

眼球某些不自覺的細微跳動，
一度以為因緊張所造成，如今則
發現與我們的視覺能力大有關聯。
眼球的這些運動，甚至還可能
透露我們下意識的想法。

撰文／馬蒂內茲 - 康德 (Susana Martinez-Conde)
邁克尼克 (Stephen L. Macknik)
翻譯／潘震澤

跳動的靈魂之窗

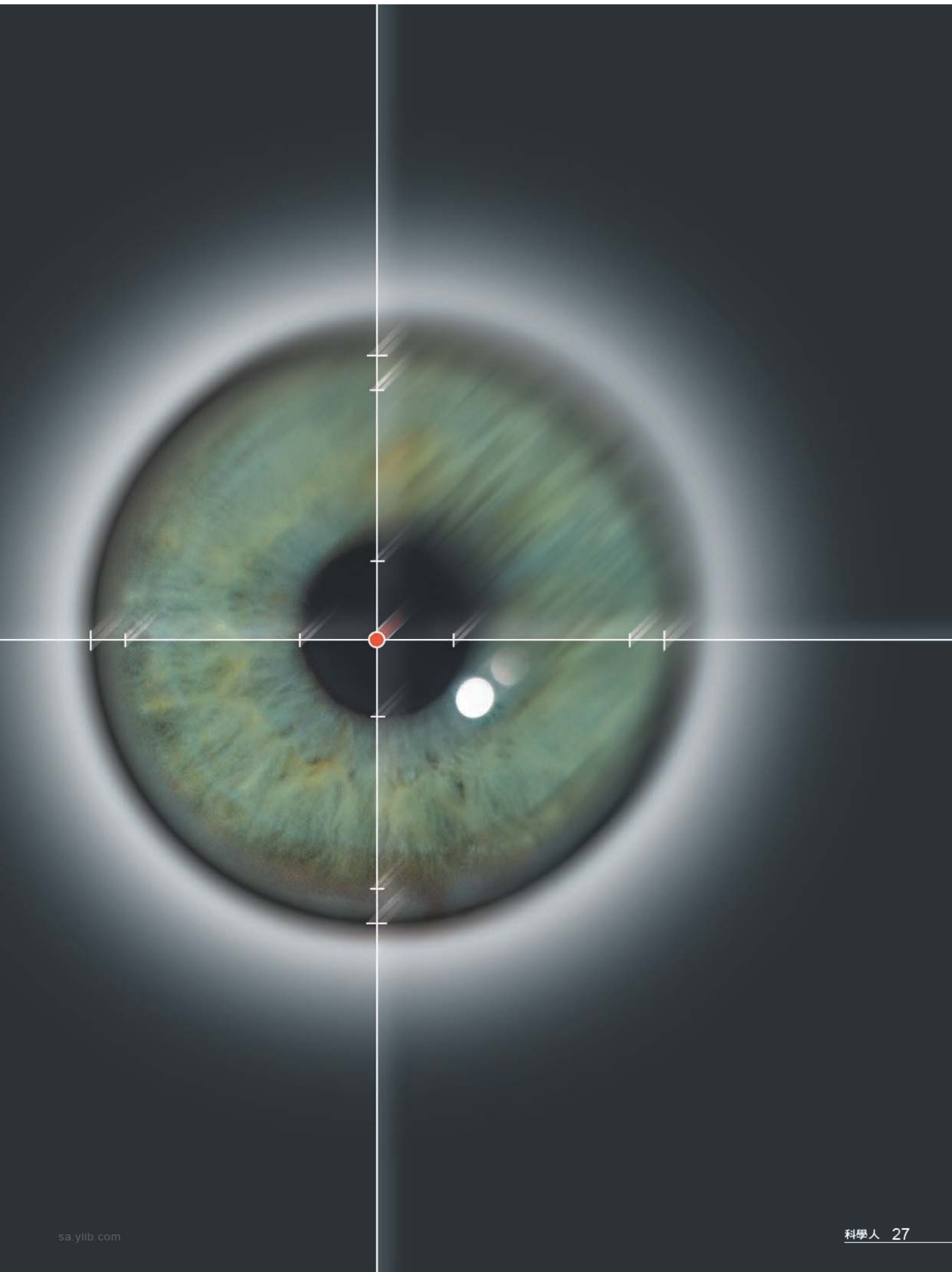
重點提要

- 當我們專注在某個物件時（稱做「凝視」），眼球仍會發生不自覺的跳動；對視覺而言，這種眼球運動是必要的。
- 凝視時，眼球運動幅度最大的一種，稱做「微顫動」，這種眼球運動有何作用，幾十年來科學家爭論不休。如今，本文作者的實驗顯示：人在凝視時的視覺是由微顫動所引起，同時，微顫動的幅度越大、速度越快，效果越好。
- 此外，微顫動還可能揭露我們下意識的想法。近來有研究指出，無論某人的視線朝向何方，其眼球微顫動的方向，仍會不自覺地偏向吸引他注意的物件。

