



數位化法醫病理的應用 (Application of Digital Forensic Pathology)

臺大醫學院法醫學科 吳木榮醫師

◆ 前言

法醫病理學是一種應用實驗室檢驗方法來決定死亡原因和死亡方式，以進行科學性法醫死因調查及蒐集、保存法醫學身體證據，進而建立司法調查及法庭審判、攻防、辯護的基礎。在這個學門中，主要是應用組織病理學、臨床病理學及分子病理學來進行人身鑑別、死因調查、法庭作證的司法審判依據，建構合乎科學驗證和客觀，公平審判的司法正義！

在台灣地區，葉曙教授自大陸來台後，在台大醫學院接續日本據台時代的病理學教室及法醫學教室，在方中民教授的共同參與下，分別重新建立了病理學科及法醫學科，開創了病理學及法醫病理學的檢查及司法解剖實務的里程碑，成為訓練法醫病理醫師的濼觴！

隨著醫學和數位科技的突飛猛進，在西元 1979 年以後，醫界 X 光檢查工具出現了新一代的 X 射線電腦斷層掃描 (X-Ray Computed Tomography，簡稱 X-CT)。該技術主要通過單一軸面的 X 射線旋轉

照射人體，由於不同的生物組織對 X 射線的吸收強度（阻射率 Radiodensity）不同，可以用電腦的三維技術重建出斷層面影像。經由影像視窗技術處理，可以得到相應組織的斷層影像，再將斷層影像層層堆疊，即可形成立體影像。

這種透視人體器官組織的犀利檢查工具，快速地擴展了醫師們對身體疾病的影像病理知識。舉凡疾病的變化、組織成分的改變、出血或壞死、發炎與癒合、骨折和骨痂等，提供了更為精確的病理診斷及後續治療評估，跳脫了傳統病理解剖窠臼。

劃時代的變化出現了，從西元 1999 年開始，位於瑞士伯恩的伯爾尼大學法醫學研究所研究團隊（Institute of Forensic Medicine of University of Bern, Switzerland），再主任級教授 Richard Dirnhofer (de) 擘劃之下組成的法醫病理結合電腦斷層掃描醫師診斷團隊，開始進行新時代的法醫死因調查過程中應用法醫病理及影像醫學印證計畫（The Virtopsy Project），並隨即將這種解剖方法註冊為虛擬解剖（Virtopsy; 即 Virtual Autopsy 的縮寫組合名）；將傳統的手術式解剖（Autopsy; See for oneself; 剖查式自我觀照）轉變成數位化解剖（Digital Autopsy; 電腦掃描式自我觀照），遂將法醫病理帶入數位法醫病理的新紀元！

西元 2010 年，醫界將這種數位解剖的方法更與機器人科學及自動化機器手臂定位採檢技術結合在一起，繼續發展成為能進行虛擬解剖的機器人系統 (Virtobot-Robot System)，一方面數位解剖死者，也可進行定位性法醫解剖式採檢標本，繼而施行組織病理學及分子病理學檢查，達成法醫病理學的主要目標。

另外，台灣病理界已進入數位化組織病理診斷的新紀元，開啟了應用電腦網路和雲端型病理診斷、諮詢、法庭作證、教學和國際交流的視窗，配合人工智慧 (Artificial Intelligence; 簡稱 AI) 和次世代 (第二代) 定序技術 (Next Generation Sequencing; 簡稱 NGS)，接續應用於法醫病理領域，漸次又發展出了法醫分子病理學 (Forensic Molecular Pathology) 來鑑定死亡原因和建立 DNA 分子模組的人身鑑定 (Forensic DNA Phenotyping)。

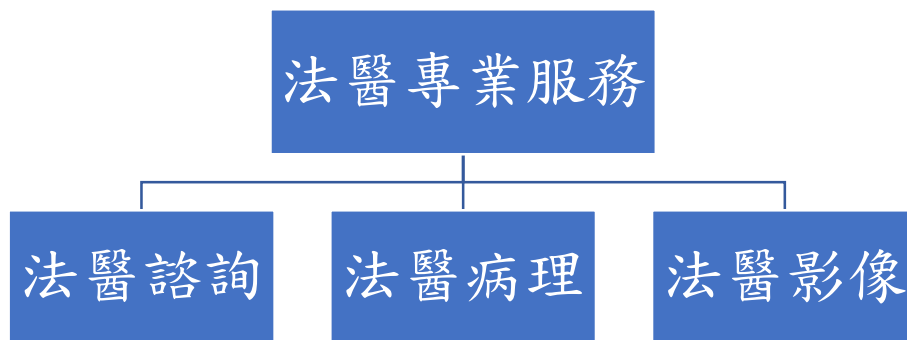
◆ 數位化法醫病理解剖 (Digital Forensic Autopsy) :

