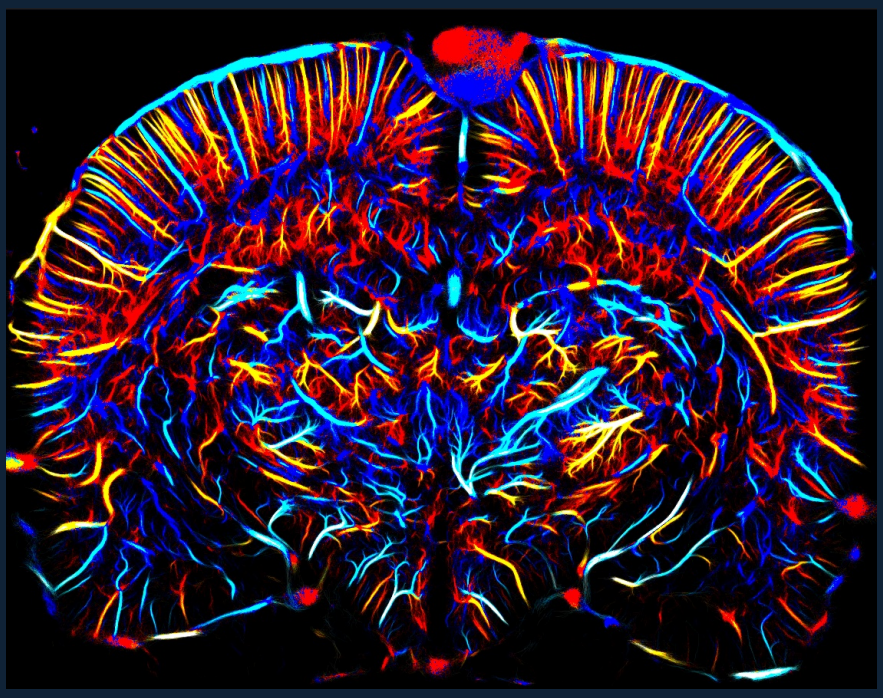
ICONEUS ONE

功能性超音波研究應用

以血流動力學連結腦功能、
行為、藥理與微血管研究。



從刺激相關活化與靜態態網路，
到缺血變化與超解析血管圖譜。



原廠 ULM 血管方向圖。色彩呈現流動方向的研究示例，需微氣泡與對應分析配置。

志德國際有限公司

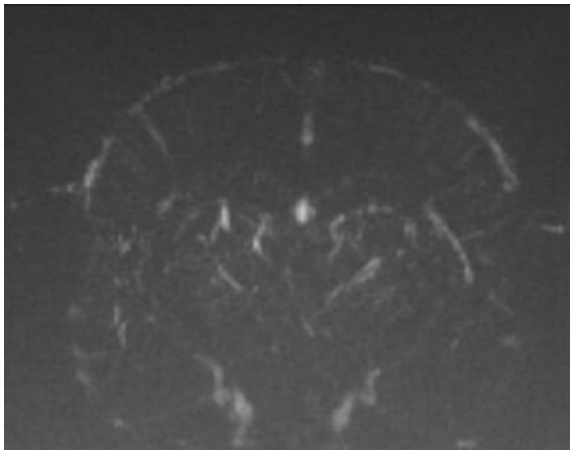
COMPANY & TECHNOLOGY

以腦血流訊號描繪腦功能

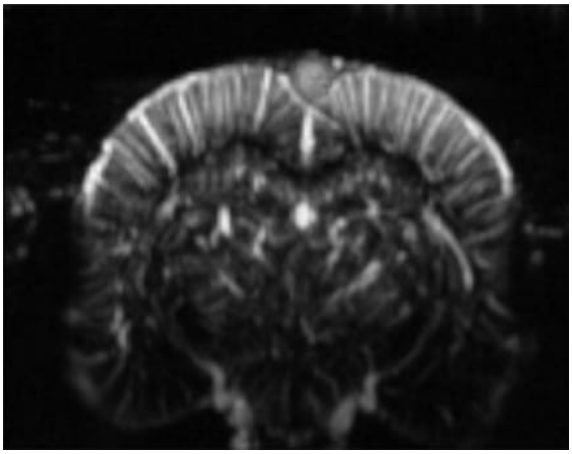
Iconeus 位於法國巴黎，由功能性超音波技術的發明團隊創立，將超音波物理、神經科學與軟體整合為研究平台。

fUS 的訊號從哪裡來？

超快速平面波擷取大量回波，經組織雜訊濾除與 Power Doppler 處理，突出移動紅血球的訊號。當局部神經活動改變，神經血管耦合可使區域腦血容量改變，形成可追蹤的間接功能訊號。



傳統 Doppler 原廠示例



功能性超音波原廠示例

相對 CBV 變化與功能活化

以基線正規化後的區域訊號，建立相對腦血容量（rCBV / ΔCBV）時間曲線，再與刺激、行為或給藥事件對齊。由於是血流反應，判讀須考量反應延遲與生理狀態。

fUS 不直接量測神經放電、血氧濃度或絕對腦血流量。一般 fUS 與注射微氣泡的 ULM 為不同讀出方式。

原廠 fUS 原理 >

APPLICATION MAP

先從研究問題選擇應用

以同一平台安排功能影像、網路分析與血管研究，依問題選擇探頭、動物配置及資料處理方式。

研究方向	可觀察 / 分析的內容	本冊頁面
感覺與任務	刺激相關活化區、ΔCBV 時間曲線、跨區域反應	P. 04
清醒與睡眠	行為事件、EEG / LFP 同步、睡眠階段的血流模式	P. 05–06
功能連結	腦區相關矩陣、種子點相關圖、全腦網路	P. 07–08
神經藥理	給藥前後區域反應、劑量與時間效應、連結變化	P. 09
缺血與中風	灌流訊號下降、閉塞與再灌流、區域差異	P. 10
微血管研究	ULM 血管定位、微氣泡軌跡、流速與方向	P. 11–12
轉譯研究	人腦與新生兒研究可行性、研究配置限制	P. 13