在 你閱讀這篇文章時，你的眼球會很快地從左到右進行小幅度且快速的跳動，把每個字依序帶入焦點。當你看著某人的臉孔，你的眼睛也會有類似的跳躍：從他的一隻眼睛到另一隻眼睛，再到鼻子、嘴巴以及其他臉部特徵，做短暫的停留。你在瀏覽書頁、人臉或景物時，稍許留意就可察覺自身眼部肌肉的這種不斷收縮。

這種稱為「顫動」(saccade)的大幅度且主動的眼球運動，只是眼球肌肉日常工作中的一小部份。就算你的眼睛看起來專注在某個東西，好比某人的鼻子或是在海平線上下晃動的帆船，你的眼球也從不停止運動；事實上，在我們醒著的時候，眼睛有80%的時間專注在某個物體上，稱做「凝視」(fixation)，但眼球仍會不自覺地上下跳動與左右搖動，這種運動對視覺是必要的，如果你在注視時，有辦法停止這種微小的動作，靜止物體的影像將從你眼裡消失。

JENS NIETH zefe/Cordis (photograph); JEN CHRISTIANSEN (photo/illustration)



研究下意識的微幅眼球運動，有助於神經科學家解開腦部對視覺意識的編碼。

然而直到最近，研究人員才體認到凝視時眼球運動的重要。眼球非主動運動裡幅度最大的一類，叫做「微顫動」(micro-saccade)，它究竟有沒有任何作用，可是讓研究者爭論了50年之久。甚至有些科學家認為，微顫動可能造成影像模糊，而妨礙視力。但由筆者之一(馬蒂內茲-康德)在美國亞利桑那州鳳凰城巴羅神經學研究所進行的最新研究，卻提供了目前為止最有力的論據，證明這些極輕巧的眼球漫舞，可使人在注視靜態景物時不至於什麼都看不到。

同時，眼球的微顫動也協助神經科學家解開了人腦如何把視覺的世界，轉換成意識知覺所使用的編碼。在過去幾年內，筆者以及其他人都偵測到與眼球這種細微的運動有關且明確的神經活性型態。目前我們相信，人類大部份的知覺就是由這些細微運動所驅動的；尤有甚者，眼球微顫動

還可能給我們的心靈開了一扇窗。這些細微的眼球運動非但不是隨機發生的，甚至還可能指出我們隱密的心思在想些什麼，就算是我們的目光正朝向別處，微顫動也洩露了我們隱藏的思緒及想望。