法醫師的基本任務是最終決定死亡原因和死亡方式，其日常實務工作是相驗屍體和解剖遺體兩種方式，由於必須配合司法調查和解決法律上衍生問題，因此，必須具備醫學、病理學和法律的科學背景和訓練，方能成為一個獨立、客觀和公正的法醫師，為死者解讀死亡真相！這種神聖的法醫病理解剖工作在二十世紀民主法庭審

判制度和實證醫學的交互衝擊之下，逐漸走上著重組織病理診斷和數位網路紀實的綜合展現，進而成為另一種次專業技能和知識，即所謂的數位化法醫病理解剖 (**Digital Forensic Autopsy**)。

有鑒於此，法醫死因調查團隊中除了檢察官、警察、刑事鑑識人員、法醫病理醫師、法醫調查員及法醫實驗室人員之外、又注入了另外一股醫學專業活水 --- 即數位化三維立體影像醫學專科醫師。在歐美各國的法醫中心中，建置了結合了數位化電腦斷層掃描和三維立體重建技術的法醫影像醫學部門。譬如歐洲瑞士的蘇黎世大學的法醫研究所 (**Institute of Forensic Medicine, University of Zurich**)、德國柏林法醫研究所 (**Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences**)、英國東密德蘭法醫病理中心 (**The East Midlands Forensic Pathology Unit; EMFPU**)、美國新墨西哥州法醫調查署(**Office of Medical investigator in New Mexico, USA**)、澳洲維多利亞法醫研究所 (**Victoria Institute of Forensic Medicine**) 等的法醫解剖中心都配置了數位電腦掃描及三維立體重建影像部門以協助法醫死因調查工作。

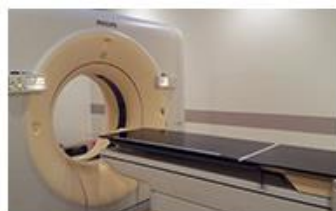
依據美國新墨西哥州法醫調查署的參考資料，該署的法醫死因調查過程中的法醫學專業分為三個部門：



- (一)、法醫諮詢部：參與者為法醫牙科醫師及法醫人類學者等法醫專業醫師或學者等。
- (二)、法醫病理部：參與者為法醫病理醫師、解剖助手及法醫調查員等。
- (三)、法醫影像部：參與者為法醫放射線影醫科醫師、影醫助手及生化檢驗員等。

其法醫病理解剖工作部共有十位法醫病理醫師 (Forensic Pathologist) 及三位研究員級法醫病理醫師 (Fellow in Forensic Pathology)，在西元 2018 年間共進行了七千多例死亡個案，其解剖案例為二千件。在法醫影醫部門中配備有專門應用於法醫案例中死因調查的虛擬解剖設備，包含使用一台 16 mm 切層面的電腦斷層掃描儀 (圖一) 及一台 1.5 特斯拉 (Tesla) 的磁振造影掃描儀 (MRI) (圖二)。

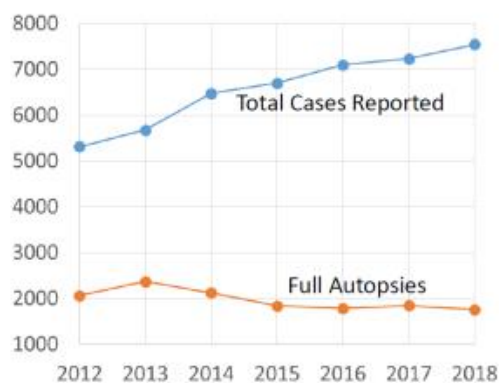
該部門於西元 2010 年以 50 萬美金 (約折合新台幣 1500 萬) 採購了一台 16 mm 切層面的電腦斷層掃描儀，外加每年 10 萬美金 (約折合新台幣 300 萬) 的維護合約，並與新墨西哥州大學的放射線科合作計畫，在西元 2011-2013 年間進行電腦斷層掃描判讀及法醫解剖鑑定的雙盲實驗測試，最後於西元 2013 年正式開始納入例行的法醫死因調查鑑定工具。