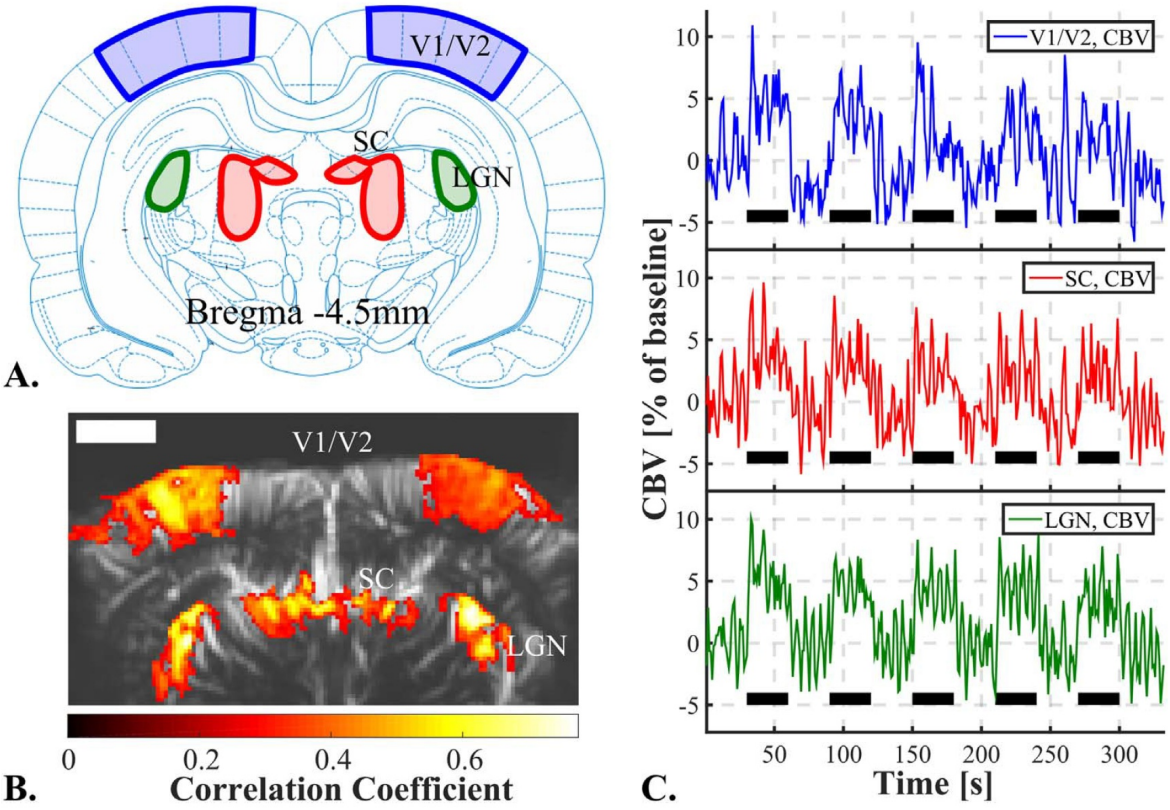
結果可與其他讀出並行

行為、電生理與影像共同記錄，有助於區分神經活動、血管反應及整體生理變化。

FUNCTIONAL ACTIVATION

感覺刺激與任務相關活化

比較刺激前後的區域血容量反應，將感覺輸入或任務事件與皮質、深部腦區的功能影像對齊。



視覺刺激研究示例：活化區域與時間曲線。Gesnik et al., 2017；圖像由 Iconeus 原廠應用簡報提供。

可以回答的研究問題

視覺、鬍鬚、聽覺或電刺激會引發哪些區域反應？不同刺激條件是否改變活化範圍、反應幅度與時間模式？以刺激開關、重複試驗及基線區段建立對照。

此視覺研究示例為麻醉、開顱大鼠配置，圖中呈現 V1 / V2、上丘及外側膝狀體反應。案例配置與結果不代表所有物種或完整顱骨條件。

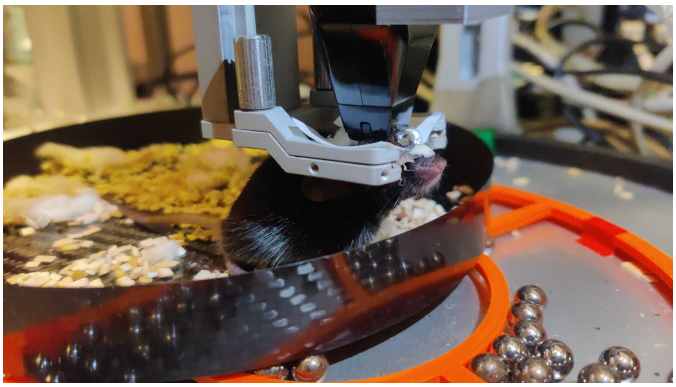
原廠功能影像 >

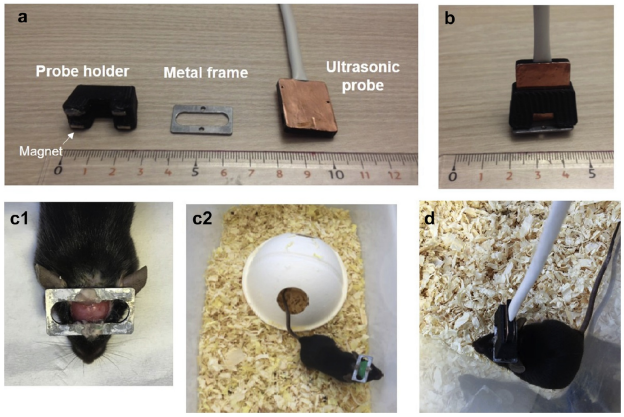
視覺刺激研究 >

AWAKE & BEHAVIORAL STUDIES

把腦血流變化與行為放在一起

清醒實驗可減少麻醉狀態對神經血管耦合的影響，並將任務、運動及感覺事件與影像同步。





頭部固定、可活動配置

例如 Mobile HomeCage 中的小鼠，可在頭部保持固定的情況下活動。利於穩定定位、感覺刺激與跨次試驗比較。