神經也會疲乏

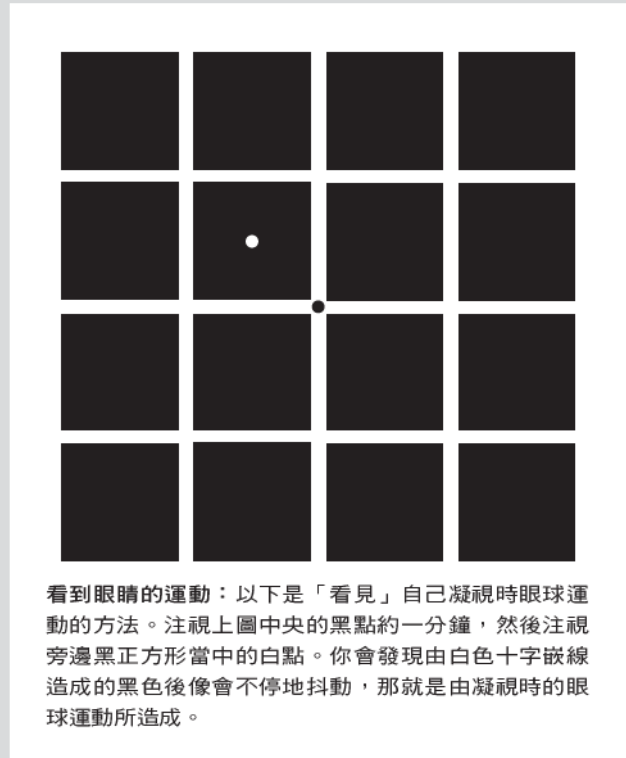
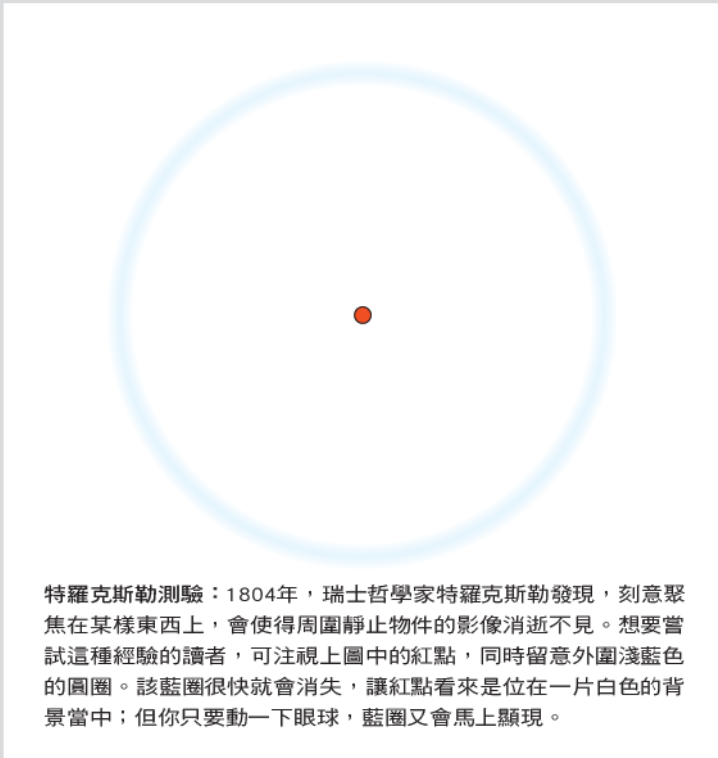
眼球會不斷運動這件事，在好幾世紀之前就已經為人所知。1860年德國醫生赫姆霍茲(Hermann von Helmholtz)就指出，要一個人的眼球完全不動，是非常困難的。他提出的解釋是：「視線의徘徊」可避免眼球後方的視網膜發生疲乏。

的確，動物的神經系統演化出偵測環境中變化的能力，因為察覺改變，就有助於存活。視野當中有東西移動，代表可能有掠食者接近，或是獵物正在逃逸；這樣的變化就促使了視覺神經元產生電化學的脈衝。一般而言，靜止的物體並不會造成威

SOURCES: IGNAZ PAUL VITAL TROXLER (1817); 'A SIMPLE AFTER-IMAGE METHOD DEMONSTRATING THE INVOLUNTARY MULTIDIRECTIONAL EYE MOVEMENTS DURING FIXATION', BY F. J. VERHEIJEN, IN JOURNAL OF MODERN OPTICS, VOL. 8, NO. 4, PAGES 309-312; OCTOBER 1961; © TAYLOR AND FRANCIS LTD. (1961)

從錯覺體驗眼球的細微動作

經由下列三種錯覺，讀者可觀察到自己凝視時眼球運動所造成的不同視覺效果。不過，我們通常都感覺不到這些運動。



脅，因此動物的腦子（包括視覺系統），也不會演化出注意靜止物體的機制。青蛙是個極致的例子，牠們對停在牆上不動的蒼蠅是視而不見的，對所有靜止不動的物體亦然。只不過一旦蒼蠅飛起來，青蛙就能馬上察覺，而伸出舌頭將其捕捉。

對於青蛙看不到靜止物體的現象，赫姆霍茲提出的假說是：沒有變化的刺激會造成神經適應；也就是說，視覺神經元會調整其輸出，而逐漸停止反應。神經適應可節省能量，但也限制了感官知覺。人類的神經元對單調不變的事物，也同樣會產生適應，但比起青蛙，人類的視覺系統對於靜止物體的偵測能力可是好上太多。因為人類的眼球可自行運動，將整個視野的影像在視網膜上移動，促使視神經反應，以對抗神經適應現象，如此一來，也就避免了靜止物體從視線中逐漸消失。