圖一、飛利浦光彩大孔型電腦斷層掃描儀



圖二、西門子奏鳴曲 1.5 T 型磁共振造影掃描儀



圖三、美國新墨西哥州法醫調查署於 2012-2018 年間總法醫解剖案例和完整解剖案之變化圖 (摘要自美國法醫科學會 (AAFS) 2020 年會資料)

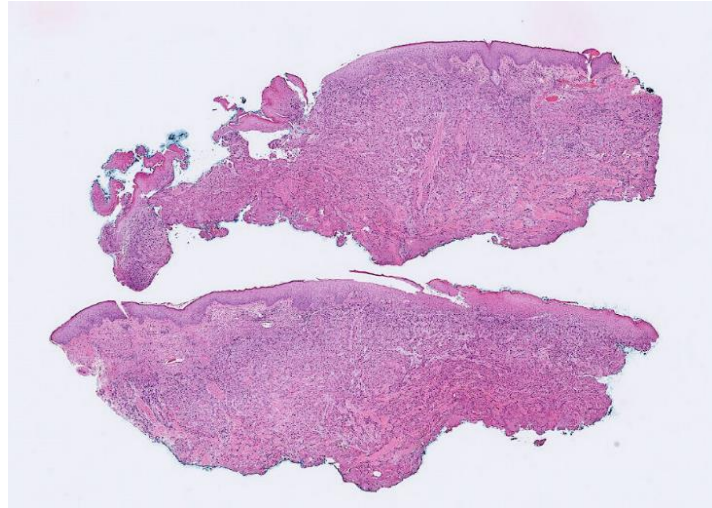
該法醫病理部門正式上線使用至今，完整法醫解剖 (Full autopsy) 的比率也由 42% 逐步降至 23%；顯現影像醫學解剖與法醫解剖的完美結合與輔助診斷功能！

◆ 數位化法醫病理診斷 (Digital Forensic Pathological Diagnosis) :

自西元 1900 年代開始，醫學文書系統漸次進入數位醫學時代，原本以手書寫的病歷改為電子病歷，膠片的 X 光片變成數位化的 X 光片和數位影像，原本需要沖洗的底片變成數位相機所使用的記憶卡，原本儲存的病歷資料變成雲端，透過網際網路的應用，醫學資訊出現於電腦、手機、平板等人們日常使用的人際網絡工具之中。從此之後，醫師們開始要懂得使用電腦，輸入醫學資料、診斷、影像、數據、圖表和繪圖等技能，並用以查巡病房、晨會、醫學會議、醫學教育、遠距醫學諮詢、診斷和手術等種種高科技的技術應用。當醫學一切都數位化之後，病理診斷也開始進入數位化時代，將原本一片片的玻璃組織切片，透過數位條碼轉變為一個個十億位元組 (gigabyte; GB) 數位影像，規劃於醫學數位病理診斷系統之中，直接進行數位病理診斷，服務臨床醫師及病患，成為醫師中的醫師 (physician in physician) (圖四與圖五)。

