

心流與冥想的腦科學：意識狀態的神經機制、網絡動力學與神經化學的深度整合分析

摘要

本報告旨在針對心流狀態(Flow State)與冥想狀態(Meditative State)的神經科學基礎進行詳盡且具深度的整合分析。透過系統性地回顧當代功能性磁振造影(fMRI)、腦電圖(EEG)及神經化學研究，本報告揭示了這兩種看似截然不同的意識狀態——一為外向的高效能表現，一為內向的覺察修煉——在神經生物學層面上的深刻趨同性。核心論點在於，這兩種狀態皆依賴於大腦默認模式網絡(Default Mode Network, DMN)的顯著下調與注意力網絡(Task-Positive Network, TPN)的特定重組，從而實現自我指涉思維(Self-referential thinking)的抑制與當下覺察(Present-moment awareness)的優化。

本報告將深入探討「暫時性前額葉低功能假說」(Transient Hypofrontality Hypothesis)與「同步化理論」(Synchronization Theory)之間的辯證關係，並提出一個整合模型，解釋長期冥想修煉如何透過神經可塑性(Neuroplasticity)機制——特別是前額葉皮質(PFC)與島葉(Insula)的結構改變——來降低進入心流狀態的閾值。此外，我們將剖析涉及多巴胺、去甲腎上腺素、花生四烯酸乙醇胺(Anandamide)及腦內啡的神經化學「雞尾酒」機制，闡明其如何共同作用以產生抗焦慮、鎮痛及時間感扭曲的主觀體驗。

1. 緒論：意識光譜的兩端與神經科學的交匯

人類對於優化意識狀態的追求源遠流長，橫跨了東方的 contemplative traditions(沈思傳統)與西方的心理學研究。在當代神經科學的視角下，這種追求具體化為對兩個特定狀態的探討：一是「心流」，由心理學家 Mihaly Csikszentmihalyi 定義為一種完全沈浸於活動中、自我意識消失且行動與覺察合一的心理狀態¹；二是「冥想」，這是一系列旨在訓練注意力與情緒調節能力的心理練習³。

長久以來，這兩者被視為二元對立：心流通常發生在與外界高強度互動的挑戰性任務中(如極限運動、爵士樂即興演奏)，而冥想則常被視為一種靜態的、向內的退縮。然而，隨著神經影像學技術的進步，研究證據指出這兩者在神經機制上存在著驚人的重疊⁴。它們都涉及對「自我」這一神經建構的解構，以及對注意力資源的高效重新分配。

本報告將從微觀的神經傳導物質層次，到宏觀的大腦網絡動力學層次，全面解構心流與冥想的生物學基礎。我們將論證，長期冥想所培養的「不費力的注意力」(Effortless Attention)乃是穩定進入心流狀態的關鍵神經前驅條件⁶。

2. 核心神經網絡架構：自我與注意力的拉鋸戰

要理解心流與冥想，首先必須理解大腦在「休息」與「專注」之間切換的網絡架構。這種切換主要由三大網絡主導：默認模式網絡(DMN)、任務正向網絡(TPN/CEN)以及突顯網絡(SN)。

2.1 默認模式網絡(DMN)：自我敘事的生物學基礎

默認模式網絡(DMN)是大腦在未執行特定外部任務時最活躍的區域，它構成了我們的主觀「休息狀態」。然而，神經科學研究表明，這種「休息」在代謝上極為昂貴，且充滿了心理內容。

- **解剖結構**：DMN 的核心節點包括內側前額葉皮質(mPFC)、後扣帶皮層(PCC)、楔前葉(Precuneus)以及角回(Angular Gyrus)⁴。
- **功能角色**：DMN 與自我指涉處理(Self-referential processing)、自傳體記憶提取、心智遊移(Mind-wandering)、以及對過去與未來的模擬(Mental time travel)密切相關¹⁰。簡單來說，DMN 是「小我」(Ego)的神經棲息地。當我們沈浸在「我昨天說錯了什麼」或「我明天該怎麼辦」的思維反芻中時，DMN 正處於高度活躍狀態。
- **病理關聯**：DMN 的過度活躍與多種精神病理狀態有關。例如，憂鬱症患者的 DMN 表現出過度的內部連結，導致無法停止的負面反芻；而焦慮症則與 DMN 對未來威脅的過度模擬有關⁸。

