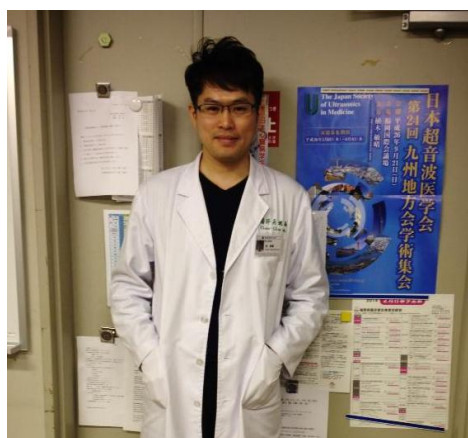


UOEH 研究十年回顧——從三維超音波理論奠基到臨床應用的實踐

吳健嘉 醫師

林口長庚醫院 主治醫師



2012 年，在林芬瓊教授的引介下，我得以結識日本產業醫科大學

(University of

Occupational and

Environmental Health,

UOEH) 的尾辻豐教授

(Prof. Yutaka Otsuji)

與竹內正明教授 (Prof.

Masaaki Takeuchi)。他們

在國際心臟影像學會上以開

放與誠懇的態度推動學術交

流，促成我透過日本超音波

醫學會 (JSUM) 獎學金前往

UOEH 進行研究。這段經歷

成為我學術生涯的分水嶺，

也開啟了與 UOEH 團隊長達

十年的深厚合作。

一、初登北九州：理論奠基與學術啟蒙 (2012 - 2014)

2012 年秋天，北九州的天空清朗，醫科大學校園寧靜而自律。初抵日本，最令我震撼的，是研究室裡對時間與細節的嚴謹。每天早上八點，竹內教授準時進入超音波室掃描患者。對每個影像角度、每個追蹤點，他都仔細校正。他常說：「超音波是醫師與心臟之間的對話，我們的責任是聽懂它說的話。」

1. 三維應變的空間真實性

我的第一篇研究
(Effect of Through-Plane and Twisting Motion on Left Ventricular Strain Calculation) (*Journal of the American Society of Echocardiography*, 2013)

探討二維與三維追蹤對左心室應變測量的差異。研究證明，二維技術因缺乏空間深度，常在扭轉與平面外運動下低估心肌變形；而三維追蹤 (3D-STE) 能捕捉完整的立體運動軌跡。這項成果為三維影像技術奠定理論基礎，也推動了歐美學界重新審視二維量測的侷限。

2. 左心房體積的預後意義

同年，我們於 *JACC: Cardiovascular Imaging* 發表〈Prognostic Value of Left Atrial Volumes Assessed by Transthoracic Three-Dimensional Echocardiography〉。研究首次顯示三維量測的左心房最小體積指數 (LAVI_{min}) 較二維測值更能預測心血管事件。這篇文章改變了臨床上對左心房的理解，讓「心房功能」從被動的反映者變

成預後的主角。

3. 主動脈瓣幾何的真實重構

2014 年，我們的〈Aortic Root Geometry in Patients with Aortic Stenosis Assessed by Real-Time Three-Dimensional Transesophageal Echocardiography〉(*Journal of the American Society of Echocardiography*) 以即時三維經食道影像重建主動脈根部結構，揭示瓣環與竇部幾何的異質性。這項研究在亞洲率先提出瓣膜形態的「真實空間模型」，為後來導管瓣置換術 (TAVR) 前評估提供重要依據。

4. 舒張功能新分級與心房應變

同期間，我與 Kuwaki 博士合作發表〈Redefining Diastolic Dysfunction Grading〉(*JACC: Cardiovascular Imaging*, 2014)，以左心房應變 (LA strain) 重新定義舒張功能分級，提出新的 Grade Ia 類型。這項研究讓舒張功能評估進入「力學時代」，從

靜態流速數據轉化為反映心房順應性的動態參數。

竹內教授與尾辻教授的嚴謹帶給我深刻啟發。他們不僅是導師，更是學術的典範——追求真理、尊重資料。這段 Fellowship 時期，我學到的遠超過影像技術，而是研究的態度與科學的品格。

二、合作深化：多中心與右心室研究 (2015 - 2017)