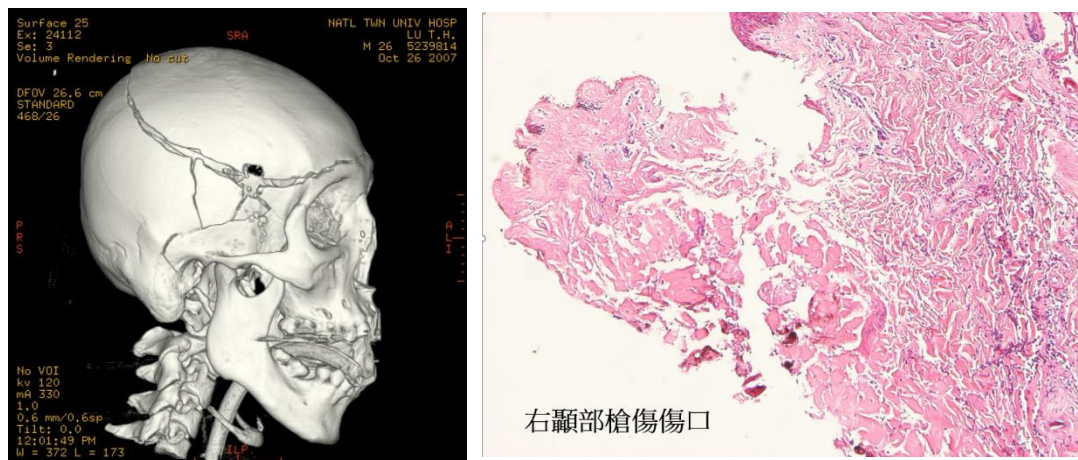


圖四、用於病理診斷的數位化組織病理切片 (1X)

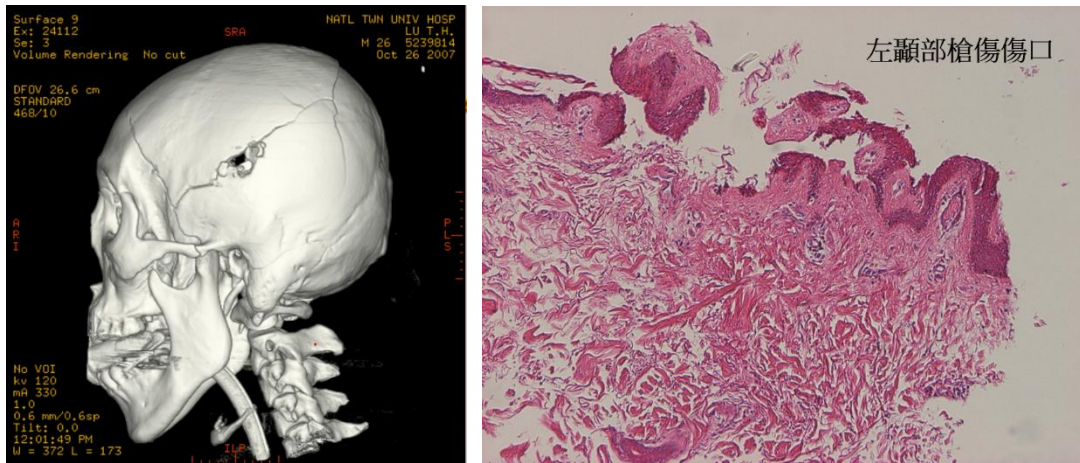


圖五、用於病理診斷的數位化組織病理切片 (2.92X)

同樣的概念是，將數位病理和影像醫學結合在一起後，加上法醫解剖的組織病理診斷，便成為法醫學上重要的司法身體證據。譬如頭部致死性槍擊傷害的槍擊路徑判斷，便是法庭辯證的重要課題，這種組合的數位影像可以明確地彰顯法醫病理診斷和闡釋功能。這種結合影像醫學和組織病理學診斷的做法，便是二十一世紀法醫病理學上的重大突破應用的里程碑！(圖六和圖七)



圖六、三維立體電腦斷層掃描模組顯示右顳部有槍傷；此傷口的組織切片發現有黑色火藥殘跡，確定為入口槍傷 (Entrance Gunshot Wound)。



圖七、三維立體電腦斷層掃描模組顯示左顳部有槍傷；此傷口的組織切片未發現有黑色火藥殘跡，確定為出口槍傷 (Exit Gunshot Wound)。

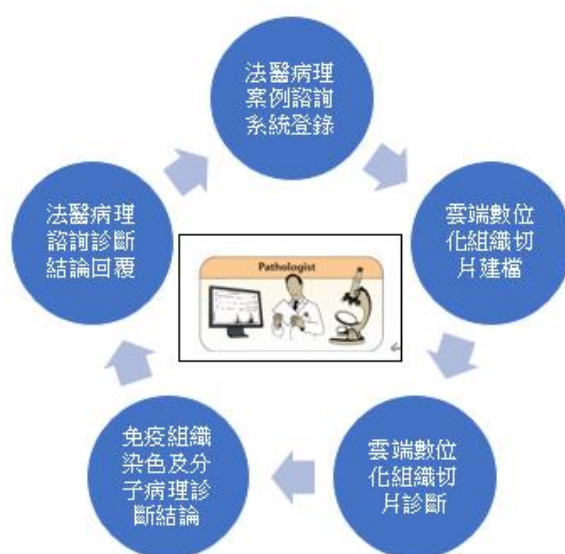
這些數位化的資訊可用於對家屬、律師、檢察官、法官和人民法官們的圖解說明，也可用於醫學和法醫學上的會議、諮詢、教學和測驗，構築數位法醫病理學上的專業領域的說明。

