

# 使用二氧化碳血管造影於臨床介入手術運用

江武陽<sup>1</sup> 吳重寬<sup>3</sup> 陳彥仰<sup>2</sup> 高鴻儒<sup>2</sup> 吳典育<sup>1</sup>  
鐘情華<sup>1</sup> 邵群傑<sup>1</sup> 王秋皓<sup>1</sup> 林佳勳<sup>2,4</sup>

新光吳火獅紀念醫院 <sup>1</sup> 周邊血管中心 <sup>2</sup> 心臟血管外科 <sup>3</sup> 腎臟科  
<sup>4</sup> 輔仁大學 醫學系

## 摘要

二氧化碳 CO<sub>2</sub> 是存在於大自然與人體內的氣體，CO<sub>2</sub> 無毒性、具高溶解度、低黏性、無過敏反應且不破壞殘餘腎功能等特質，並可立即隨呼吸排出使用劑量無限制，是替代含碘對比劑 (iodine contrast medium, ICM) 用於血管造影的首選。尤其近年來數位血管減像攝影 (digital subtraction angiography, DSA) 及影像增強技術的進步，使用 CO<sub>2</sub> 當對比劑也更具有臨床實用價值，特別是腎功能不全或對比劑過敏的患者，需要進行複雜的動靜脈血管腔內治療，CO<sub>2</sub> 就是最佳的造影劑。本院自 2017 年起使用全台第一台二氧化碳注射器，它能夠提供定量體積及穩定且持續的壓力，不會混入一般空氣，避免氣體栓塞的發生。在這兩年來我們使用 CO<sub>2</sub> DSA，進行腹主動脈人工血管支架修復腹主動脈瘤、周邊下肢動脈血管阻塞介入治療、血液透析瘻管早期促成熟及功能不良等介入治療，不僅順利完成治療且在影像上品質也不亞於傳統含碘對比劑。

**關鍵詞：**含碘對比劑 (Iodine contrast medium, ICM)  
數位血管減像攝影 (Digital subtraction angiography, DSA)  
二氧化碳注射器 (Carbon dioxide injector)

## 前言

二氧化碳當成對比劑的使用最早可以追溯到 1920 年代，當時使用二氧化碳來觀察腹膜後側結構，1950-60 年代更使用二氧化碳靜脈注射至右心房用來檢測心包膜積液<sup>1,2</sup>，在過往的臨床研究中，證實了二氧化碳靜脈注射是有良好的耐受性<sup>3</sup> 且是安全的血管成像的對比劑。

含碘對比劑 (iodine contrast medium, ICM) 是造成醫源性急性腎衰竭主要原因之一<sup>4</sup>，因此腎功能不全的患者，在含碘對比劑使用上需

要更為審慎。我們在 2017 年起對於嚴重腎病變且尚未血液透析患者，病灶在橫隔膜以下或是在靜脈及曾經對含碘對比劑嚴重過敏的患者，我們嘗試不使用含碘對比劑，全程使用二氧化碳替代且搭配注射器確保注射的體積與壓力能夠定量且穩定，注射過程中穩定的壓力與充足的體積使得血管可以確實充盈，準確顯現出病灶位置及輪廓，確保施行介入手術治療有充足的診斷資訊，且保護了腎病患者殘存的腎臟功能。

在血管介入手術中，下肢周邊動脈血管阻

塞 (peripheral arterial occlusive disease, PAOD) 族群跟腎功能不全患者有非常高的共病性，機率高達 25.3%<sup>5</sup>，這類患者在臨床治療時常常面臨兩難狀況，治療病灶後常常面臨血液透析的窘境，這時如果有二氧化碳血管造影取代含碘對比劑就是一個很好的第二選擇，可使腎臟不會因為在治療過程中過多的 ICM 造成殘存腎臟功能的損傷，目前在國內二氧化碳血管造影的應用不太普及，常見的使用方法為使用針筒抽取二氧化碳，並使用徒手推送二氧化碳，過程中不僅僅會有室內普通空氣的污染外，更無法保持固定體積及恆壓的注射<sup>6</sup>，且又受到針筒的容量限制侷限在 20ml 體積的二氧化碳，在腹主動脈瘤的造影更是無法充盈的窘境。本院採用在二氧化碳血管造影使用注射器，最大注射體積高達 100ml，壓力更可以高達 500mmHg，可使血管影像有更大充盈範圍取得更好的影像品質。有別於傳統，二氧化碳注射器可提供更好的介入治療的診斷及手術後的驗證，並且可以順利完成介入手術，不會因為 ICM 的介入手術傷害腎臟，造成急性腎衰竭的術後後遺症。