在心流與冥想中的關鍵地位：

文獻一致指出，心流與冥想的共同神經標記是 DMN 的顯著去活化(Deactivation)⁴。

- 在心流中，DMN 的沈默解釋了為何個體會忘記飢餓、疲勞甚至自我的存在。為了將有限的注意力資源完全投入到當下的挑戰中，大腦必須抑制那些負責監控自我形象和進行時間旅行的迴路¹²。
- 在冥想中，尤其是正念冥想(Mindfulness)，練習的核心即是察覺 DMN 的啟動(心智遊移)，並主動將注意力帶回當下，從而削弱 DMN 的主導地位³。長期修煉者甚至顯示出 mPFC 與 PCC 之間的功能性解耦(Decoupling)，意味著「自我感」的結構變得鬆動¹⁵。

2.2 任務正向網絡(TPN)與執行控制

與 DMN 相對抗的是任務正向網絡(TPN)，又常被稱為中央執行網絡(CEN)。

- **解剖結構**：主要包括背外側前額葉皮質(dIPFC)和後頂葉皮質(PPC)³。
- **功能角色**：TPN 負責工作記憶、問題解決、決策制定以及目標導向的注意力控制。當我們全神貫注於解數學題或攀岩時，TPN 處於主導地位。

反相關性(Anticorrelation)的重要性：

在健康的大腦中，DMN 與 TPN 呈現顯著的反相關關係¹⁶。就像蹺蹺板一樣，當 TPN 活躍時，DMN 應當受到抑制；反之亦然。這種反相關性的強度被視為大腦健康的指標。

- 研究發現，長期冥想者展現出更強的 DMN-TPN 反相關性。這意味著他們能更迅速、更徹底地從「發呆模式」切換到「專注模式」，並且在專注時較少受到自我指涉思維的干擾¹⁶。
- 在注意力不足過動症(ADHD)患者中，這種反相關性往往減弱，導致 DMN 在需要專注的時刻「入侵」，引發分心¹⁷。

2.3 突顯網絡(SN): 關鍵的切換器

介於 DMN 與 TPN 之間的是突顯網絡(Salience Network, SN)，它扮演著「開關」的角色。

- **解剖結構**: 以**前腦島(Anterior Insula, AI)和背側前扣帶皮層(dACC)**為核心³。
- **功能角色**:
 - **前腦島(AI)**: 負責內感受(Interoception)，即對身體內部狀態(如心跳、呼吸、腸胃蠕動)的感知。它是將生理訊號轉化為主觀感受的關鍵區域¹。
 - **背側前扣帶皮層(dACC)**: 負責衝突監控(Conflict monitoring)和錯誤偵測。它評估當下的刺激是否重要，並決定是否要抑制 DMN 並啟動 TPN³。
- **切換機制**: 當 dACC 偵測到注意力偏離(例如在冥想中發現自己正在做白日夢)，它會向 TPN 發送信號以重新導向注意力，同時抑制 DMN。前腦島則透過增強對當下身體感覺的覺察，協助將意識「錨定」在當下¹⁹。

2.4 神經網絡動力學比較表

下表總結了不同意識狀態下三大網絡的活動模式³:

意識狀態	DMN (自我/遊移)	TPN (執行/專注)	SN (突顯/切換)	網絡特徵描述
心智遊移(休息)	高度活躍	低度活躍	低度活躍	典型的「白日夢」狀態，充滿自我敘事與過去/未來的思維。
專注工作(努力)	受抑制	高度活躍	高度活躍	依靠強大的執行控制來維持專注，主觀上感到費力，ACC 持續監控衝突。
心流狀態(Flow)	特異性去活化(特別是 mPFC)	特定區域活躍(如運動/視覺區)	活躍	「不費力的專注」。DMN 關閉以消除自我干擾，TPN 高效運作但無過度監控，呈現網絡同步化。

專注冥想 (FAM)	受抑制	活躍 (dlPFC)	活躍 (ACC/Insula)	透過反覆的「偵測-轉移」練習，強化 TPN 對 DMN 的抑制能力。
開放監控冥想 (OM)	受抑制	中度活躍	高度活躍 (Insula)	強調對感官經驗的非反應性覺察，減少頂層控制，增強內感受處理。