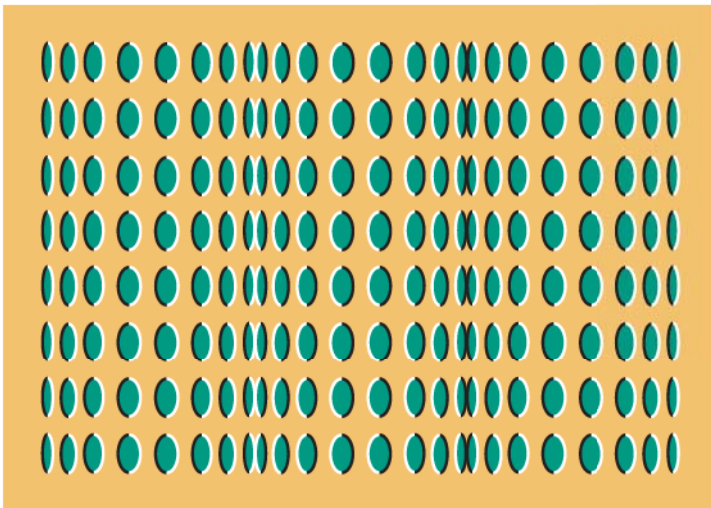
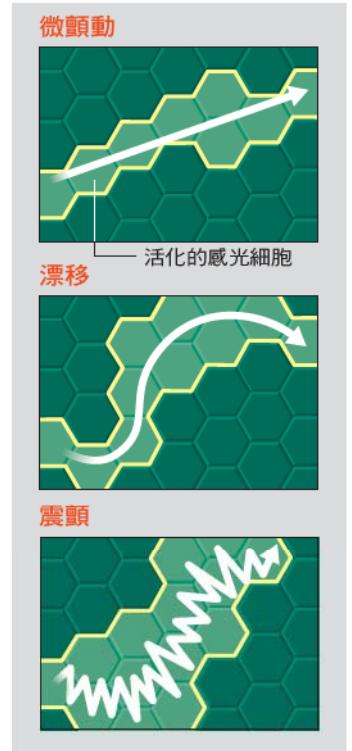
1804年，瑞士哲學家特羅克斯勒(Ignaz

Paul Vital Troxler)發表了在人類身上發現的第一個視覺消失現象。特羅克斯勒注意到，刻意將視線集中在某個目標，會使得其周圍靜止不動的影像逐漸消褪（見28頁〈從錯覺體驗眼球的細微動作〉左圖）。這種消褪現象在我們身上每天都會發生，因為刻意聚焦在某物上，會短暫減緩或減少凝視時的眼球運動。這類運動對於焦點外圍的區域，原本作用就不大，因此，就算稍微降低了眼球運動的速率及幅度，因而大幅減弱視力，我們也不會察覺到這種缺失，因為我們只專注於正前方，對於視野裡看不見的部分，並不會多加注意。

如果想要完全停止眼球運動，只有在實驗室裡才辦得到。1950年代初期，有些研究團隊將微型幻燈機置於隱形眼鏡上，並利用吸力裝置將鏡片固定在眼球上，經由這樣的裝置，受試者從鏡片中看到的投射影像是隨眼球同步運動的；因此，利用

晃動的影像

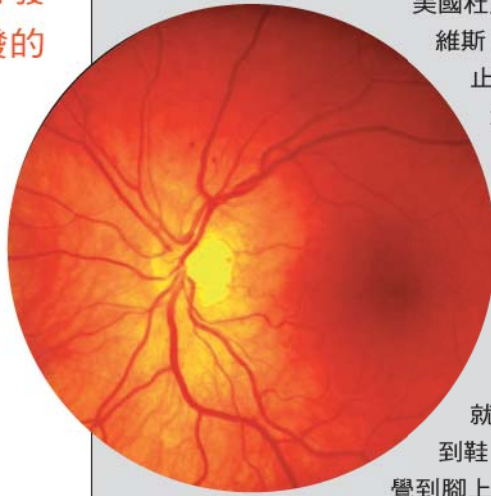
當外界物體的影像成像在視網膜上鑲嵌排列的感光細胞上，凝視時的三種眼球運動：微顫動（直線）、漂移（波形線）及震顫（在漂移上頭的鋸齒形移動），就會造成影像的移動。影像移動的幅度與方向，如下圖中的白色箭頭所示。



錯覺運動：讓你的目光在上面的圖案中隨意游走，你會看到似乎有三個「滾筒」在旋轉。如果你把目光專注在圖像中央的一個綠色圓點，該錯覺運動便會慢下來，甚至停頓。由於讓眼球固定不動，就會把這種錯覺運動給停下來，所以作者推測，凝視時眼球運動對於錯覺是必要的，雖然詳細機制仍不清楚。