### 病例說明

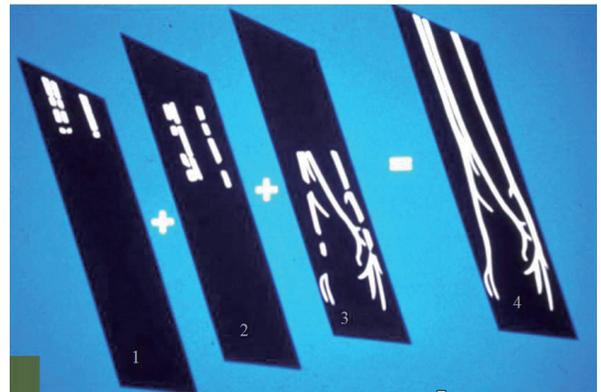
本院自 2017 年 2 月起分別使用 SIEMENS Artis zeego, SIEMENS Artis zee, SIEMENS Artis one 三部血管攝影機，檢查參數透視攝影部分：管球電壓 70 kV ( 千瓦伏特 )，管球電流 40mA ( 毫安培 )，透視擷取頻率 4P/S ( 次 / 秒 )。數位減像二氧化碳攝影部分：管球電壓 90kV、管球

電流 740mA、攝影擷取頻率 15P/S ( 次 / 秒 )、影像處理使用二氧化碳影像增強模式，並使用西門子 CARE<sup>R</sup> 降低暴露劑量的組合應用，來達到降低操作人員與患者的輻射劑量。

二氧化碳注射系統 (“Angiodroid” the CO<sub>2</sub> injector) 注射體積 10-100 ml，注射壓力 50-500mmHg，二氧化碳濃度 99.995%，每次最大注射不超過 100 ml，使用原廠連接管，連接管配置有逆止閥防止血液及室內空氣污染，每次注射間距 2 分鐘以上，注射劑量如 ( 表一 )。

二氧化碳成像原理是藉由二氧化碳將血液排開，使血管內充滿低原子序二氧化碳，成為陰性對比劑，由於二氧化碳無法將整條血管完全充盈，故我們使用疊加的方式將影像疊加之後表現出整條血管的輪廓 ( 圖一 )。

病患選擇的部分：本院自 2017 年 2 月



圖一：由於二氧化碳無法將整條的血管完全充盈，因此我們利用數位影像疊加的方式可以很簡單的取得血管充盈的影像，如圖方式疊加 1+2+3 後可以得到完整血管影像 4。

表一：各部位二氧化碳注射量

檢查部位	壓力範圍 (mmHg)	體積 (ml)	造影注射總計量 (ml)
腹主動脈 Abdominal aorta (endovascular aneurysm repair, EVAR)	200-350 mmHg	100 ml	2600 ± 700 ml
髂動脈 (iliac artery)	200-250 mmHg	30-40 ml	620 ± 80 ml
膝上股動脈 above the knee	150-250 mmHg	20 ml	下肢周邊動脈血管狹窄或栓塞 (peripheral artery disease)
膝下動脈群 below the knee	200 mmHg	20 ml	
足掌動脈群 below the ankle	150 mmHg	30-40 ml	
動靜脈瘻管 arteriovenous fistula	150 mmHg	20 ml	140 ± 80 ml

各部位使用二氧化碳注射器不同檢查的分別使用量，下肢動脈檢查及治療包含整個下肢 (iliac artery + above the knee + below the knee + below the ankle)，一次檢查加治療都不會超過 700 ml。

起到 2018 年 6 月間，我們選擇腎絲球清除率 eGFR<40 患者，但尚未透析病人，及已透析患者，但還有殘餘腎功能患者，我們經過病患同意後，使用二氧化碳造影取代傳統含碘對比劑，進行診斷及介入手術治療。選擇的介入手術有腹主動脈瘤覆膜支架置入修復 (endovascular stent-grafting in abdominal aortic aneurysm repair EVAR)，下肢周邊動脈血管狹窄或栓塞 (peripheral artery disease)，血液透析瘻管促成成熟介入 (failure to mature)，深層靜脈栓塞 (deep vein thrombosis)，靜脈攝影，腎動脈狹窄 (renal artery stenosis) 介入治療。檢查部位依照 2014 年 10 月 vascular disease management endovascular techniques user guide 建議<sup>7</sup>，必須施行介入手術患者，共計 103 名。其中下肢周邊動脈狹窄或栓塞 (PAOD) 佔 49%，腹主動脈瘤套膜支架置入修復佔 23%，血液透析瘻管促成成熟也佔 18%，其餘為單純血管檢查及腎動脈狹窄患者。

