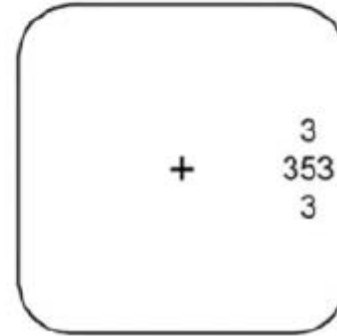
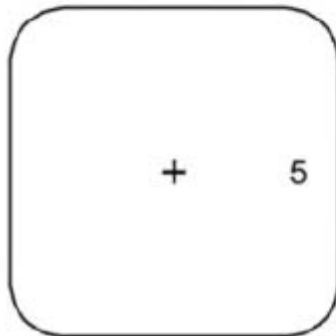


以顏色為代碼的世界

在一項測定視覺區隔能力的試驗中，將特定顏色與一定數字產生聯覺的聯覺者，可以一眼看出在白底黑字中隱藏的排列形式，但具有正常認知的人必須一個字一個字搜尋才能挑出來。本例中，數字2藏身於數字5當中（左圖），對聯覺者來說，由數字2排成的三角形會凸顯出來（右圖）。



在一項認知測驗中，「不可見」的數字會向聯覺者現身。當人注視中央的物件時（在這個例子中是個正號），位於側邊的單個數字可由眼角餘光輕易看到（左圖）。如果該數字旁邊有其他數字包圍（右圖），對一般人來說就會顯得模糊，不容易看清楚。反之，具有聯覺者可以經由中央數字所引發的顏色，推論出那是什麼數字。



好書分享

腦袋裝了2000齣歌劇的人

MUSICOPHILIA:Tales of Music and the Brain

作者：奧立佛·薩克斯

原文作者：Oliver Sacks

譯者：廖月娟

出版社：天下文化

出版日期：2008年08月29日



神經內科醫師薩克斯研究發現，音樂比語言占用更多腦細胞。音樂「讓人起舞、影響情緒、引起購買慾，勾起回憶.....音樂代表著心靈與感受，超乎經驗，無法形容」。

薩克斯這本新書中的精采故事，包括知名心理分析家飽受腦中重複出現的歌聲困擾；威廉斯氏症候群的小孩擁有過人的音樂稟賦；樂評家得了「恐懼音樂」的怪病，只要聽見銅管演奏就嚇得半死；《幽冥的火》作者納博科夫似乎患有「音樂失認症」，對音樂幾無反應。還有，記憶只持續七秒的人，卻始終記得音樂；作曲家車禍後音感全消；閃電擊中的醫生變成蕭邦迷，突然擁有鋼琴才華.....

尋找腦中幻影 Phantoms in the Brain

作者：V.S.Ramachandra

譯者：朱迺欣

出版社：遠流

出版日期：2002年07月01日



對於不幸在意外中失去肢體（或被截肢）的人來說，失去的部分彷彿依舊存在，舉例而言，一位業餘的運動員在一次的車禍中失去一隻手臂，但他一直存有「幻肢」的感覺，認為失去的手臂還在，並有活生生的動作

異香：嗅覺的異想世界

What the Nose Knows

作者：艾佛瑞·吉伯特

原文作者：Avery Gilbert

譯者：張雨青

出版社：遠流

出版日期：2009年03月27日



一般人總以為狗的嗅覺比人類靈敏、盲人的嗅覺特別強，而香水師的嗅覺能力絕對超越常人，事實上這些都是錯誤認知，他們只不過比一般人更擅長「思考」氣味罷了。

因此，嗅覺專家吉伯特決定帶我們暢遊氣味的異想世界！在這本書中，他運用深入淺出、幽默有趣的筆法，介紹許多近期關於嗅覺的科學發現，以及與氣味有關的當代文化觀察，像是改變商店裡飄散的氣味，可以刺激顧客的潛在購物慾嗎？氣味如何啟發詩人、小說家與音樂家的創作能量？博物館如何保存史坦貝克小說裡的「沙丁魚罐頭工廠」氣味？紅酒和啤酒的香氣如何用科學方法來分類與評鑑？媽媽總認為自家寶寶的便便比別家寶寶香是真的嗎？為什麼每一種文化都有一種奇臭無比的食物象徵族群認同，像是台灣人愛吃臭豆腐、日本人愛吃納豆、瑞典人愛吃發酵鮭魚、東南亞人愛吃榴槤？

本書將帶你優遊於科學知識、工業應用、文學藝術電影之間，深入了解「氣味」在我們生活中扮演的重要角色。也許你懷疑科學家說「氣味只存在於我們大腦中」，也對於清清如水的香水竟可締造極高的經濟規模而感到不可思議，這些關於氣味的知識與文化意涵既有趣又令人驚奇，絕對讓你「大開鼻界」！