3. 心流狀態的神經機制：從「暫時性前額葉低功能」到「同步化」

心流狀態的神經生物學解釋經歷了顯著的演變。早期的理論側重於特定腦區的關閉，而現代觀點則強調網絡間的協同作用。

3.1 暫時性前額葉低功能假說 (Transient Hypofrontality Hypothesis, THH)

由 Arne Dietrich 於 2003 年提出的 THH 是心流研究中最具影響力但也最具爭議的理論之一¹。

- 核心論點：前額葉皮質 (PFC) 負責高階認知功能，如自我反省、複雜計畫、時間知覺和社會抑制。這些功能運算速度慢且耗能。為了應對需要快速反應的高挑戰任務（如爵士樂即興演奏或下坡滑雪），大腦會暫時「關閉」或下調 PFC 的活動，將控制權移交給更原始、反應更快的感覺運動系統（如基底核）。
- 現象學解釋：
 - 無我 (Loss of Self)：由於負責自我建構的 mPFC 活動降低，個體感覺不到「觀察者」的存在。
 - 無時間感 (Timelessness)：負責時間計算的 dlPFC 部分區域活動減少，導致時間知覺扭曲。
 - 直覺行動：抑制解除 (Disinhibition) 使得內隱知識 (Implicit knowledge) 能直接轉化為行動，繞過意識的審查。
- 支持證據：Limb & Braun (2008) 對爵士樂手進行的 fMRI 研究顯示，在即興演奏時，樂手的 dlPFC（負責監控與計畫）活動顯著下降，而 mPFC（在此情境下可能與自我表達有關）活動增加¹。這被視為「關閉內在批評者」的證據。

3.2 同步化理論 (Synchronization Theory)

隨著研究的深入，學者如 Weber 和 Huskey 提出了挑戰 THH 的觀點，即同步化理論²⁰。

- 對 THH 的批評：心流不僅僅是自動化反應，它往往涉及高度複雜的決策和專注（例如外科手術或程式設計）。如果 PFC 完全關閉，個體將無法進行這些高階認知活動。此外，Ulrich 等人（2014, 2016）的研究發現，在心算任務的心流狀態中，前額葉的特定區域（如下額回）活動實際上是增加的²³。
- 核心論點：心流並非大腦的「關機」，而是認知控制網絡（TPN）與獎賞網絡（Reward Network）的高度同步化。
- 能量優化機制：當挑戰與技能完美匹配時，大腦進入一種「能量優化」狀態。各腦區之間的通訊變得極為高效，神經雜訊（Neural noise）降低。這種同步化使得大腦能在不消耗過多額外能量的情況下維持高強度的專注²⁰。
- 快樂的來源：該理論特別強調，這種網絡同步化在本質上是令人愉悅的，解釋了心流的「自成目的」（Autotelic）性質。

3.3 整合觀點：選擇性去活化與模組化

目前的共識趨向於一種更精細的觀點：選擇性去活化（Selective Deactivation）。

心流並非整個前額葉的關閉，而是特定功能的消長。

- 被抑制的區域：內側前額葉皮質（mPFC）。這是關鍵所在，因為它負責自我指涉與後設認知（Metacognition，即思考自己的思考）。抑制這裡消除了懷疑和自我監控的干擾。
- 被保留/增強的區域：**背外側前額葉皮質（dlPFC）**的注意力控制迴路以及與任務相關的感覺運動皮層。
- 結果：大腦進入一種「高效率」模式，保留了執行任務所需的控制力，但剝離了多餘的自我反思。這種狀態在 EEG 上表現為 Alpha 波（放鬆）與 Theta 波（專注/創造力）的特定組合，有時伴隨著 Gamma 波的同步²。

4. 冥想的神經可塑性：大腦結構與功能的重塑

如果說心流是一種暫時的狀態，那麼長期冥想則是一種能夠永久改變大腦結構與功能的訓練，這些改變反過來促進了心流的發生。這就是所謂的神經可塑性（Neuroplasticity）。