在科學家所檢視過的視覺系統中，都可發現眼球微顫動引發的神經元回應。

從眼底血管看微顫動



美國杜克大學的神經科學家科波拉 (David Coppola) 及珀維斯 (Dale Purves) 報告指出，視網膜上相對於眼睛靜止不動的血管，可在80毫秒的短暫時間內從一個人的視野中消失。你自己也可看到這個現象：把眼睛閉上，同時手持個小型手電筒（不要太亮）放在某隻眼睛旁；如果你快速移動手電筒，你將可能在視野邊緣中，一瞥視網膜血管的影像。同時你也會注意到，該影像從你視野中消失的速度有多快。

神經適應的現象，存在我們所有的感覺當中，包括觸覺在內。舉例來說，早上剛穿上鞋子時，你可以感得到鞋子的存在；但一會兒之後，這感覺就消失了。你大概也不希望一天16個小時裡，都感覺到鞋子的存在。不過，你只要動動腳趾頭，你就可以感覺到腳上的鞋子。同理，凝視時的眼球運動不斷「搖擺」落在視網膜上的影像，可使得你的視覺不至於消失。

這種「穩定視網膜」技術，可維持影像不動（對眼球而言），而造成視神經的適應以及影像的消褪。如今，研究人員改用對準眼球的攝影機來偵測眼球的運動，然後將眼球位置的數據傳給投影系統，讓影像隨著眼球運動，而獲得同樣的效果。

1950年代末期，研究人員已經找出了微顫動扮演的角色之一。他們是在實驗室裡抑制了所有的眼球運動之後（包括較大幅度的主動眼球顫動），再把微顫動給加回去，發現這麼做可以恢復視覺。然而，有些研究團隊卻得出不同的結果：他們發現在抑制眼球運動後，再把微顫動加回去，並沒有什麼作用。由於當時使用的穩定視網膜技術都不完美，譬如眼球上的隱形眼鏡可能滑動，而仍有殘留的眼球運動，因此真相難以判定。到後來，沒有人能確定那些實驗結果是由殘留的眼球運動，還是由補加回去的微顫動所造成。

眼球並非無意義亂動

同時，研究人員又發現了凝視時眼球運動的另外兩種變貌：漂移 (drift) 及震顫 (tremor)。漂移是緩慢迂迴的移動，發生在快速線性的微顫動之間；震顫則是在

漂移時發生的微小、快速振動。微顫動是凝視時眼球運動裡幅度最大的，可將視網膜上的視覺影像移動達數十到數百個感光細胞之遠。震顫是凝視時眼球運動裡幅度最小的，幅度比這些感光細胞本身大不了多少。至於凝視時這些不同的眼球運動相對於視覺的角色，目前仍不清楚。

事實上，好幾十年來，許多研究視覺的科學家對於凝視時的這些眼球運動（尤其是微顫動）在視覺的維持上是否扮演任何角色，仍然存疑。批評者指出，有些人可以抑制微顫動達幾秒鐘之久，但其中央視覺卻不會消失。（讀者可以在特羅克斯勒的試驗中見證這點：當你短暫抑制了眼球的微顫動，外圍的圈圈消失了，但你還是看得到位於視野中央的紅點。）人在射擊瞄準或做穿針引線之類的精細動作時，都會暫時停頓眼球的微顫動。1980年美國馬里蘭大學心理學家柯勒 (Eileen Kowler) 及史坦曼 (Robert M. Steinman) 得出微顫動沒用的結論，認為它可能只是「某種神經的抽搐」。

於是，這個領域就此停滯下來，直到1990年代末期，才開始有研究人員探討凝視時的眼球運動，會在眼睛及大腦裡

關於作者



馬蒂內茲 - 康德是美國亞利桑那州鳳凰城巴羅神經學研究所視覺神經科學實驗室的主持人，她於西班牙聖地牙哥聯合大學取得醫學及外科的博士學位。邁克尼克是巴羅神經學研究所行為神經生理學實驗室的主持人，於哈佛大學取得神經生物學的博士學位。