附帶探頭與纜線的移動配置

以輕量探頭與固定座建立移動動物配置，搭配行為追蹤。須確認探頭重量、纜線管理與運動偽影。

自然運動、探索與學習

在走迷宮或重複奔跑任務中，分析不同腦區的血流反應及試次間適應。同步行為影像或 LFP，將運動速度、事件與 rCBV 曲線對齊，避免將運動偽影判成活化。

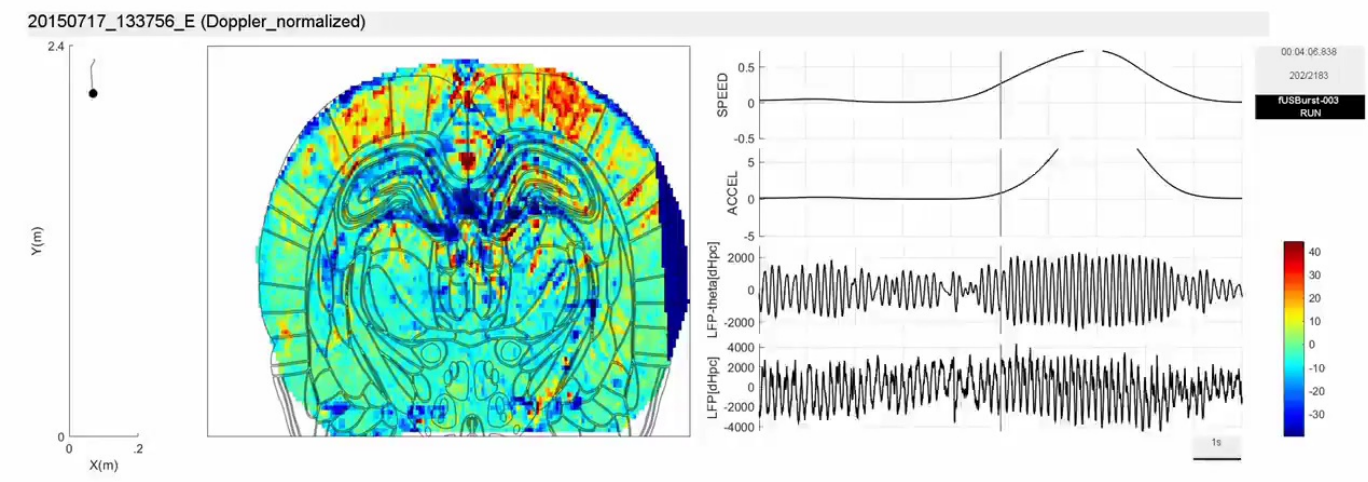
「清醒」需進一步區分頭部固定與可移動配置。成年大鼠等模型常需聲學窗口；小鼠經顱可行性仍依顱骨、年齡、頻率與研究目的確認。

移動大鼠研究 >

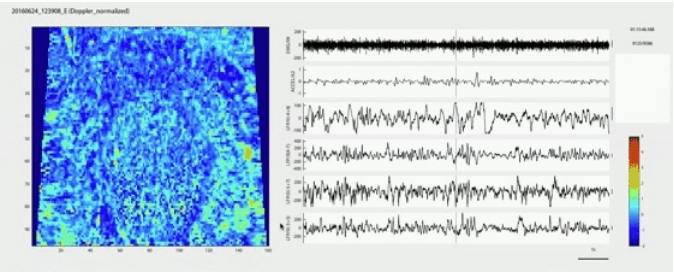
SLEEP & MULTIMODAL RECORDING

睡眠與自發腦活動的多模態研究

把 EEG / LFP 與血流訊號同步，研究電生理活動、睡眠狀態及區域血流模式之間的時間關係。



原廠簡報中的同步訊號示例。EEG / LFP 為電生理讀出，fUS 為血流動力學讀出，兩者需保持各自時間尺度。



REM 睡眠研究

Bergel 等研究以局部海馬快 gamma 節律與腦區充血模式的時間關聯，解析自發性 REM 睡眠中的神經血管反應。

實驗重點

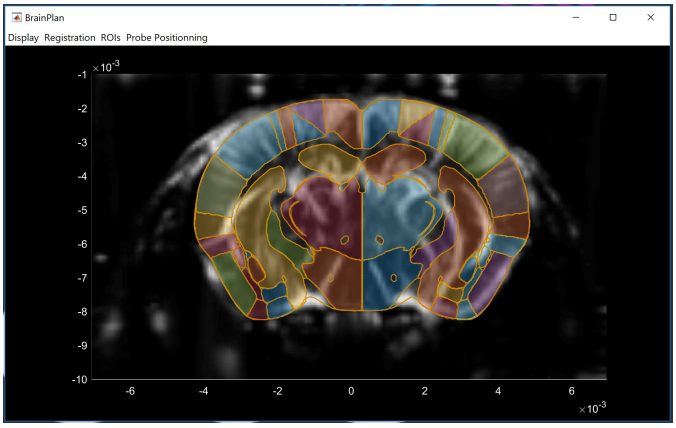
同步時脈與事件標記、睡眠分期、動作剔除及各訊號濾波設定，決定跨模態比較的可信度。實驗可比較睡眠階段與腦區模式，不能以 fUS 直接替代 EEG 睡眠判讀。