4.1 結構性改變（Hardware Remodeling）

長期冥想練習已被證實能導致大腦特定區域的灰質體積增加和皮層增厚。

1. 前額葉皮質（PFC）：Lazar 等人的研究發現，長期冥想者的 PFC 皮層厚度增加，特別是與注意力控制和感覺處理相關的區域。這可能有助於抵消老化帶來的認知衰退¹⁵。
 - 對心流的意義：更發達的 PFC 意味著更強的「由上而下」（Top-down）注意力控制能力，這是進入心流所需的「專注」階段的基礎。
2. 前腦島（Anterior Insula）：冥想者的島葉體積顯著增加。
 - 對心流的意義：島葉負責整合身體感覺。強大的島葉功能使個體能更敏銳地感知當下狀態，有助於身心合一的體驗³。
3. 海馬迴（Hippocampus）：負責記憶與情緒調節。冥想訓練能增加海馬迴的灰質密度。

- 對心流的意義：海馬迴與皮質醇(Cortisol)的調節有關。更健康的海馬迴能更好地抑制壓力反應，防止焦慮破壞心流狀態¹⁵。

4. 杏仁核(Amygdala)：多項研究顯示，經過正念減壓(MBSR)訓練後，杏仁核的體積縮小，且其對情緒刺激的反應性降低⁴。

- 對心流的意義：杏仁核是恐懼中樞。較小的杏仁核意味著較高的壓力閾值。這使得個體在面對高挑戰時，不易觸發「戰或逃」反應，從而更容易維持在「挑戰-技能平衡」的通道中，而不是滑向焦慮區¹。

4.2 功能性連接改變 (Software Updates)

除了結構改變，冥想還重塑了腦區之間的溝通模式。

1. DMN 與 TPN 的解耦與整合：如前所述，冥想者在休息狀態下展現出更強的 DMN-TPN 反相關性¹⁶。這意味著他們的大腦在「專注」與「休息」之間的界線更為清晰，減少了神經資源的浪費。
2. 杏仁核與 PFC 的連接增強：冥想增強了 PFC 對杏仁核的抑制性連接。這解釋了為何冥想者能更快地從情緒擾動中恢復(Equanimity)²⁹。
3. Gamma 波同步化：Lutz 等人對藏傳佛教高僧的研究發現，他們在進行慈悲冥想時，大腦呈現出驚人的高振幅 Gamma 波同步⁵。
 - 意義：Gamma 波與特徵綁定(Feature binding)和頓悟(Insight)有關。這種常態性的同步暗示了一種高度整合的意識狀態，可能是「心流」與「覺察」的共同神經基礎。

5. 神經化學機制：意識狀態的「雞尾酒」

心流與冥想的主觀體驗差異——一個是高能量的興奮，一個是深度的平靜——在很大程度上是由不同的神經傳導物質組合所驅動的。然而，它們共享著關鍵的「愉悅分子」。

5.1 心流的生化雞尾酒 (The Flow Cocktail)

心流被認為是大腦唯一能同時釋放五種強效神經化學物質的時刻，這種組合極大地提升了表現並產生強烈的內在獎賞¹²。

神經傳導物質	類別	功能	在心流中的作用機制
多巴胺 (Dopamine)	興奮性	獎賞、專注、模式識別	當挑戰與技能匹配時釋放。它增強了信噪比，幫助大腦過濾干擾，並驅動「自成目的」的成癮性特

			質。
去甲腎上腺素 (Norepinephrine)	興奮性	覺醒、注意力、心跳	由藍斑核 (Locus Coeruleus, LC) 釋放。它提升生理覺醒度，使反應變快。在心流中，其濃度處於「倒 U 型」曲線的頂點——足夠興奮以維持專注，但未達到引發焦慮的程度 ²⁵ 。
花生四烯酸乙醇胺 (Anandamide)	內源性大麻素	橫向思維、抗焦慮	被稱為「極樂分子」。它抑制神經間的過度抑制，促進橫向連結(創造力)，並產生類似大麻的平靜感，抵消去甲腎上腺素可能帶來的焦慮 ³⁰ 。
腦內啡 (Endorphins)	鴉片類	鎮痛、欣快感	強效止痛劑。解釋了為何運動員在心流中能忽略疼痛。它帶來深層的平靜與欣快。
血清素 (Serotonin)	調節性	情緒穩定、滿足感	主要在心流結束後的「餘韻」(Afterglow) 階段釋放，帶來滿足感與成就感 ²⁷ 。