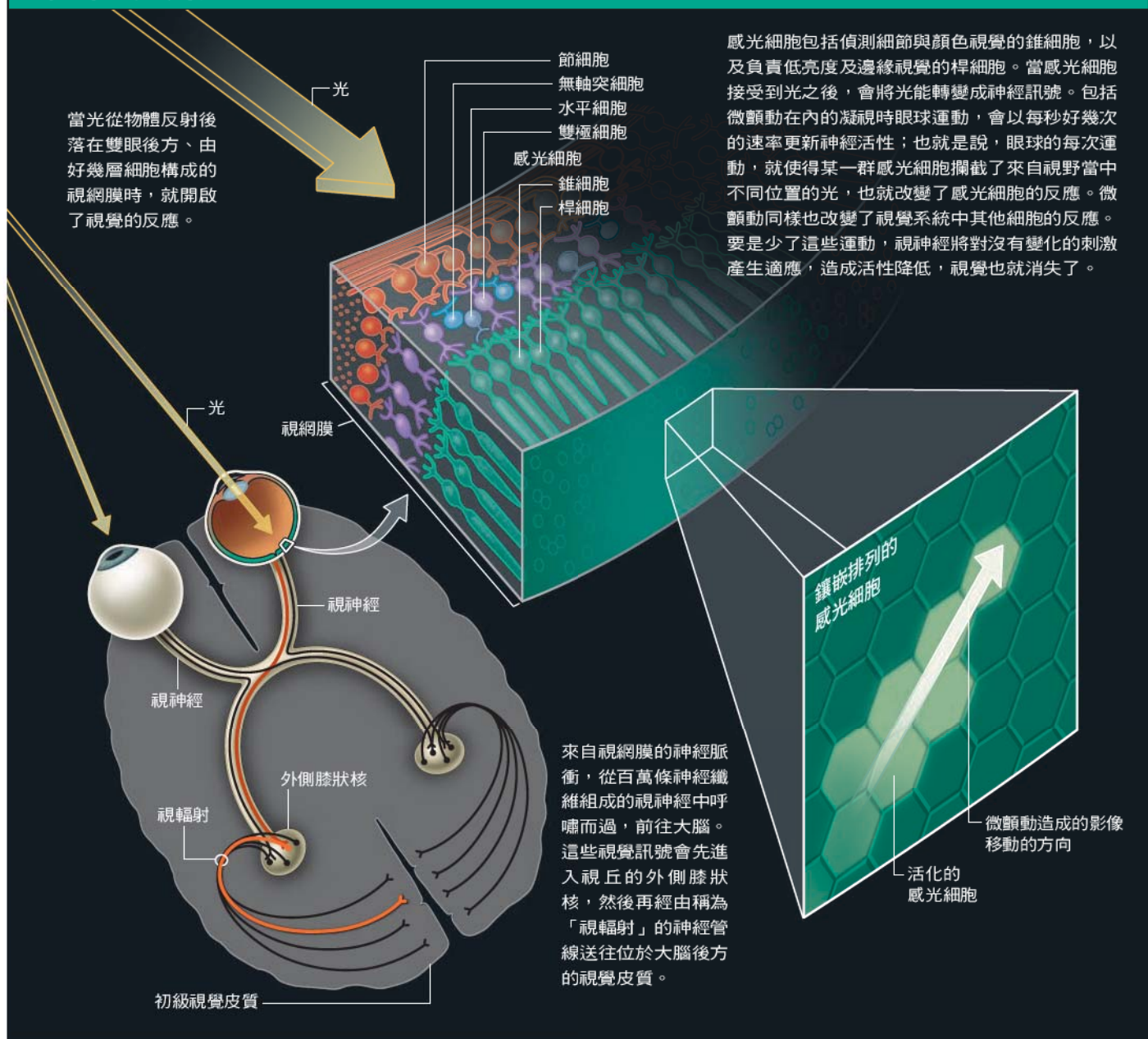
引起什麼樣的神經反應（前提是有反應的話）。1997年，我們與哈佛大學醫學院的諾貝爾獎得主休伯爾（David Hubel）合作，先訓練猴子注視電腦螢幕上的一個小點，另外在螢幕他處顯示了一條靜止不動的棒狀亮線。在猴子注視之際，我們記錄了牠們眼球的運動，以及位於中腦外側膝狀核（lateral geniculate nucleus）和位於後腦初級視覺皮質中的神經元放電活性。在

每次實驗當中，亮線都擺在能引起記錄中神經元出現最大反應的位置。

這些實驗是利用把靜止不動的刺激（好比亮線）移進及移出神經元接受區（引起神經元放電反應的視野）的做法，促進眼球的微顫動；結果顯示微顫動可增加外側膝狀核及視覺皮質神經元的神經脈衝頻率。這些實驗結果在2000年及2002年發表，支持了微顫動在避免視覺消失以及維

基礎知識

影像更新



你可能有意把眼光避開桌上最後一塊蛋糕，或是身旁某位有魅力的異性，但你眼球微顫動的速率及方向，卻洩漏了你真正的注意力焦點。

持可見影像上，扮演重要角色的論點。在接受微顫動具有這種功能之後，我們針對微顫動的神經元研究，也逐漸揭開了視覺系統中視覺訊號的編碼。在利用猴子的實驗中，我們發現微顫動與腦中神經元一連串快速的神經放電關係密切，而與單一的神經放電較無關聯，顯示這種一連串的神經放電是腦中針對視覺訊號的編碼。