結束 Fellowship 後，我持續與 UOEH 團隊保持緊密合作，逐步參與多中心計畫，研究焦點從左心室延伸至右心室。

1. 標準化與跨廠牌一致性

2015 年 *Journal of the American Society of Echocardiography* 的〈Intervendor Variability of Two-Dimensional Strain Using Vendor-Specific and Vendor-Independent Software〉，系統分析不同

廠牌軟體間的應變差異。結果指出，即使是「廠牌無關」平台，仍有可觀偏差。該研究推動了全球應變標準化的討論，後被 EACVI 與 ASE 共同指引引用。

2. 無症狀瓣膜狹窄患者的早期預測

同年於 *JACC: Cardiovascular Imaging* 的〈Prognostic Value of Left Ventricular Deformation Parameters Using Two- and Three-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography in Asymptomatic Severe Aortic Stenosis〉，顯示三維縱向應變能早期辨識尚無症狀但預後不良的重度瓣膜狹窄患者。此研究讓「形變」概念正式進入臨床預後評估。



3. 右心室功能的預後角色

2017 年，我們於 *Circulation: Cardiovascular Imaging* 發表〈Prognostic Value of Right Ventricular Ejection Fraction Assessed by Transthoracic Three-Dimensional Echocardiography〉。這是全球首篇以三維右心室射血分率（3D-RVEF）預測死亡與主要心臟事件的研究。此成果首次確認「右心室」在臨床風險分層中的主導地位。

4. 層狀心肌應變正常值建立

同年另一篇 *PLoS ONE* 〈Normal Range of Myocardial Layer-Specific Strain Using Two-Dimensional Speckle

Tracking Echocardiography〉，則定義健康族群的心肌層別應變正常值（內層 -20.5%、中層 -17.3%、外層 -14.0%）。該研究的貢獻在於提供客觀基準，使疾病診斷與治療追蹤更具依據。

5. 學術交流的文化記憶

在北九州的研究生活充滿節奏與秩序。每天的會議從準時開始，到逐條逐圖地檢討結果。正如尾辻教授所言：「在學術中，禮貌是邏輯的起點。」日本同仁討論時，總以謙遜而慎重的語氣開場，先表達對他人意見的尊重，再提出自己的見解。這種學術禮節讓我印象深刻，也成為我後來帶領團隊的典範。

三、臨床化與技術成熟期（2017 - 2020）

1. 三維超音波綜論與臨床地圖

2017 年，我與竹內教授在 *Acta Cardiologica*



Sinica 發表〈Three-Dimensional Echocardiography: Current Status and Real-Life Applications〉。該文全面回顧三維影像在臨床的發展脈絡，涵蓋左心室容積、右心室功能、瓣膜導管治療導航與三維應變評估。此文成為亞太地區三維心臟影像教育的重要教材。

2. 冠心病的心肌應變診斷

2018 年的〈Application of Left Ventricular Strain to Patients with Coronary Artery Disease〉(*Current Opinion in Cardiology*) 強調二維與三維應變在冠狀動脈疾病診斷的價值。研究指出，應變下降常早於傳統壁運動異常，對早期缺血偵測尤為敏感。這篇綜述使應變技術從研究工具進化為臨床決策指標。





3. 右心室功能臨床指引

同年另一篇

〈Echocardiographic Assessment of Right Ventricular Systolic Function〉

(*Cardiovascular Diagnosis and Therapy*)

整合 M-mode、二維、多普勒與三維量測指標，提出右心室射血分率 44%、自由壁縱向應變 -25% 為異常界值。此標準被廣泛引用於亞洲各國的右心室臨床評估共識。

4. 主動脈瓣鈣化與預後

2018 年 *Medicine (Baltimore)* 的
〈Prognostic Value of

Area of Calcified Aortic Valve by Two-Dimensional Echocardiography in Asymptomatic Severe Aortic Stenosis with Preserved Ejection Fraction〉進一步提出以二維影像定量鈣化面積 (calcified area) 可作為無症狀瓣膜病變的預後指標。這篇研究將「簡單影像指標」轉化為臨床風險工具，對基層醫療具實際意義。

5. 全自動化技術的突破

2019 年兩篇關鍵研究推動三維技術自動化：

(1) *PLoS ONE* 〈Optimal Threshold of Fully Automated Software for Quantification of LV Volumes and Ejection Fraction〉提出最佳化邊界閾值 80 - 90，使全自動結果與 CMR 高度一致；