5.2 冥想的生化環境

冥想的神經化學特徵則更偏向於鎮靜與副交感神經的調節，但在深度專注階段仍涉及多巴胺。

1. **GABA (γ-胺基丁酸)**: 大腦主要的抑制性神經傳導物質。冥想顯著增加 GABA 水平，這有助於抑制 DMN 的雜訊，產生「寂靜」的心理效果²⁷。這就像是關掉了大腦背景噪音的音量旋鈕。
2. 血清素：冥想者顯示出較高的血清素基線水平，這關聯到情緒的穩定與幸福感。
3. 乙醯膽鹼 (Acetylcholine)：與副交感神經系統(迷走神經)的活化有關，負責降低心率並維持「放鬆的警覺」(Relaxed alertness)。
4. 多巴胺：在專注冥想(如觀呼吸)中，當注意力成功維持在目標上時，大腦會釋放多巴胺作為獎賞，強化這條神經迴路²⁷。

5.3 藍斑核-去甲腎上腺素系統 (LC-NE System) 的關鍵角色

藍斑核 (LC) 是大腦去甲腎上腺素 (NE) 的主要來源，它調節全腦的覺醒狀態 (Arousal)。

- 低 NE: 昏沈、無聊。
- 高 NE: 焦慮、分心、戰或逃。
- 適中 NE: 心流區。這是一種「既興奮又放鬆」的矛盾狀態。
- 機制: 研究指出，心流與瞳孔直徑 (LC 活動的指標) 呈現倒 U 型關係。冥想訓練可能優化了 LC 的功能，使其能在不觸發 HPA 軸 (壓力荷爾蒙) 過度反應的情況下，維持適度的覺醒水平²⁵。這解釋了為何冥想者能在高壓環境下保持冷靜。

6. 整合分析: 冥想如何作為心流的鷹架？

本報告的核心洞見在於：冥想訓練是獲得心流體驗的基礎架構工程。這並非臆測，而是基於以下具體的神經機制證據³⁴：

6.1 注意力控制的轉化：從費力到不費力

文獻區分了「費力注意力」(Effortful Attention) 與「不費力注意力」(Effortless Attention)。

- 初學者：依賴費力的「由上而下」控制，大量消耗 dlPFC 的葡萄糖。這很難持久。
- 專家/心流：進入一種自動化的注意力模式。研究發現，長期的「開放監控冥想」訓練能增強** 多重需求系統 (Multiple Demand System)** 的效率，特別是透過 ACC-PCC-紋狀體迴路，這是一條更節能的路徑³⁷。
- 結論：冥想訓練大腦以更少的能量維持專注。這種「神經效率」(Neural Efficiency) 正是心流「不費力」特質的神經基礎。

6.2 壓力閾值的重設與 HPA 軸調節

心流要求「挑戰高於平均水平」。對於未經訓練的大腦，高挑戰容易觸發杏仁核與下視丘-腦下垂體-腎上腺 (HPA) 軸的壓力反應，釋放過量皮質醇，導致前額葉「當機」(Choking)。

- 機制：冥想透過刺激迷走神經 (Vagus Nerve)，增強副交感神經張力 (Parasympathetic Tone)³⁸。這形成了一個生理上的「安全氣囊」。
- 結果：當挑戰來臨時，冥想者的大腦能保持「放鬆的警覺」。迷走神經的煞車作用防止了心跳過速和焦慮，使得個體能在高覺醒 (High Arousal) 狀態下保持冷靜，這正是進入心流的完美生理條件⁴⁰。

6.3 錯誤監控的去敏感化

心流需要冒險與創造。如果過度在意錯誤 (高 DMN/ACC 活性)，心流就會中斷。

- 機制：冥想中的「不評價」(Non-judgmental) 練習，實際上是在訓練大腦減弱 ACC 對錯誤的過度反應，以及斷開 ACC 與杏仁核的恐懼連結。
- 結果：這使得個體在行動中犯錯時，不會陷入自我批評的漩渦，而是能迅速調整並繼續，維持

心流的連續性。

7. 腦波振盪動力學：從 Alpha 橋樑到 Gamma 同步

腦波(Neural Oscillations)反映了神經元的同步放電，是區分不同意識狀態的重要指標。

7.1 Alpha-Theta 橋樑：心流的頻譜

心流狀態常被描述為處於 Alpha 波(8-12 Hz) 與 Theta 波(4-8 Hz)的邊界⁵。

- **Alpha 波**：代表放鬆、清醒但無特定任務的狀態。這是 DMN 休息的標誌。
- **Theta 波**：通常與淺睡、深層潛意識、創造力和記憶提取有關。
- **機制**：在心流中，前額葉的邏輯思維部分稍微「降頻」至 Alpha(放鬆)，允許更深層的 Theta (直覺/內隱知識)浮現。這種組合允許「在放鬆中執行複雜任務」。