微顫動的認知功能

還有其他的研究人員也發現：在他們所檢視的視覺系統當中，都看得到眼球微顫動所引起的神經元反應。然而，早先穩定視網膜影像的實驗所得出的矛盾結果，仍然困擾著這一行的研究者；對於微顫動重要性的懷疑，也一直在他們心頭縈繞不去。於是我們幾個在巴羅神經學研究所工作的人，從幾年前開始使用完全不同的技術，來直接探討微顫動與視覺訊號之間的關聯。我們在實驗中，要求受試者執行特羅克斯勒視覺消失試驗的改良版：他們手持按鈕，注視某個小點，藉由按下或放鬆按鈕來表達他們是否看見某個位於視線邊緣的靜止物件。在實驗過程中，隨著受試者凝視程度的自然增減，該邊緣物件也會反覆消失及重現。在測試中，我們並以高

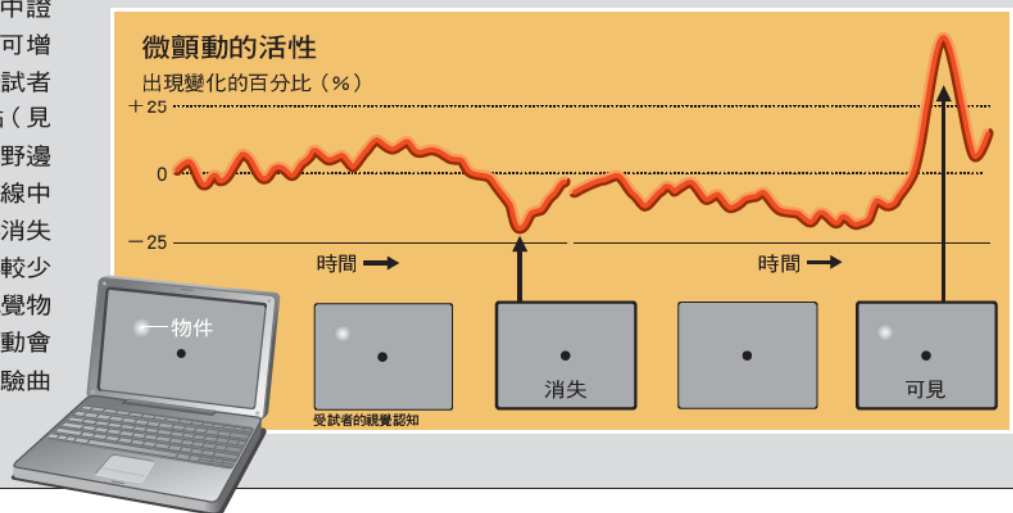
度精準的錄影系統，來記錄受試者凝視時的眼球運動。

一如我們的預期，在邊緣物件消褪前，受試者的眼球微顫動會變得較少、運動幅度較小且較慢；可知缺少了微顫動，或是它變得比正常來得小及慢，將導致神經適應及視覺消失。另外與我們的假說也相符的是，在重新看到邊緣物件之前，微顫動也會變得更多、更大及更快。這個結果於2006年發表，首度顯示了當受試者專注凝視某個影像時，視覺是由微顫動引發的；同時，微顫動的幅度越大及速度越快，效果也越好。由於大多數時間裡眼睛都在進行凝視，也就是沒有發生較大幅度且主動的顫動，因此對大多數的視覺認知而言，微顫動是舉足輕重的。

這樣的研究不只是具有理論上的意義，還可能應用在醫療上；也就是說，在更了解凝視時眼球運動對視覺的重要性之後，對於因缺乏這類運動所導致的疾病與病況，將可能有更多的認識。舉例來說，控制大多數眼球運動的動眼神經若是發生麻痺，會造成凝視時欠缺眼球運動。再者，凝視時眼球不正常的運動，常見於弱視患者（這是20~70歲的人單眼失明的主因）；弱視並沒有明顯可見的病變，但缺

微顫動與視覺認知的關聯

本文作者在最近的實驗中證明，人在凝視時的微顫動可增進我們的視力。他們要求受試者注視電腦螢幕中央的小黑點（見左側下圖），而造成位於視野邊緣的靜止物件（白點）從視線中消失。就在受試者感覺物件消失前，受試者的微顫動會變得較少且較慢；反之，在受試者感覺物件重新出現前，這種眼球運動會變得更頻繁（見左側上方實驗曲線圖）。