◆ 數位化法醫病理諮詢 (Digital Forensic Pathological Consultation) :

自二十世紀開始，民主化的法庭活動強調公平、公正、公開的法庭交互詰問並以合法搜集到的科學證據來還原事實真相，謀求公正無冤的司法審判，為受害者伸冤！

法醫師從數位法醫解剖過程中所收集到生物證據包括：死亡原因、死亡方式、疾病種類、身體傷害、毒品、藥物種類、死亡時間和死亡真相都需要呈堂驗證，事理愈辯愈明，證據可拼湊出點滴片段，才能真正顯現死亡背後的死亡真相！

遠距離的數位法醫病理診斷諮詢是未來法庭的重要手段，其方法大多利用網際網路和視訊媒體來即時面對面諮詢，亦是新冠病毒盛行時代 (COVID 19 pandemic period) 非常重要的即時諮詢會談模式。以下是法醫病理的諮詢作業模式：



哪些法醫病理學案例需要進行法醫病理學諮詢呢？一般而言，下列幾種法醫案例是需要進行法醫病理學諮詢的：

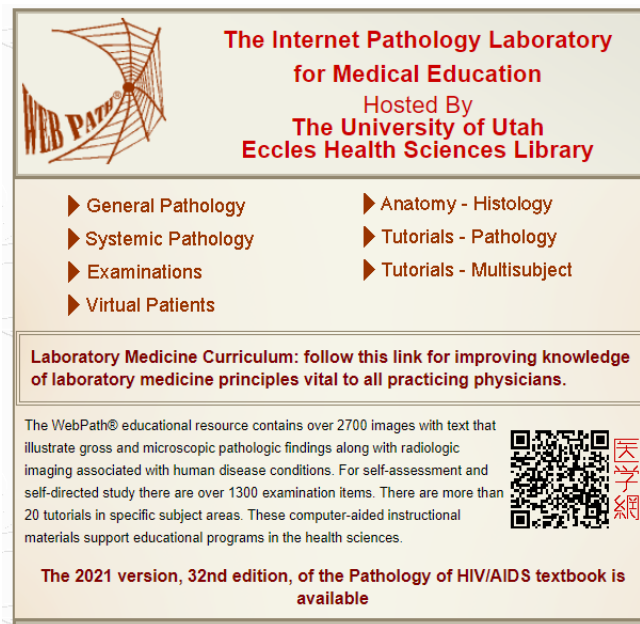
- (一)、死因不明
- (二)、未決定之死因
- (三)、複合性死因
- (四)、爭議性死因
- (五)、無法決定之死亡方式
- (六)、組織時窗判定
- (七)、組織傷害形態與機轉

(八)、法醫分子病理診斷

◆ 數位化法醫病理教學 (Digital Forensic Pathological Tutorial) :

醫學教育因為醫學診斷技術不斷日益創新的波瀾推動下，醫學教育也開始出現了重大的變革。病理學的教學也由傳統的光學顯微鏡時代，逐漸轉變為雲端資訊教學時代，學生們開始接受臉書、蘇維奧 (Zuvio) 教學軟體、U 團隊 (U team) 會議室或其他簡報會議直播通訊軟體，取代了傳統教室病理學授課的型態，開始進入虛擬教室雲端遠距的病理學教學。學生們可以利用

電腦或隨身攜帶的筆記型電腦、平板、手機和網路螢幕等工具，隨時隨地的接受病理學教學、閱覽虛擬的病理切片影像和不斷的複習學習測驗。以下是美國猶他州大學的病理學教學網站，謹提供讀者參考！(圖八)



**The Internet Pathology Laboratory
for Medical Education**
Hosted By
**The University of Utah
Eccles Health Sciences Library**

- ▶ General Pathology
- ▶ Systemic Pathology
- ▶ Examinations
- ▶ Virtual Patients
- ▶ Anatomy - Histology
- ▶ Tutorials - Pathology
- ▶ Tutorials - Multisubject

Laboratory Medicine Curriculum: follow this link for improving knowledge of laboratory medicine principles vital to all practicing physicians.