7.2 Gamma 波：專注與整合的極致

Gamma 波(30-100 Hz)代表大腦不同區域之間的高速通訊與整合，通常與頓悟(Eureka moments)有關。

- **發現**：Lutz 等人發現，資深冥想者(如奧運級別的僧侶)在冥想甚至休息時，展現出極高振幅的 Gamma 同步⁵。
- **對比**：一般人的 Gamma 波是短暫的(如解開謎題的一瞬間)，而資深冥想者似乎將這種「頓悟狀態」轉化為了一種常態特質(Trait)。這支持了「覺醒」或「開悟」可能在神經學上對應於一種持續的高整合 Gamma 狀態。

7.3 數據比較：腦波特徵

頻率	一般清醒 (Beta)	淺層冥想 (Alpha)	深層冥想 (Theta/Gamma)	心流狀態 (Alpha/Theta)
Hz	13-30 Hz	8-12 Hz	4-8 Hz / 30+ Hz	8-12 Hz / 4-8 Hz
特徵	分析、壓力、忙碌	放鬆、平靜、橋樑	潛意識存取 / 高度整合	自動化、創造力、無我
神經機制	皮質去同步化	丘腦-皮質迴路同步	海馬迴活躍 / 全腦同步	前額葉 Alpha 優勢 + 眦葉 Theta

8. 臨床與實務應用：邁向心理健康的未來

理解這些機制不僅具有學術價值，更對心理健康治療與效能提升有深遠影響。

8.1 治療 DMN 病理學

既然焦慮、憂鬱和 PTSD 都與 DMN 的功能失調（過度活躍或連接異常）有關，心流與冥想提供了兩種互補的治療路徑：

1. 冥想（由內而外）：直接訓練 DMN 的抑制，增強前額葉對情緒中心的控制。
2. 心流（由外而內）：透過參與高挑戰性的活動（如藝術治療、運動），強制徵招 TPN，從而「排擠」掉 DMN 的能量。這被稱為「行為活化療法」（Behavioral Activation）的神經基礎⁹。

8.2 心流駭客（Flow Hacking）與生物回饋

基於神經科學，我們可以設計出更可靠進入心流的方法：

- 神經回饋（Neurofeedback）：訓練個體主動增加 Alpha 波或 SMR（感覺運動節律），以模擬心流的腦波特徵。
- 呼吸調節：利用長吐氣（呼氣時間長於吸氣）來刺激迷走神經，釋放乙醯膽鹼，降低心率，為心流創造「低焦慮、高覺醒」的生理平台³⁹。
- 環境設計：創造明確的目標與即時回饋機制（心流的心理條件），這能滿足大腦預測編碼（Predictive Coding）的需求，促進多巴胺釋放。

9. 結論：整合的心智

綜合上述分析，心流與冥想並非截然不同的實體，而是人類意識光譜上緊密關聯的兩個波段。它們共享著同樣的神經生物學基礎：從以「自我」為中心的默認模式，轉向以「當下」為中心的整合模式。

這份研究揭示了一個深層的因果關係：冥想是心流的訓練場。

透過冥想，我們重塑了大腦的硬體（皮層增厚、杏仁核縮小）和軟體（DMN-TPN 切換效率、Gamma 同步）。這使得大腦變成一個更高效的導體，能夠在極低的內阻（自我懷疑、恐懼）下，傳導高強度的能量（專注、行動）。

未來的研究應進一步探索如何結合這兩者——例如在運動訓練中融入正念，或在企業環境中利用心流設計工作流程——以實現人類潛能的真正釋放。這不僅是關於如何工作得更好，更是關於如何生活得更深刻、更自由。