REM 睡眠研究 >

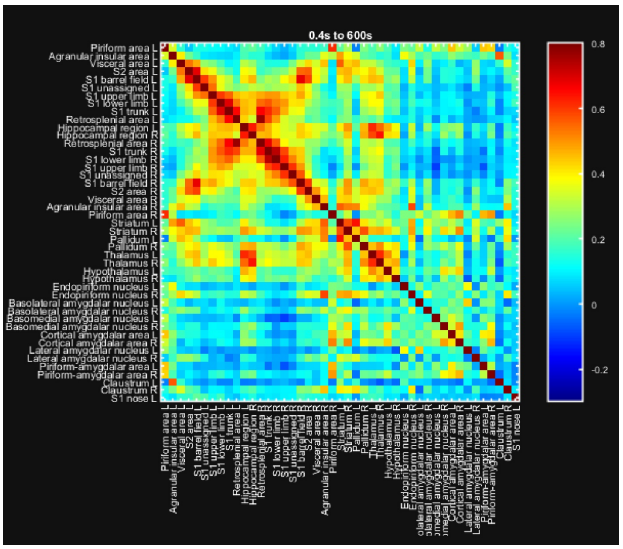
RESTING-STATE NETWORKS

靜息態功能連結與種子點分析

比較不同腦區自發性 rCBV 波動的時間相關性，描述休息、麻醉或介入前後的網路變化。



Allen 圖譜配準與 ROI 分區



區域間相關矩陣



種子點相關圖

以選定腦區為 seed，呈現與其他像素或 ROI 時間序列的相關程度。可觀察局部網路的空間分布。

圖像由 Iconeus 原廠應用簡報提供。軟體介面與分析例圖以實際版本和配置為準。

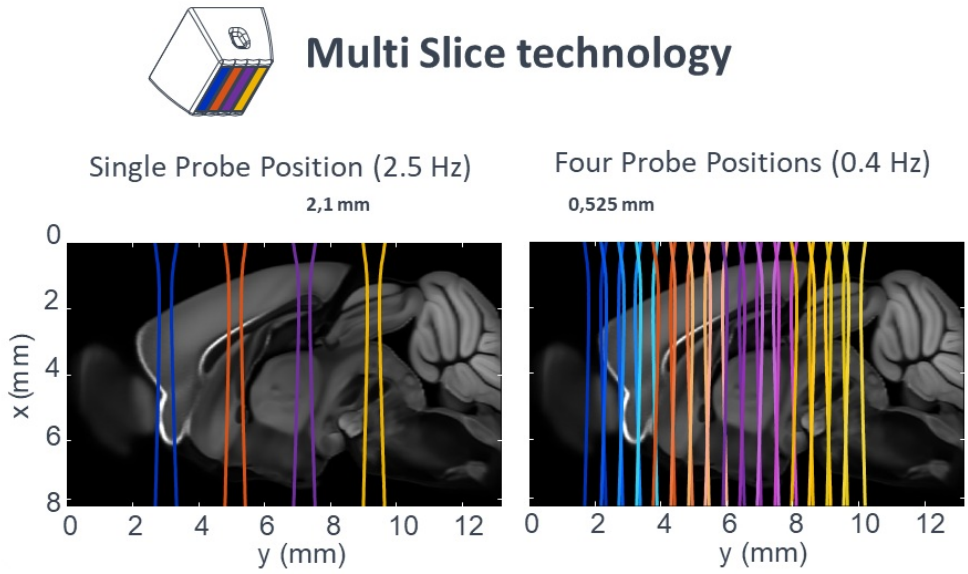
功能連結是統計相關，不能等同解剖連結或因果方向。須控制麻醉、生理狀態、運動、分析頻帶及圖譜配準品質。

原廠功能連結 >

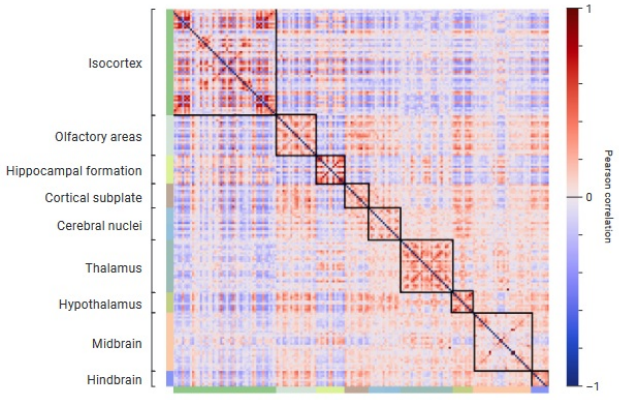
WHOLE-BRAIN ACQUISITION

MultiArray：擴展全腦網路覆蓋

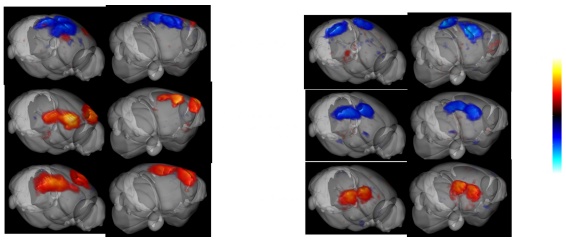
IcoPrime-4D MultiArray 同時取得四個 2D 切面，再以平台步進擴展體積覆蓋，適合頭部固定小鼠的全腦功能研究。



原廠多切面原理示例。MultiArray 的同步多切面與線性探頭單切面逐步掃描，具有不同採集時間與覆蓋取捨。



全腦區域相關矩陣



獨立成分分析（ICA）示例

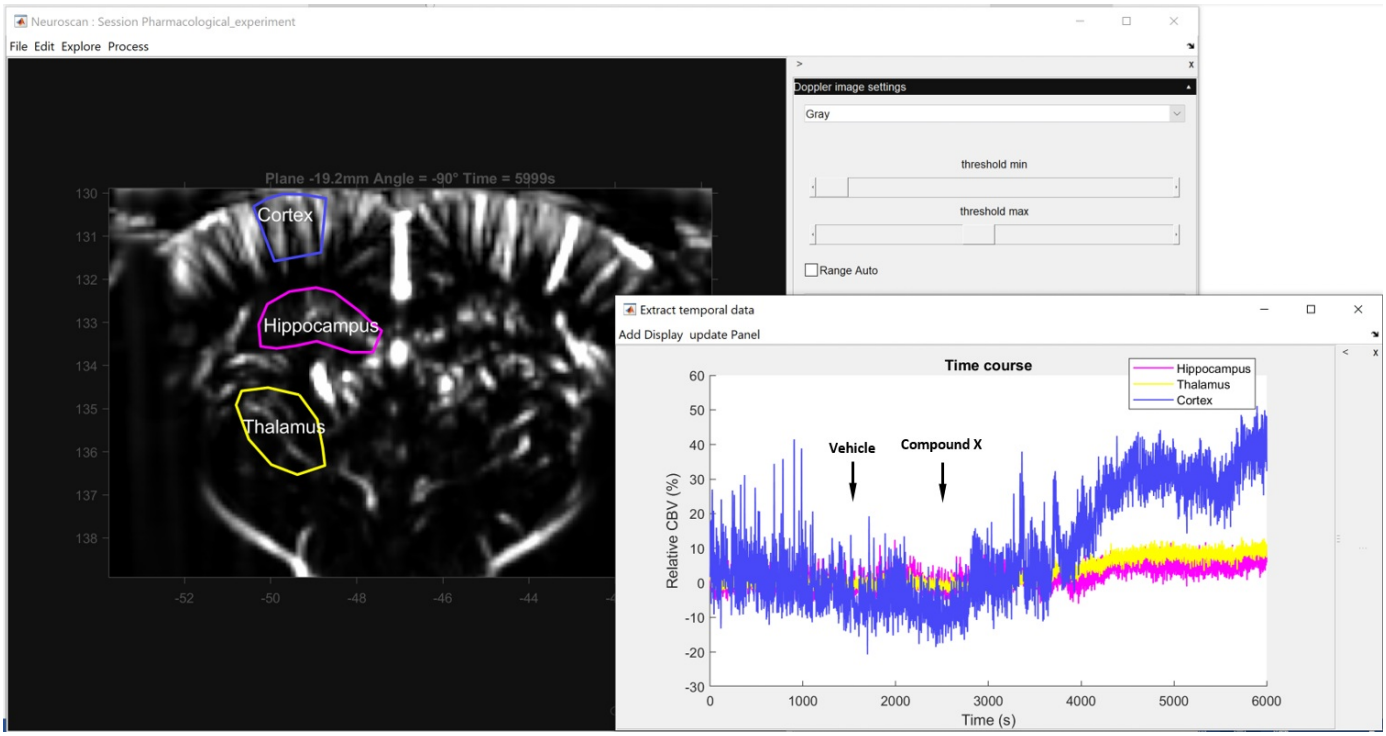
原廠簡報列示 8.4 × 10 mm 小鼠全腦覆蓋約 2.4 秒，屬該示例配置。實際體積更新率依步數、體積範圍與參數確認。