(2) *Journal of the*

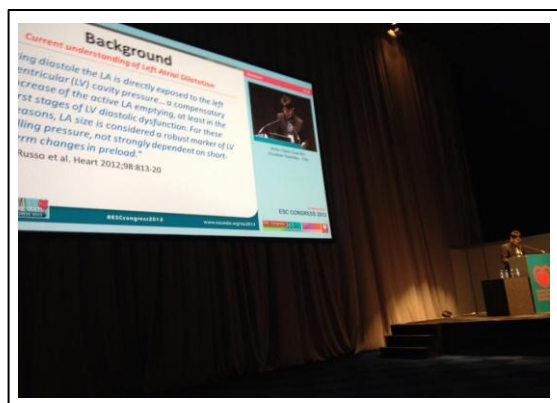
American Society of Echocardiography

〈Optimal Number of Heartbeats Required for Representing Left Chamber Function in Patients with Rate-Controlled Atrial Fibrillation〉建立五心週期平均法，提高心房顫動患者分析穩定性。這兩項研究奠定了臨床可重現性標準。

我在這段期間幾乎每年春季或夏季重返 UOEH。白天掃描病例、夜晚分析資料，與日本同事一同於小食堂用餐、討論統計與臨床問題。那種跨文化的默契，是最珍貴的研究記憶。

四、遠距合作與總結 (2021 - 2022)

疫情期間，我與竹內教授透過線上會議持續協作。最終於 *Journal of Cardiology* 2022 年發表
〈Left Ventricular





Volume and Ejection Fraction Measurements by Fully Automated Three-Dimensional Echocardiography Versus Cardiac Magnetic Resonance: A Systematic Review and Meta-Analysis》。

該統合分析納入 12 項研究、616 名受試者，證實全自動 3DE 與 CMR 的射血分率差異僅 0.4%，相關係數 0.85。這篇研究象徵三維自動化技術邁入臨床成熟，也為我們十年的合作畫下圓滿句點。

五、回顧十年：從理論到人文的啟發

十年間，我與 UOEH 團隊共發表 16 篇國際期刊論文，主題橫跨左心室、右心室、瓣膜與心房功能、從理論到臨床預後，完整描繪了三維超音波的成長軌跡。這些研究的意義不僅在於學術成就，更體現跨文化科研的價值。

在日本的研究生活節奏緩慢卻極為精確。學生對數據一絲不苟，對每一個測值、每一次影像擷取都秉持近乎完美的態度。實驗室裡的討論不僅是學術交流，更像是一場安靜的修行。尾辻教授常以沉穩的語調開場：

「May I suggest to take this point into consideration...」

——語氣中既謙和又深思。這種態度反映出日本學者特有的思維哲學：在提出意見

之前，必先充分尊重他人的觀點。正因如此，討論雖緩慢，卻層層深入、井然有序。對我而言，這不只是研究的方法，更是一種待人處事的修養與學術的禮節。竹內教授則以身作則，強調臨床與研究並重。他常說：

「臨床觀察是問題的起點，研究只是找答案的過程。」這種「從床邊到理論、再回臨床」的循環模式，深深影響我後來的教學與研究風格。

如今回首，這十年的合作是我學術生命中最珍貴的一頁。從 JSUM Fellowship 的初訪，到遠距雲端分析的最後合作，我看見的不只是技術進步，更是人與人之間的信任、啟發與友誼。