### 一、下肢周邊動脈血管狹窄或栓塞

下肢血管從腹主動脈開始造影包含髂動脈及股動脈群 (superficial femoral artery, profunda, popliteal artery) 膝關節以上 (above the knee, ATK) 至小腿動脈群 (peroneal artery, anterior tibial artery, posterior tibial artery) 膝關節以下 (below the knee, BTK)，針對不同病患病灶進行治療，會使用不同特性 0.018inch 導絲穿越股動脈病灶，使用 4-6mm 低壓力球囊擴張治療股動脈病灶區域，二氧化碳 (150-200mmHg/20ml)，小腿動脈 BTK 群使用 0.014inch 導絲，使用 2-3mm 低壓氣球擴張治療 BTK 病灶區域，使用二氧化碳 (200mmHg/20ml) 注射器攝影，術後使用二氧化碳血管攝影評估治療結果。

### 二、腹主動脈瘤人工血管支架置入修復

腹主動脈瘤的介入病患採取仰躺姿勢且全身麻醉，會使用超音波導引並使用 6F 導鞘從兩側的總股動脈 (common femoral artery, CFA) 做為介入入口，在穿刺口預先使用兩隻血管縫合器 (proglide)，病患注射 7,500 單位 (U) 肝素，且維持凝血時間 (active clotting time, ACT) 要

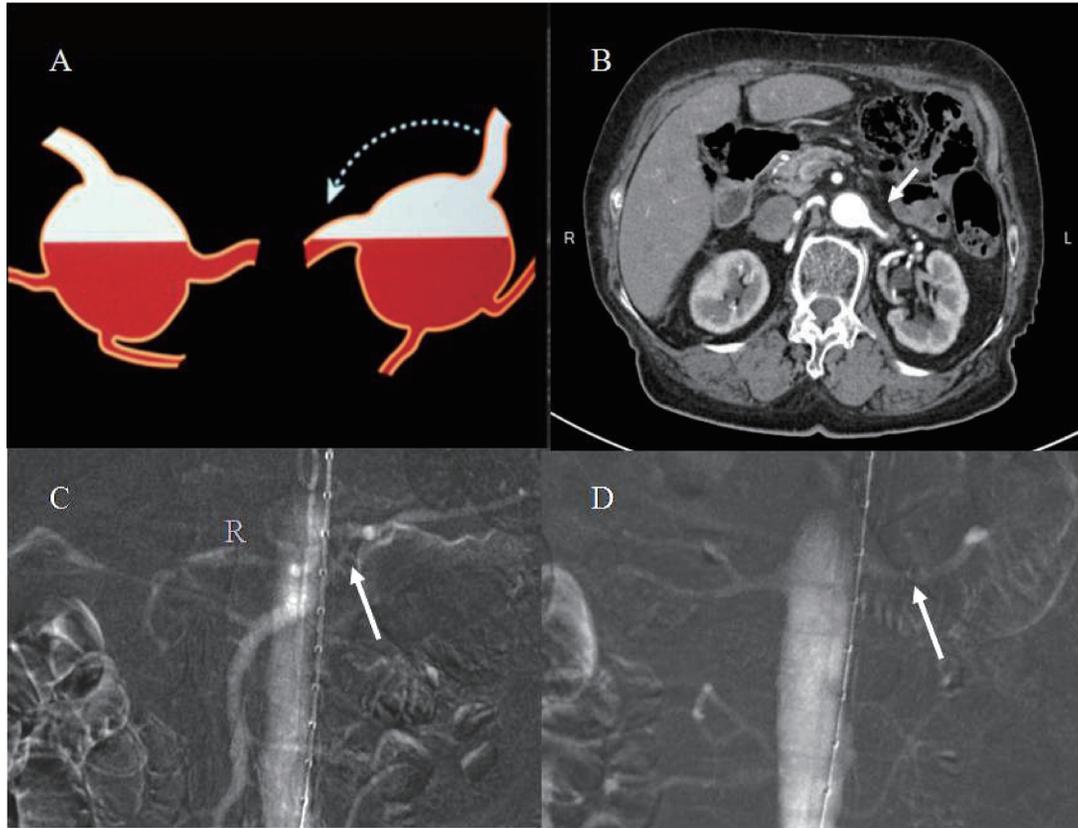
超過 250 秒，使用泰爾茂 (Terumo) 泥鰵導絲配合 JR4 導管將導絲停放再降主動脈 (descending aorta) 位置，依序擴張穿刺傷口 (7F>8F>12F) 後再置換成長導鞘 (18F)，再換硬導絲 (stiff wire) 使用有標記的豬尾巴導管 (Pigtail)，使用二氧化碳對比劑並搭配注射器高壓 350-400 mmHg/100 ml 做二氧化碳血管攝影確定上腸繫膜動脈，左右腎動脈、左右側內髂動脈開口位置，選擇正確的主動脈覆膜支架 (endograft) 尺寸，選擇正確狹枝 (leg graft) 置放後，血管攝影確認腎動脈處、上腸繫膜處、內外髂動脈沒有明顯的滲漏，術後確認總股動脈 (CFA) 沒有因套件進出受損，依序將導管、導絲、導鞘撤出，並將預先埋入的血管縫線拉緊後確實止血認沒有出血在傷口縫合壓迫，確認病人血液數據，並將病患送外科加護病房觀察。