MultiArray / 探頭 >

NEUROPHARMACOLOGY

Pharmaco-fUS：追蹤給藥後腦反應

以區域 rCBV 時間曲線、活化圖與功能連結，分析給藥後反應的空間分布及時間過程。



原廠 Pharmaco-fUS 工作流程示例：Vehicle 與 Compound X 的區域相對 CBV 曲線。此圖未提供藥名、劑量、樣本數或統計顯著性。

從劑量反應到候選藥物比較

建立給藥前基線，加入 vehicle 與適當時間對照，分析皮質、海馬、視丘等 ROI 的反應。可研究藥效動力學與網路改變，與行為及其他神經生理指標共同評估。

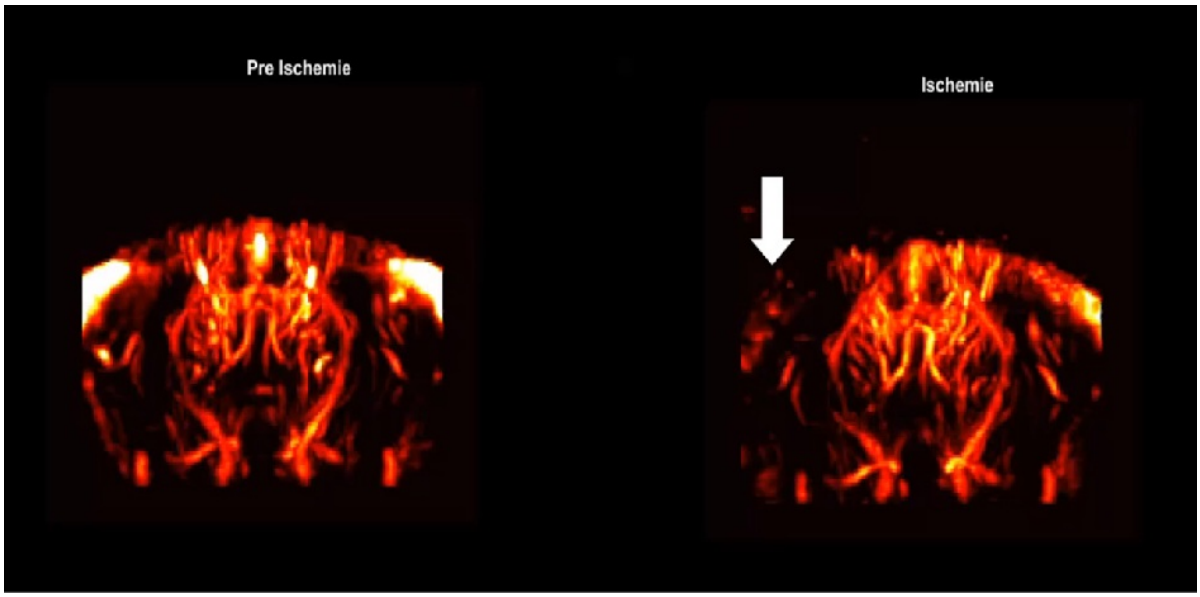
藥物可直接影響血管、血壓或全腦灌流。區域 rCBV 變化須與生理資訊一起判讀，不直接代表藥物濃度、受體佔有率或療效。

清醒小鼠 Pharmaco-fUS >
原廠藥理應用 >

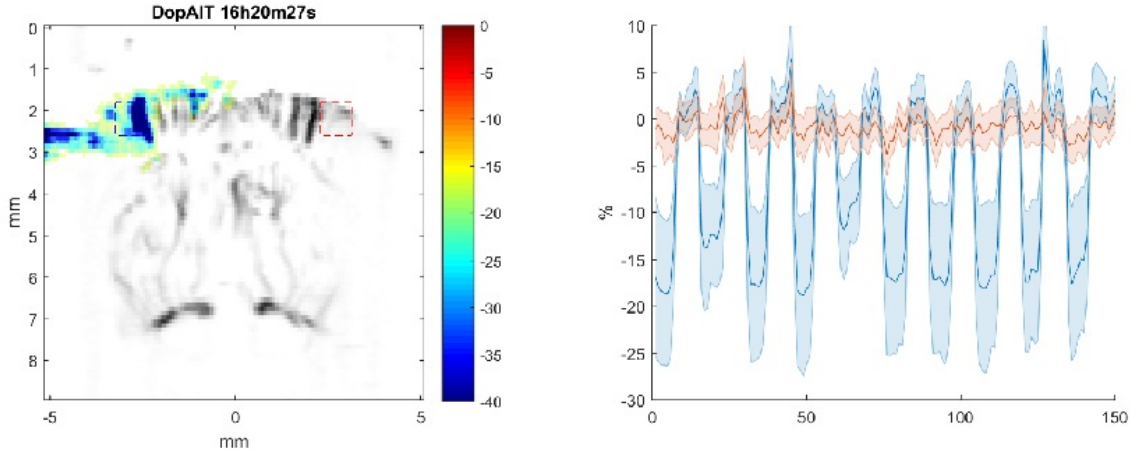
ISCHEMIA & REPERFUSION

中風模型：觀察缺血與血流恢復

追蹤區域血管訊號與 rCBV 的下降及恢復，分析閉塞、介入與再灌流的動態。



示例 A：凝血酶引發缺血前後的血容量訊號比較。圖像由 Iconeus 原廠應用簡報提供。



示例 B：左側中大腦動脈每20秒機械閉塞10秒的 ROI 變化曲線。此圖與示例 A 屬不同實驗，未列樣本數與統計。

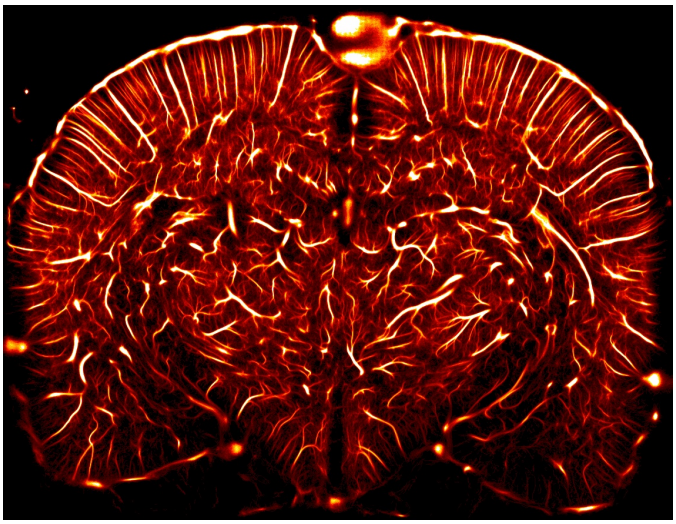
應用方向：區域缺血分布、反應時間、再灌流變化及治療介入前後比較。早期灌流影像可與後續 MRI 病灶及行為結果共同分析。