參考文獻

1. Wu VC, Takeuchi M, Otani K, Haruki N, Yoshitani H, Tamura M, Abe H, Lin FC, Otsuji Y. *Effect of Through-Plane and Twisting Motion on Left Ventricular Strain Calculation: Direct Comparison Between Two-Dimensional and Three-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography*. **Journal of the American Society of Echocardiography**. 2013;26(11):1274–1281.e4.
2. Wu VC, Takeuchi M, Kuwaki H, Iwataki M, Nagata Y, Otani K, Haruki N, Yoshitani H, Tamura M, Abe H, Negishi K, Lin FC, Otsuji Y. *Prognostic Value of Left Atrial Volumes Assessed by Transthoracic Three-Dimensional Echocardiography: Comparison with Two-Dimensional Echocardiography*. **JACC: Cardiovascular Imaging**. 2013;6(10):1025–1035.
3. Wu VC, Kaku K, Takeuchi M, Otani K, Yoshitani H, Tamura M, Abe H, Lin FC, Otsuji Y. *Aortic Root Geometry in Patients with Aortic Stenosis Assessed by Real-Time Three-Dimensional Transesophageal Echocardiography*. **Journal of the American Society of Echocardiography**. 2014;27(1):32–41.
4. Kuwaki H, Takeuchi M, Wu VC, Otsuji Y. *Redefining Diastolic Dysfunction Grading*. **JACC: Cardiovascular Imaging**. 2014;7(7):749–758.
5. Nagata Y, Takeuchi M, Mizukoshi K, Wu VC, Lin FC, Negishi K, Nakatani S, Otsuji Y. *Intervendor Variability of Two-Dimensional Strain Using Vendor-Specific and Vendor-Independent Software*. **Journal of the American Society of Echocardiography**. 2015;28(6):630–641.
6. Nagata Y, Takeuchi M, Wu VC, Izumo M, Suzuki K, Sato K, Seo Y, Akashi YJ, Aonuma K, Otsuji Y. *Prognostic Value of Left Ventricular Deformation Parameters Using Two- and Three-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography in Asymptomatic Patients with Severe Aortic Stenosis and Preserved LV Ejection Fraction*. **JACC: Cardiovascular Imaging**. 2015;8(3):235–245.
7. Takeuchi M, Kuwaki H, Wu VC, Otsuji Y. *Is New Grade Ia of Diastolic Dysfunction Relevant at the Population Level?* **JACC: Cardiovascular Imaging**. 2015;8(2):230–231.
8. Nagata Y, Wu VC, Kado Y, Otani K, Lin FC, Otsuji Y, Negishi K, Takeuchi M. *Prognostic Value of Right Ventricular Ejection Fraction Assessed by Transthoracic Three-Dimensional Echocardiography*. **Circulation: Cardiovascular Imaging**. 2017;10(2):e005384.
9. Nagata Y, Wu VC, Otsuji Y, Takeuchi M. *Normal Range of Myocardial Layer-Specific Strain*

Using Two-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography. PLoS ONE. 2017;12(6):e0180584.

10. Wu VC, Takeuchi M. *Three-Dimensional Echocardiography: Current Status and Real-Life Applications. Acta Cardiologica Sinica.* 2017;33(2):107–118.
11. Wu VC, Takeuchi M. *Echocardiographic Assessment of Right Ventricular Systolic Function. Cardiovascular Diagnosis and Therapy.* 2018;8(1):70–79.
12. Takeuchi M, Wu VC. *Application of Left Ventricular Strain to Patients with Coronary Artery Disease. Current Opinion in Cardiology.* 2018;33(5):464–469.
13. Wu VC, Takeuchi M, Nagata Y, Izumo M, Akashi YJ, Lin FC, Otsuji Y. *Prognostic Value of Area of Calcified Aortic Valve by Two-Dimensional Echocardiography in Asymptomatic Severe Aortic Stenosis with Preserved Left Ventricular Ejection Fraction.* **Medicine (Baltimore).** 2018;97(12):e0246.
14. Wu VC, Kitano T, Nabeshima Y, Otani K, Chu PH, Takeuchi M. *Optimal Threshold of Three-Dimensional Echocardiographic Fully Automated Software for Quantification of Left Ventricular Volumes and Ejection Fraction. PLoS ONE.* 2019;14(1):e0211154.
15. Wu VC, Otani K, Yang CH, Chu PH, Takeuchi M. *Optimal Number of Heartbeats Required for Representing Left Chamber Volumes and Function in Patients with Rate-Controlled Atrial Fibrillation. Journal of the American Society of Echocardiography.* 2019;32(4):495–502.e3.
16. Wu VC, Kitano T, Chu PH, Takeuchi M. *Left Ventricular Volume and Ejection Fraction Measurements by Fully Automated Three-Dimensional Echocardiography Versus Cardiac Magnetic Resonance: A Systematic Review and Meta-Analysis. Journal of Cardiology.* 2022;81(1):19–25.