特別的是在腹主動脈血管攝影中，確認腎動脈開口是需要一點技巧的，腎動脈的解剖學構造會由主動脈分枝往身體的後壁流入腎臟內，因此氣體二氧化碳不容易流入腎臟內，因此容易造成單側的腎動脈無法造影，我們可以在手術前的電腦斷層攝影中去評估左側的腎臟動脈是否往後腹腔走向，可將左側身體抬高，讓二氧化碳順利的流到左側的腎動脈 (圖二)，如此一來才有好的血管攝影影像來評估雙側腎動脈<sup>6</sup>。

### 三、血液透析瘻管促成成熟

因血液透析動靜脈瘻管吻合手術後，有 53% 以上機率<sup>8</sup>，無法充分成熟至足以支持透析 (血液透析需 6 mm 血管直徑，600 ml/min 血流量)，故需透過球囊擴張來達成瘻管成熟至透析的目的。我們使用 0.035 inch 泥鰵導絲導引，使用 3-6 mm 順應性球囊將吻合口擴張至能支持血液透析之血管直徑，使用低壓力 (150-200 mmHg/20 ml) 二氧化碳造影，皆可完成診斷並導引介入手術成功。

本院自 2017 年 2 月起至 2018 年 6 月止所有施行介入手術患者共 2662 名，佔總檢查量約 3% (表二)。不完全取代的主要原因是二氧化碳造影本身影像的品質是比 ICM 來得差<sup>9</sup>，使



圖二：A. 二氧化碳會有漂浮在血液上的特性，因此在腹腔的左側腎動脈會無法造影（如卡通圖所示），因此可以將左側抬高，因氣體往上漂浮的特性就可以灌入左側腎動脈得到完整地充盈影像。B. 電腦斷層白箭頭處左側腎動脈往身體後腹測走向，如果一般平躺姿勢沒有辦法看見左側腎動脈。C. 正面至背面的二氧化碳血管攝影只能顯現出 R 右側腎動脈，白色箭頭處看不到左側腎動脈。D. 抬高左側後二氧化碳灌入充盈後，左側腎動脈（箭頭處）輪廓就可清楚呈現。