Hingot 小鼠中風研究 >

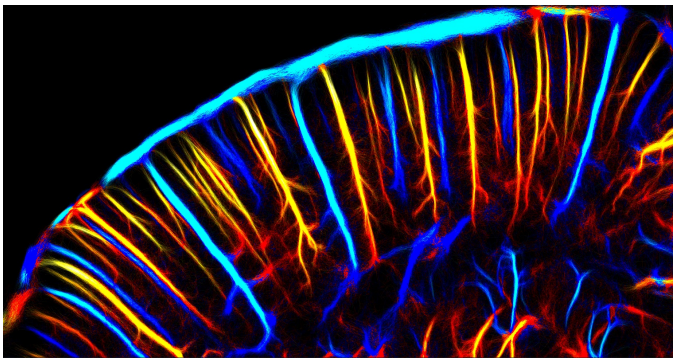
ULTRASOUND LOCALIZATION MICROSCOPY

ULM：深入觀察微血管與流動方向

微氣泡在血管內流動，經個別定位、追蹤與累積，形成超解析血管圖及流速 / 方向資訊。



血管定位密度 / 結構圖



局部血管流動方向圖

研究微血管架構與血管重塑

可評估血管分布、局部走行與微氣泡流速模式，並比較疾病或介入前後差異。對中風、側枝循環及微血管變化研究，可補充一般 Power Doppler 的功能血流資訊。

約 5 μm 是原廠列示的 ULM 平面內研究能力，需微氣泡、定位追蹤及資料累積，與一般無對比 fUS 的約 100 μm 成像不同。實際結果依深度、覆蓋與動作條件。

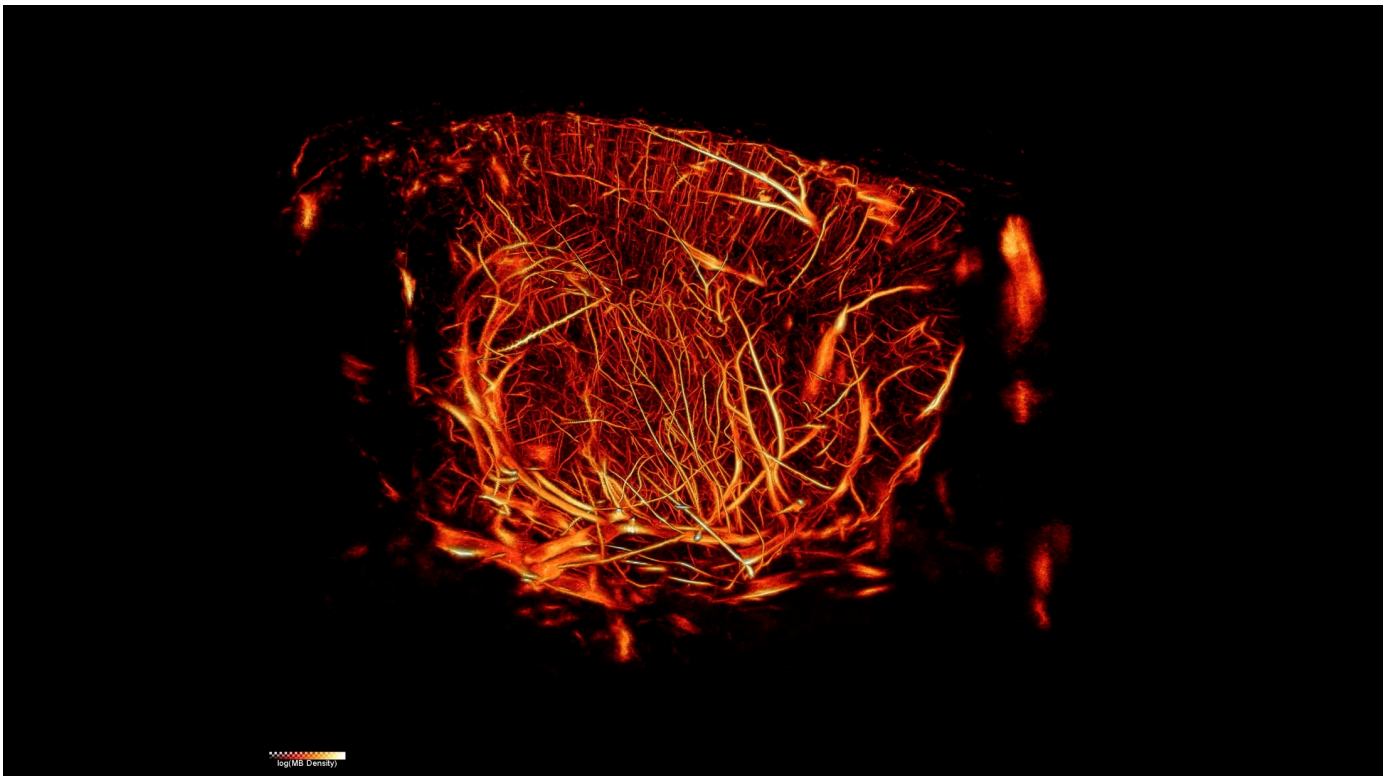
ULM 原理 >

ULM 代表文獻 >

VOLUMETRIC VASCULAR IMAGING

3D 血管圖譜與體積探頭

IcoPrime-4D RCA 為列行定址探頭，搭配 XDoppler 技術提供快速體積成像方向，可配置 3D ULM 研究。



原廠 RCA 3D ULM 血管渲染示例。圖像由 Iconeus 原廠研究簡報提供。

從單切面走向體積資料

當研究問題涉及血管三維走行或跨切面動態，體積探頭可提供更完整的空間關係。RCA 與 MultiArray 的採集方式不同，應依功能訊號靈敏度、體積範圍及所需更新率選擇。