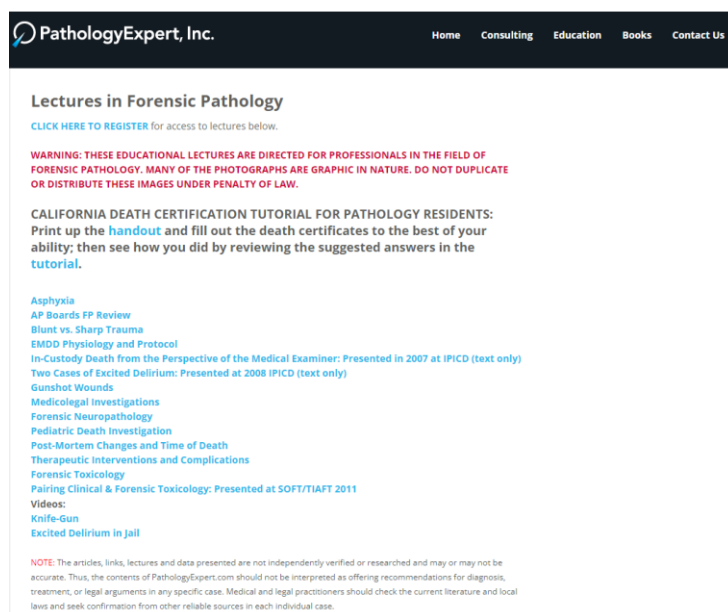
The WebPath® educational resource contains over 2700 images with text that illustrate gross and microscopic pathologic findings along with radiologic imaging associated with human disease conditions. For self-assessment and self-directed study there are over 1300 examination items. There are more than 20 tutorials in specific subject areas. These computer-aided instructional materials support educational programs in the health sciences.

The 2021 version, 32nd edition, of the Pathology of HIV/AIDS textbook is available

圖八、美國猶他州大學為醫學教育用而建置的病理學教學網站。

<https://webpath.med.utah.edu/webpath.html#MENU>

基於同樣的教學理念 法醫病理的數位化虛擬網路教學也如雨後春筍般不斷地在世界各國出現，其中還包含法醫病理電子教科書、醫學影音檔案和法醫病理諮詢等功能，形成一個通行於地球各地的法醫病理學教學園地。(圖九)



圖九、由美國加州舊金山法醫署 Judy Melinek 醫師所建置的法醫病理教學及諮詢網站。 <https://www.pathologyexpert.com/lectures-in-forensic-pathology/>

◆ 數位化法醫病理作證 (Digital Forensic Pathological Expert Witness) :

法醫師的基本任務便是要向法庭呈現法醫解剖後獲得的身體發現及檢驗結果，平實且客觀地畫出司法審判的重要基準線，提供法庭上檢察官、律師、法官、人民法官及正、反雙方攻防、辯護的基礎。因此，將這些法醫師所獲得的身體證據和檢驗結果呈現於法庭上，便是法庭上必須重視的課題。

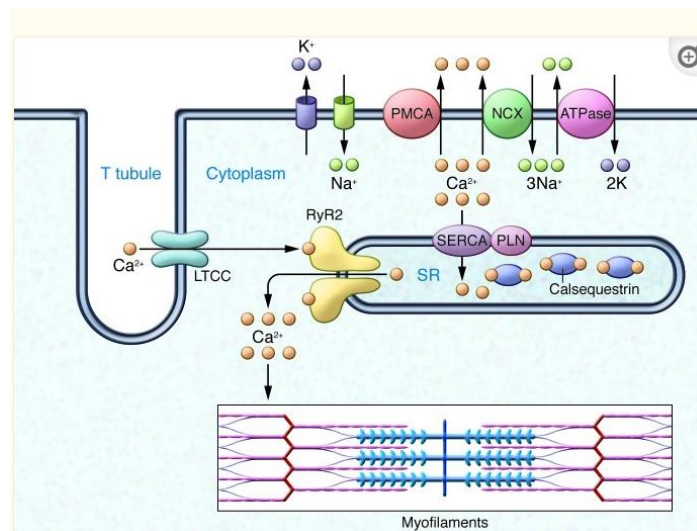
一般法醫師呈現這些身體證據和檢驗結果的方式是蒞庭陳述和接受法庭的交互詰問，因而成為法庭上的鑑定證人。若是法醫師無法即時蒞庭作證時，則可採用遠距離語音影像作證。這種法庭作證的方式，不但改變了法庭作業模式，也讓法醫師們有更有彈性的作證表現。現今台灣地區的地檢署及法院都已備有視訊設備以供法醫師們進行數位化法醫病理作證，其作業模式如下：