表 3：心流與冥想的關鍵比較總結

特徵	心流狀態 (Flow)	冥想狀態 (Meditation)
主要驅動力	外部挑戰與技能的平衡	內部意圖與注意力的調節
DMN 活動	特異性去活化 (Hypofrontality)	主動抑制與解耦 (Decoupling)
主要神經化學	多巴胺、去甲腎上腺素、Anandamide	GABA、血清素、乙醯膽鹼
覺醒水平 (Arousal)	高覺醒 (但受控)	低覺醒 (放鬆) 或 高警覺 (Gamma)
自我感	遺忘 (因專注於任務)	超越 (因觀察到自我的虛幻)
時間感	扭曲 (變快或變慢)	擴展 (當下時刻的永恒感)
主要腦波	Alpha / Theta 邊界	Alpha / Theta / Gamma (視深度而定)

(報告結束)

參考資料代碼說明：代表原始研究片段來源。

Works cited

1. The Neuroscience of Flow: Inside the Brain's Most Powerful State – ENO - enophones, accessed December 12, 2025, <https://getenophone.com/blogs/news/the-neuroscience-of-flow-inside-the-brain-s-most-powerful-state>
2. EEG Correlates of the Flow State: A Combination of Increased ..., accessed December 12, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5855042/>
3. Functional Connectivity of Prefrontal Cortex in Various Meditation Techniques – A Mini-Review – PMC – PubMed Central, accessed December 12, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10026337/>
4. Positive Neuroscience: Comparing the Neural Correlates of Meditation and Creative Flow, accessed December 12, 2025, <https://www.jsr.org/hs/index.php/path/article/view/5264>
5. Brainwaves: Altered States & Technologies - FitMind, accessed December 12, 2025,

<https://fitmind.org/blog-collection/brainwaves-in-meditation-brain-wave-frequencies>

6. (PDF) The Physiology of Effortless Attention: Correlates of State Flow and Flow Proneness, accessed December 12, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/275956747_The_Physiology_of_Effortless_Attention_Correlates_of_State_Flow_and_Flow_Proneness
7. Effortless training of attention and self-control: Mechanisms and applications - PMC - PubMed Central, accessed December 12, 2025,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9625113/>
8. Neuroscience of Mindfulness - DMN and TPN - A YTL Research Highlight, accessed December 12, 2025,
<https://www.yogatherapylibrary.com/resources/neuroscience-of-mindfulness-dmn-tpn>
9. State and Training Effects of Mindfulness Meditation on Brain Networks Reflect Neuronal Mechanisms of Its Antidepressant Effect, accessed December 12, 2025,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4779536/>
10. 119. Default Mode Network vs. Task Positive Network | How our brains balance mind wandering and focused attention - Orman Physician Coaching, accessed December 12, 2025,
<https://roborman.com/stimulus/119-default-mode-network-vs-task-positive-network-how-our-brains-balance-mind-wandering-and-focused-attention/>
11. What Is the Neurological Difference between the Brain Activity in Flow versus Wandering?, accessed December 12, 2025,
<https://lifestyle.sustainability-directory.com/learn/what-is-the-neurological-difference-between-the-brain-activity-in-flow-versus-wandering/>
12. The Science Behind Flow State | Achieving Optimal Performance with Dingbats, accessed December 12, 2025,
<https://eu.dingbats-notebooks.com/blogs/the-dingbats-blog/the-science-behind-flow-state-achieving-optimal-performance-with-dingbats>
13. Finding Flow: The Optimal State of Consciousness | by Dr Jeff W Welsh | Medium, accessed December 12, 2025,
<https://medium.com/@JeffWWelsh/finding-flow-the-optimal-state-of-consciousness-97773531908e>
14. Meditation experience is associated with differences in default mode network activity and connectivity | PNAS, accessed December 12, 2025,
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1112029108>
15. Neuroscience of Mindfulness Meditation - Wharton Neuroscience Initiative - University of Pennsylvania, accessed December 12, 2025,
https://neuro.wharton.upenn.edu/community/winss_scholar_blog2/
16. Attention and Default Mode Network Assessments of Meditation ..., accessed December 12, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8144977/>
17. Fell down the DMN and TPN hole. I have a whole new perspective now on ADHD. - Reddit, accessed December 12, 2025,
https://www.reddit.com/r/adhdwomen/comments/1noyvb7/fell_down_the_dmn_and_tpn_hole_i_have_a_whole_new/