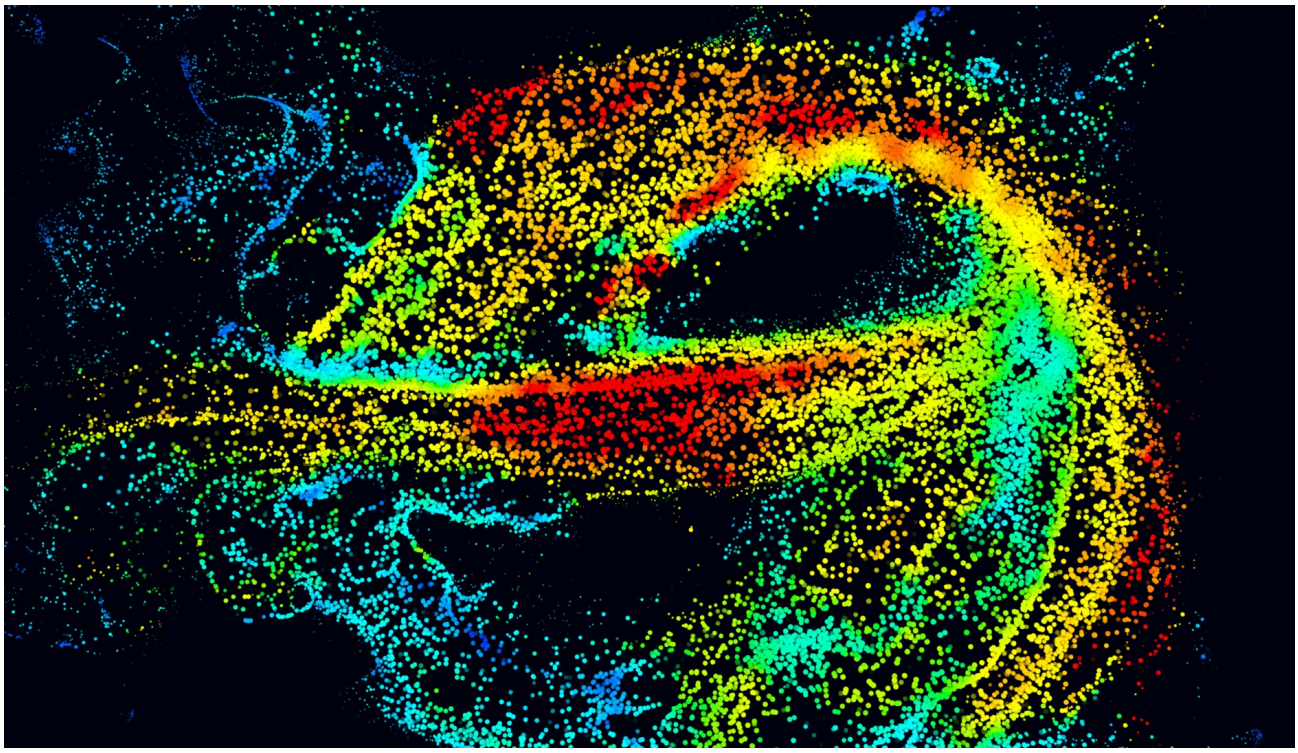
原廠列 RCA 視野約 1 cm³。所需聲學窗口、微氣泡與對應模組應按一般體積成像或 3D ULM 目的分別確認，不能把 2D 重建與所有體積模式視為同一性能。

體積探頭 >

TRANSLATIONAL RESEARCH

從動物模型到人腦研究可行性

原廠也投入成人經顱微血管成像、新生兒腦功能及灌流監測等研究，拓展 fUS 與 ULM 的轉譯應用。



原廠人腦研究影像。成人經顱成像條件與小動物不同，需確認顱骨像差、運動校正及微氣泡等研究方法。

代表研究方向

成人微血管經顱 ULM 可行性研究，以及新生兒 fUS 與 video-EEG 同步研究，提供灌流、睡眠狀態與癲癇相關血流模式的研究資訊。

此頁僅介紹研究方向。Iconeus 臨床研究頁聲明：頁上設備未取得 CE 標誌、未獲 FDA 許可，不供臨床診斷使用；研究使用需主管機關事前授權及合格人員監督。

原廠臨床研究與聲明 >

RESEARCH PLATFORM

Iconeus One：整合研究工作站

以可移動工作站、相容探頭、掃描平台與軟體建立實驗配置，支援不同動物及研究模式。



主要配置方向

功能性超音波成像工作站
相容的研究探頭
X、Y、Z 與旋轉四軸掃描平台
即時觀察及擷取控制
圖譜配準、活化與連結分析
安裝訓練與研究支援

產品能力與研究條件

原廠標準 15 MHz 探頭的典型體素列示為 100 × 100 × 400 µm，切面影像例示約 400 ms 更新。採集速度與覆蓋依探頭、序列、深度及資料處理設定變動。

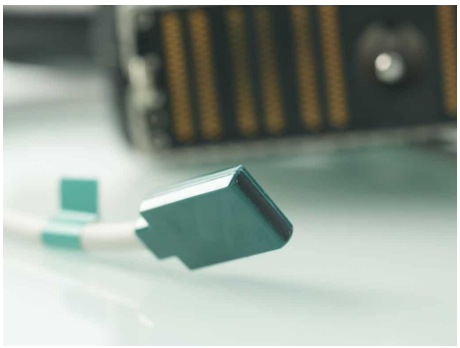
軟體授權數、ULM / 3D 模組、探頭及動物固定配件應依報價配置確認。研究案例數據與所有模式皆可同時達成的通用規格不同。

Iconeus One 產品資訊 >

PROBE SELECTION

依研究問題選擇探頭

重點是覆蓋、深度、更新率、動物固定方式及聲學入口。三個系列並非單純以解析度高低排序。



2D Linear 線性探頭

高靈敏單切面功能影像，適合刺激、藥理及移動配置。配合平台步進可建立多切面 3D，但需取捨體積更新時間。



IcoPrime-4D MultiArray

同時擷取四個切面，再以步進擴展小鼠全腦覆蓋，適合頭部固定的功能連結與網路研究。



IcoPrime-4D RCA

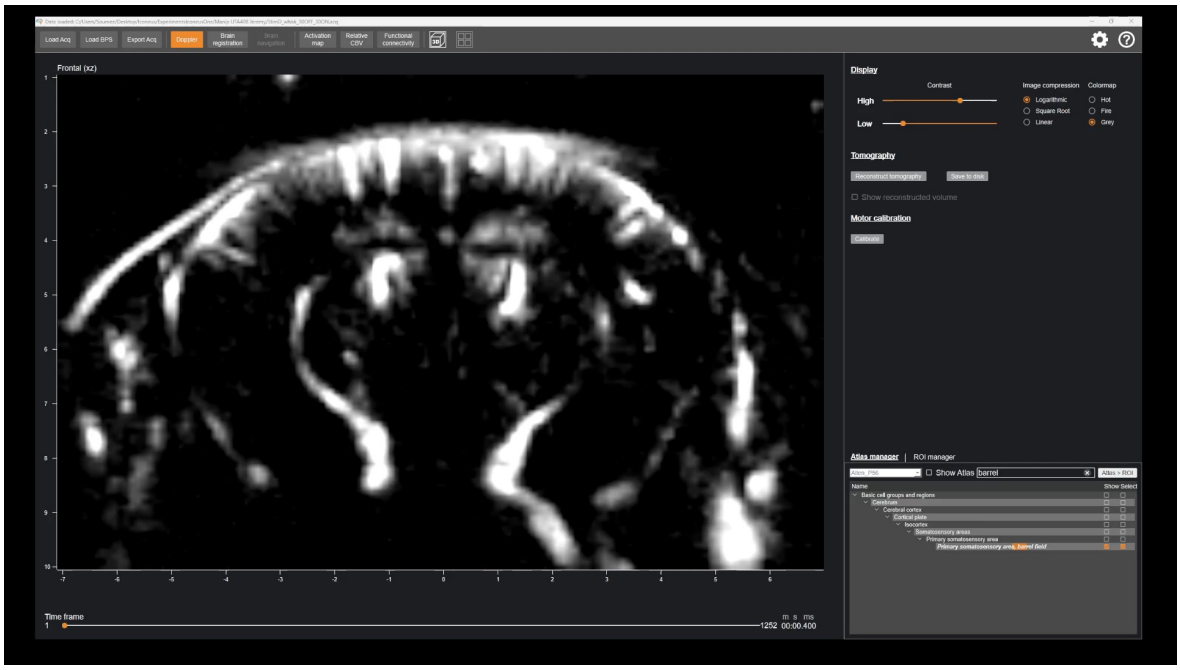
列行定址體積探頭，面向快速體積與 3D ULM。依成像模式確認聲學窗口、微氣泡與處理配置。