◆ **數位化法醫分子病理死因診斷 (Digital Forensic Molecular Pathological Diagnosis) :**

凱利·穆利斯 (Kary Mullis) 於 1983 年開發了聚合酶連鎖反應 (英語：Polymerase chain reaction，縮寫：PCR) 技術，當時他是 Cetus 公司的僱員，也是 1993 年諾貝爾化學獎的獲得者。這種核苷酸聚合技術，是一種簡單，廉價和可靠的方法複製 DNA 片段，這個概念適用於現代生物學和相關科學的許多領域。PCR 可能是分子生物學中使用最廣泛的技術，這種技術被應用於生物醫學研究，犯罪取證和分子考古學及現代分子病理學死因診斷。

舉例來說，人類猝死原因的分子病理學研究便發現，人類的心因性猝死原因大致可以分類為單基因型家族遺傳性心肌病變 (familial cardiomyopathy) 和多形樣兒茶酚胺型心室性心搏過速 (catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia; CPVT 型) 兩大類。前者在心臟的組織型態上有變化，可以用肉眼觀察和組織切片檢查而獲得診斷；但是後者心臟形態和組織切片都沒有可辨識的病變，必須依據心電圖的變化和分子病理學上 RYR2、CASQ2 和 TRDN 三種基因的突變檢測方可診斷，這三種基因突變機轉如下所示：(圖十)



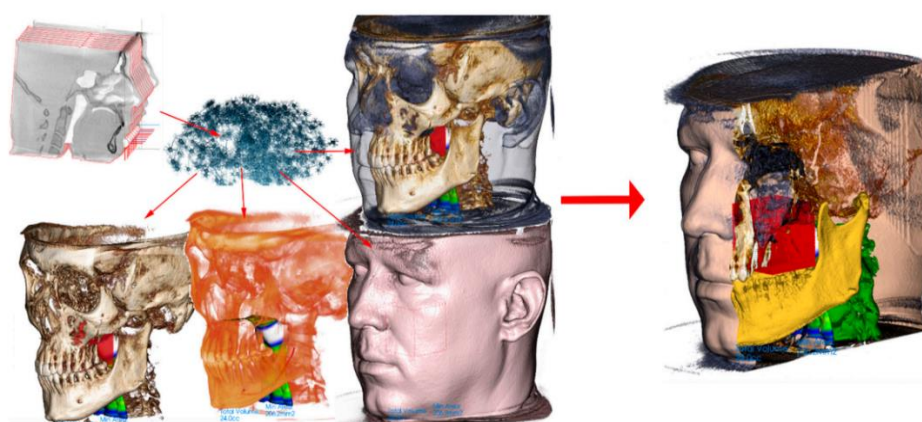
圖十、心肌鈣離子通道基因病變導致猝死的機轉。
取圖於 J Clin Invest. 2013 Jan 2; 123(1): 75–83.

另外，後續的猝死基因研究還包括 DSG2、TTN、MYPN、CACNA1C 及 CACNB2 基因的突變，現在認為 75% 的心因性猝死與遺傳性心臟病有直接關係，未來利用次世代 (第二代) 定序技術

(Next Generation Sequencing; 簡稱 NGS) 對心臟內多基因的研究必可解開這些猝死謎團！

◆ 數位化法醫病理人工智慧(Digital Artificial Intelligence in Forensic Pathology) :