18. (PDF) Neural correlates of establishing, maintaining, and switching brain states, accessed December 12, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/225053082_Neural_correlates_of_establishing_maintaining_and_switching_brain_states
19. Neural mechanisms of mindfulness and meditation: Evidence from neuroimaging studies - PMC - PubMed Central, accessed December 12, 2025,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4109098/>
20. An efficiently working brain characterizes higher mental flow that ..., accessed December 12, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10267646/>
21. Turning on Flow Means Turning Off Parts of the Brain - BrainFacts, accessed December 12, 2025,
<https://www.brainfacts.org/thinking-sensing-and-behaving/thinking-and-awareness/2024/turning-on-flow-means-turning-off-parts-of-the-brain-031224>
22. The Transient Hypofrontality Edge | Psychology Today, accessed December 12, 2025,
<https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-edge-peak-performance-psychology/201703/the-transient-hypofrontality-edge>
23. Flow state in psychology and neuroscience: current research ... - OSF, accessed December 12, 2025, https://osf.io/download/7enhx_v1/
24. Flow state: Definition, examples, and how to achieve it - Medical News Today, accessed December 12, 2025,
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/flow-state>
25. The Neuroscience of the Flow State: Involvement of the Locus ..., accessed December 12, 2025,
<https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2021.645498/full>
26. Brief Mindfulness Meditation Induces Gray Matter Changes in a Brain Hub - PMC, accessed December 12, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7704181/>
27. Mindfulness and Meditation: Exploring the Neurobiological Impact of Meditation on Stress, Health, and Longevity | Healthspan, accessed December 12, 2025,
<https://www.gethealthspan.com/research/article/neuroscience-meditation-effect-s-brain>
28. Neurobiological Changes Induced by Mindfulness and Meditation: A Systematic Review, accessed December 12, 2025,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11591838/>
29. New Research Reveals That Meditation Induces Changes in Deep Brain Areas Associated with Memory and Emotional Regulation | Mount Sinai, accessed December 12, 2025,
<https://www.mountsinai.org/about/newsroom/2025/new-research-reveals-that-meditation-induces-changes-in-deep-brain-areas-associated-with-memory-and-emotional-regulation>
30. The Neuroscience of Highly Productive Flow States - The Bioneer, accessed December 12, 2025, <https://www.thebioneer.com/neuroscience-of-flow-states/>
31. The Neurochemistry of Flow States - Troy Erstling, accessed December 12, 2025, <https://troyerstling.com/the-neurochemistry-of-flow-states/>

32. The role of the locus coeruleus in the generation of pathological anxiety - PubMed Central, accessed December 12, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7479871/>
33. Locus Ceruleus Norepinephrine Release: A Central Regulator of CNS Spatio-Temporal Activation? - PMC, accessed December 12, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4999448/>
34. Flow and Mindfulness in Performance - ResearchGate, accessed December 12, 2025, https://www.researchgate.net/publication/364831197_Flow_and_Mindfulness_in_Performance
35. Neurofluid circulation changes during a focused attention style of mindfulness meditation | PNAS, accessed December 12, 2025, <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2504961122>
36. Trajectories of mindfulness, flow experience, and stress during an online-based MBSR program: the moderating role of emotional exhaustion - NIH, accessed December 12, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11285067>
37. Effortful and effortless training of executive functions improve brain multiple demand system activities differently - PubMed Central, accessed December 12, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10682784/>
38. Bolster Your Brain by Stimulating the Vagus Nerve - Cedars-Sinai, accessed December 12, 2025, <https://www.cedars-sinai.org/blog/stimulating-the-vagus-nerve.html>
39. Breath of Life: The Respiratory Vagal Stimulation Model of Contemplative Activity - PMC, accessed December 12, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6189422/>
40. Vagus Nerve | Psychology Today, accessed December 12, 2025, <https://www.psychologytoday.com/us/basics/vagus-nerve>
41. How the Parasympathetic Nervous System Can Lower Stress - HSS, accessed December 12, 2025, <https://www.hss.edu/health-library/move-better/parasympathetic-nervous-system>
42. Brain Waves: How to Activate Them, According to Science - Mindvalley Blog, accessed December 12, 2025, <https://blog.mindvalley.com/brain-waves/>
43. Vagus Nerve Stimulation Exercises: Improve Your Wellbeing at Home - Priory, accessed December 12, 2025, <https://www.priorygroup.com/self-care/vagus-nerve-exercises>