原廠探頭與選型 >

SOFTWARE & OUTPUTS

從定位、擷取到批次分析

IcoScan、IcoStudio 與 IcoLab 分別銜接實驗設定、結果視覺化及批次處理。介面以原廠示例呈現。



原廠 IcoStudio 介面示例：影像顯示與分析設定。圖像由 Iconeus 原廠研究簡報提供。

IcoScan | 實驗擷取

B-mode 定位、掃描平台控制、即時影像與外部事件同步。

IcoStudio | 圖譜與分析

Allen 小鼠圖譜配準、BPS 定位、活化圖、相關矩陣與 3D 視覺化。

IcoLab | 批次處理

設定重複分析流程、批次處理資料集及產出報告。依授權配置使用相關模組。

原廠軟體套件 >

EXPERIMENTAL WORKFLOW

研究流程與實驗安排

以下為研究工作流程規劃，正式實驗需依動物模型、倫理核准、原廠訓練及實驗室 SOP 執行。

01 定義研究問題與讀出

選擇刺激、靜息態、藥理或血管目的；決定單切面、體積功能影像或 ULM，規劃對照與樣本數。

02 確認動物及聲學入口

依物種、年齡與探頭頻率確認經顱可行性或聲學窗口，安排固定、恢復與清醒習慣化。

03 定位、基線與同步

以 B-mode / 血管影像確認探頭位置；記錄基線與生理參數，將刺激、行為、EEG 等事件同步。

04 擷取並檢查資料品質

確認訊號穩定、運動、流路與時間標記；ULM 另確認微氣泡操作及累積覆蓋，避免混用採集尺度。

05 配準與分析

執行 ROI / 圖譜配準、ΔCBV 時間曲線、活化或連結分析；血管研究則依定位與軌跡建立圖譜。

06 跨動物比較與再現

用一致配準、參數與排除規則比較結果；保留原始資料、事件資訊、模型狀態與分析版本。

小鼠 3D 功能影像方法 >

DATA INTERPRETATION

常用結果與判讀重點

以明確的資料單位、基線與分析方法，讓功能影像和其他研究指標互相對照。

結果形式	代表的資訊	判讀條件
相對 CBV / ΔCBV	相對基線的血容量相關訊號與時間反應	須定義基線與正規化，不等於絕對 CBF
活化圖	與刺激 / 任務相關的像素或區域反應	列明統計模型、閾值、平均與試次數
ROI 相關矩陣	腦區時間序列的統計相關程度	控制動作、生理、濾波及 ROI 配準
Seed map / ICA	種子相關分布或資料中的網路成分	不直接等於解剖連結或因果網路
3D 血管重建	多切面或體積影像的血管空間結構	需區分逐步掃描與體積同步採集
ULM 密度與軌跡	微氣泡累積定位與移動路徑	覆蓋與累積時間會影響血管呈現
ULM 速度 / 方向	由定位追蹤推估的微氣泡流速與方向	列明 2D 或 3D 模式與追蹤限制

建議同步記錄麻醉 / 清醒狀態、體溫、呼吸與循環相關資訊。不同探頭及研究方法的解析度、影像更新率與全腦覆蓋，應分別標示。

SELECTED LITERATURE

依應用分類的代表文獻

點選文獻標題可開啟 DOI / 原文。以下為研究示例，實際配置與結果需以各研究方法為準。

功能活化

Macé et al., 2011 · Nature Methods

Functional ultrasound imaging of the brain

Dizeux et al., 2019 · Nature Communications

Functional ultrasound imaging of the brain reveals propagation of task-related brain activity in behaving primates

靜息態與全腦連結

Ferrier et al., 2020 · PNAS

Functional imaging evidence for task-induced deactivation and disconnection of a major default mode network hub in the mouse brain

Bertolo et al., 2021 · JoVE

Whole-Brain 3D Activation and Functional Connectivity Mapping in Mice using Transcranial Functional Ultrasound Imaging

神經藥理

Rabut et al., 2020 · NeuroImage

Pharmaco-fUS: Quantification of pharmacologically-induced dynamic changes in brain perfusion and connectivity by functional ultrasound imaging in awake mice

血管與中風

Errico et al., 2015 · Nature

Ultrafast ultrasound localization microscopy for deep super-resolution vascular imaging

Hingot et al., 2020 · Theranostics

Early Ultrafast Ultrasound Imaging of Cerebral Perfusion correlates with Ischemic Stroke outcomes and responses to treatment in Mice

清醒行為

Bergel et al., 2020 · Nature Communications

Adaptive modulation of brain hemodynamics across stereotyped running episodes

轉譯研究

Demené et al., 2021 · Nature Biomedical Engineering

Transcranial ultrafast ultrasound localization microscopy of brain vasculature in patients

Demené et al., 2017 · Science Translational Medicine

Functional ultrasound imaging of brain activity in human newborns

原廠文獻資料庫 >

RESEARCH CONSULTATION

從您的研究問題開始配置

將樣本、實驗目的與現有設備一起討論，選擇合適的探頭、固定方式及軟體模組。



洽詢時可提供的資訊

動物種類與年齡、主要腦區、清醒或麻醉配置、刺激 / 藥理 / 血管目的、需要的影像範圍及時間尺度、同步設備，以及既有定位與生理監測工具。

志德國際有限公司

新北市新店區北新路一段89號12F-1
電話：02-29161188
E-Mail：info@bio-chief.com.tw
網址：www.bio-chief.com.tw

Iconeus 原廠網站 >