三維卷積神經網路 (Three-dimensional convolutional neural networks; 3D CNN) 是近年來新的三維立體人工智慧技術，不但可以利用人體的破碎顏面骨骼和軟組織，透過人體顏面組織數據的深度學習過程，進行虛擬拼湊性顯像，產生遺體顏面重組的效果 (facial reconstruction)。這種劃時代的人工智慧技術，可以取代傳統的黏土拼組藝術，更真實地接近人體三維形態和數據，可用於無名屍、牙齒、顱骨、臉型和重大災難罹難者的人身鑑定，為下一代的數位法醫病理和人類學鑑定的新技術。以下是這種三維卷積神經網路，進行頭部破碎組織所產製的顏面重建結果：(圖十一)



圖十一、人體頭部碎片透過三維卷積神經網路所產製遺體顏面重組影像。
取圖於 Healthcare 2021, 9, 1545. <https://doi.org/10.3390/healthcare9111545>

最近的法醫病理發展是結合人工智慧深度學習功能和虛擬解剖方法所研發出來的最新形態解剖方式 --- 機器學習增強式虛擬解剖 (machine learning enhanced virtual autopsy)，這種解剖方法分為下列四種階層的研究觀察：

- (一)、肉眼樣態檢查：利用數位相機進行傳統的屍體外觀檢查。
- (二)、顯微鏡檢查：進行數位化病理切片檢查。
- (三)、影像醫學檢查：利用電腦斷層掃描儀 (Computed Tomography; CT) 及磁振造影掃描儀 (MRI) 進行屍體掃描式檢查。
- (四)、分子表型檢查：利用核磁共振光譜儀 (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy; NMR) 進行代謝體學 (metabolomics) 檢查，鑑定人體各器官的代謝物 (metabolites)，闡述其生物新陳代謝係數，進一步瞭解個人化代謝表現型態 (personalized metabolic phenotyping)。

代謝體學 (metabolomics) 的檢查可以發現個人的基因型和烙印於基因上的獨特疾病因子，能夠用以預測她 (他) 在健康和疾病狀態時，在細胞或生化層次上所發生的變化。但是代謝體剖析 (metabolic profiling) 則是確實描述出身體中生物化學上所發生的代謝表現型，這種表型群 (phenome) 是人體特異基因體和環境暴露、微生物互動的錯綜複雜交互影響的結果。(圖十二)



圖十二、人體代謝物表現型的六大影響因素。

現代法醫學的不斷創新和精進的結果，讓法醫師們能在數位的世界中不斷地蛻變，追求更精準的決定死亡原因和死亡方式，進行實證法醫學的精髓，奠定司法審判正義的基礎。而在這樣進步的過程中，日常生活中數位化科技的應用已是一種潮流和趨勢，法醫病理醫師便需要學習更多的數位知識，才不會被世界潮流所淘汰！

◆ 結論

中國洗冤集錄之序言有云：「獄事莫重於大關，大關莫重於初情，初情莫重於檢驗。蓋死生出入之權輿，幽枉屈伸之機括，於是乎決。」，顯見法醫病理醫師們在驗屍過程中所決定的死亡原因和死亡方式，對黎民百姓的深遠的影響，身負解讀死亡真相的重責大

任，和伸張冤情的功能，不可不戒慎恐懼！

洗冤集錄序言接著又提到：「縱有敏者，一心兩目，亦無所用其智，而況遙望而弗親，掩鼻而不屑者哉！慈四叨臬寄，他無寸長，獨於獄案，審之又審，不敢萌一毫慢易心。若灼然知其為欺，則亟與駁下；或疑信未決，必反復深思，惟恐率然而行，死者虛被滯澆。每念獄情之失，多起於發端之差；定驗之誤，皆原於歷試之淺。」

是以故，現代法醫病理醫師們不應該在接受現代醫學及病理教育之後，不應該沿用古人一心兩目和無所用其智（無所知）的心態來進行法醫相驗屍體和解剖屍體的工作，而應該用實證法醫學的態度，蒐集死者身體上的司法生物證據，知其當為而為之，知其謬誤而不為！

法醫實務上，法醫師們應該好好地利用放大鏡、數位相機、內視鏡、顯微鏡、電腦、平板、手機、X光機、電腦斷層掃描儀、磁共振造影掃描儀、核磁共振光譜儀、虛擬解剖、網際網路、雲端資訊和人工智慧等數位醫學資源，追求現代法醫師病理醫師更寬廣的視野，才不枉為二十一世紀的法醫病理醫師！