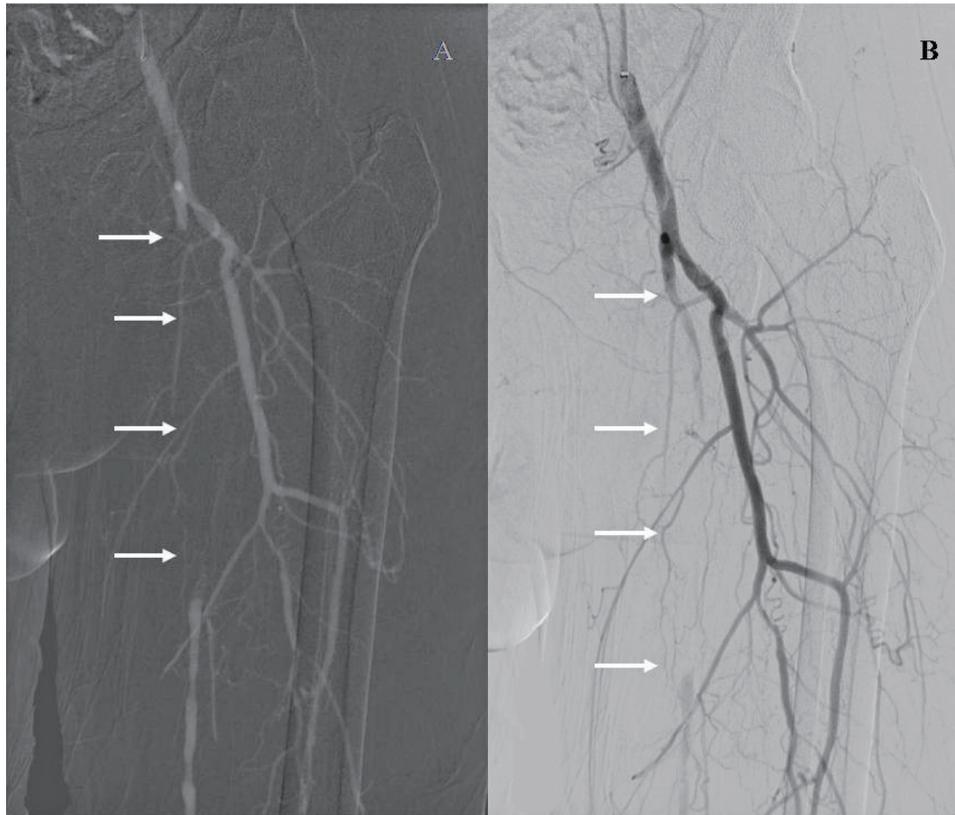
表二：使用二氧化碳造影各項檢查佔比

檢查部位	使用 CO <sub>2</sub> 檢查人數 (人)	該項檢查總人次	佔該項檢查佔比 (%)
腹主動脈 Abdominal aorta (endovascular aneurysm repair, EVAR)	14	20	70%
下肢周邊動脈血管狹窄或栓塞 (peripheral artery disease)	30	256	11.7%
動靜脈瘻管 (arteriovenous fistula)	11	1688	0.65%
腎動脈狹窄 (renal artery stenosis)	2	2	100%
深層靜脈栓塞 (deep vein thrombosis)	1	23	4.3%
過敏患者血管攝影 (angiography)	3	30	10%

用的最主要目的是減少醫源性急性腎衰竭的造成，或是過去發生過對 ICM 嚴重過敏的患者，減少病患檢查的風險，找尋可替代的對比劑。

在下肢動脈的造影中（圖三、四），病患的配合相當重要，不管是 ICM 或是二氧化碳都

一樣，在靜脈注射下都會造成病患的肢端疼痛感，病患移動在 DSA 下很容易產生移動假影，很難取得很好的診斷影像品質，特別是小腿動脈群或更末端的足掌動脈群更需要病患的忍耐與高度配合，沒有麻醉的狀況下，很難取得足



圖三：下肢動脈完全阻塞的患者，即使是末端血流靠的是側枝循環供應，A. 我們使用二氧化碳搭配注射器 20ml/200mmHg 血管攝影，看見 superficialis a. 整段完全狹窄，B. 使用 ICM 可以得到相同結果，即使是遠端側枝供應的血流也不會錯誤診斷。