科學家可追蹤眼球的微顫動，來得知某些東西（好比一片巧克力蛋糕）是否偷偷吸引了某人的注意力，就算他眼睛正看著別處。不過別擔心，一般人是不容易利用這種眼球運動，來讀取你的心思。

少精細的視覺。在嚴重的弱視裡，眼球過度漂移與過少微顫動，會造成凝視時的物體（甚至大部份的視野）從視線中消失。

在正常的視覺裡，眼球運動系統必須在過少或過多的凝視運動間維持精細的平衡，否則便會造成視力模糊及不穩。我們如能曉得眼球運動系統如何獲致這種平衡，當此系統出毛病時，醫生也就能予以重新調整。由於可能影響凝視時眼球運動的毛病甚多，因此這是個豐富的研究領域，到目前為止大部份都還有待探索。

讀你心思

微顫動的重要性，可能不只是對視覺而已；這種小幅的眼球運動也可能揭露了我們下意識的想法。心理學家發現，就算你的視線固定，你的注意力還是可能不自覺地在視野當中漂移，轉向你感興趣的東西上。最新的研究顯示，眼球的微顫動可以顯露出有什麼東西在吸引著我們，因為微顫動的方向並非全然隨機；就算我們正注視其他方向，微顫動卻可能直指該物。

加拿大馬吉爾大學的視覺科學家哈費（Ziad M. Hafed）及克拉克（James J. Clark）就曾經要求受試者注視電腦螢幕中央的小點，同時注意位於邊緣、在試驗結束時會變色的小點，受試者應該要能看出該顏色的變化。哈費及克拉克於2002年提出報告說，雖然受試者注視的是其他地方，但他們眼球微顫動的方向卻偏往他們真正的興趣所在。哈費及克拉克於報告中寫道：這個發現不只是說微顫動可能指出人們暗藏的想法，同時，注意力的暗地轉移，實際上控制了微顫動的方向。

在另一個實驗當中，德國波茨坦大學的計算神經科學家恩伯特（Ralf Engbert）及



認知心理學家克利格（Reinhold Kliegl）發現，微顫動的頻率也傳達了另一種訊息：有東西正偷偷吸引了我們的注意。他們於2003年發表的報告中說，在視線邊緣突然出現的影像訊號，一開始會造成微顫動速率短暫變慢，接著是快速反彈，並出現高於正常的頻率。不單如此，他們偵測到的微顫動還會朝新的視覺訊號方向偏移。該研究顯示，微顫動的頻率及方向可顯示環境中有引人注意的突發變化，即便我們沒有直接朝變化的方向注視。

因此，不論你是刻意不去看桌上的最後一塊蛋糕，或是不去偷瞄站在房間另一角的帥哥美女，但你眼球微顫動的速率及方向，都洩漏了你的注意焦點所在。不過你可以放心，這種「洩露心跡」的反應還無法實際應用；只有在實驗室裡，科學家才可能偵測到這種細微的眼球運動，但你身旁的人卻不容易用這種變化來讀你的心思，至少目前還不能。

SA

潘震澤 美國奧克蘭大學護理學院專任客座教授。近期著作有《生活無處不科學》及《科學讀書人》，譯作有《虛擬的解剖刀》，並寫作「生理人生」部落格：<http://blog.ebook.com.tw/jtpan>。

延伸閱讀

Microsaccades as an Overt Measure of Covert Attention Shifts. Z. M. Hafed and J. J. Clark in *Vision Research*, Vol. 42, pages 2533–2545; 2002.

Microsaccades Uncover the Orientation of Covert Attention. R. Engbert and R. Kliegl in *Vision Research*, Vol. 43, pages 1035–1045; 2003.

The Role of Fixational Eye Movements in Visual Perception. S. Martinez-Conde, S. L. Macknik and D. H. Hubel in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 5, pages 229–240; 2004.

Fixational Eye Movements in Normal and Pathological Vision. S. Martinez-Conde in *Progress in Brain Research*, Vol. 154, pages 151–176; 2006.

Microsaccades Counteract Visual Fading during Fixation. S. Martinez-Conde, S. L. Macknik, X. G. Troncoso and T. A. Dyrar in *Neuron*, Vol. 49, pages 297–305; 2006.

北岡明佳的錯覺藝術網頁：www.rltsumel.ac.jp/~akitaoka/index-e.html

馬蒂內茲－康德實驗室的網頁：www.neuralcorrelate.com/smc_lab