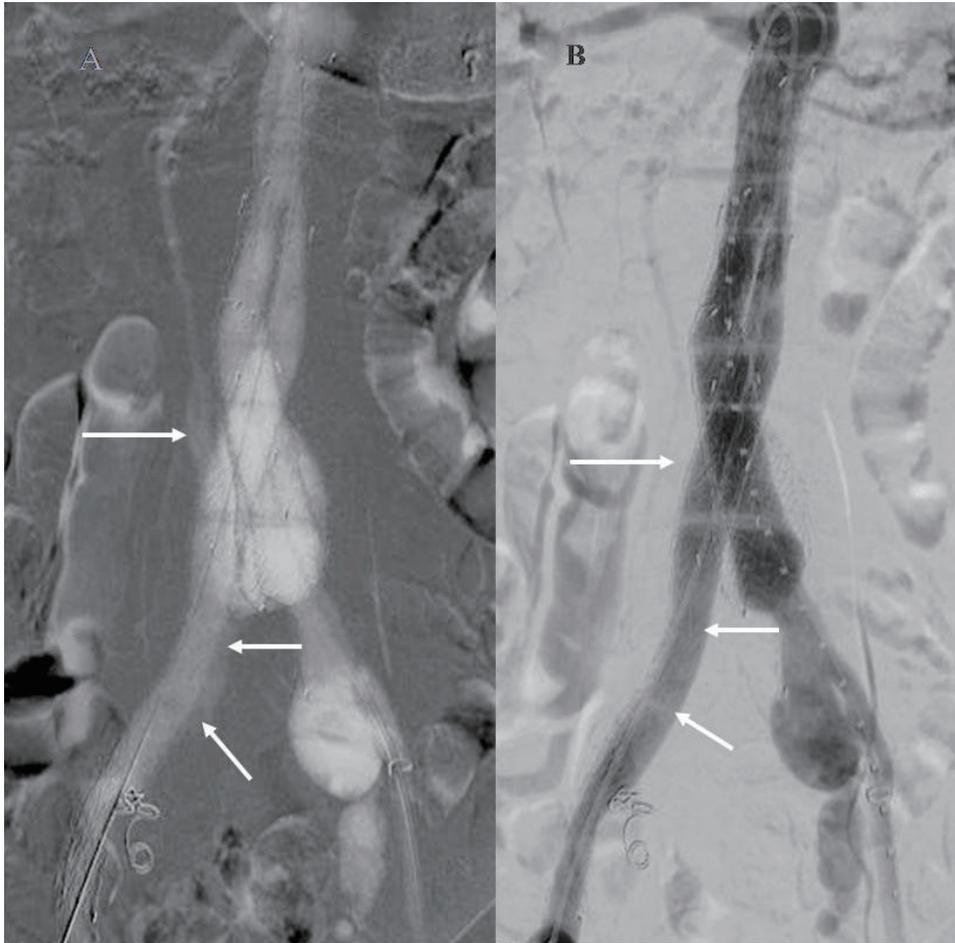
以診斷的造影，如有需要有診斷或治療小腿以下動脈，如膝下 BTK 動脈群及足掌 (below the ankle, BTA)，病患的高度配合是必需的。

腹主動脈覆膜支架的介入手術是替代率最高的一項檢查，不論是使用半身麻醉止痛或全身麻醉都不影響到最終的治療結果，二氧化碳造影在最終確認支架接合處及內外髂動脈沒有滲漏是非常靈敏的 (圖五)，二氧化碳造影也確實能夠檢查支架接合點的滲漏，讓我們可以確實貼合接合的覆膜支架部位，提升治療成功的機會。我們在施打超過 3,000 ml 病患都在完成手術後，抽血評估血氧變化，及血液酸鹼 (pH) 值，都落在正常範圍內 (表三)，正也代表在其他的術式是安全無虞的，二氧化碳在術後造成血液酸化、血氧含量過低或血液二氧化碳過高是不會發生的。

血液透析瘻管病患必須要使用二氧化碳注射器造影，在整體介入病患佔比較少，是因為大多數的患者已經是末期腎病血液透析的患



圖四：圖中白色箭頭區域為術中導絲在通過病灶處所造成血管損傷，二氧化碳的血管攝影可以很靈敏的診斷出來。



圖五：腹主動脈瘤覆膜支架置入修復 (endovascular stent-grafting in abdominal aortic aneurysm repair EVAR)，術後評估是否有接合處滲漏是關係到手術評估的一項重要依序，A. 二氧化碳搭配注射器血管攝影可以明確的判斷支架與支架間是否有確實接合，上圖白色箭頭所示，接合處有滲漏，B. 我們使用球囊再度貼合後並用含碘對比劑確認白色箭頭處沒有滲漏後病人到外科加護病房觀察。

者，不會再造成腎臟損傷的併發症，唯獨少部份對含碘對比劑過敏與甲狀腺機能亢進患者 (thyroid dysfunction)，還有當血液透析瘻管尚未成熟還有殘存腎功能病患，找到可取代的檢查

表三：超過 3000ml 二氧化碳注射病患血液數據變化表

血液檢查項目	術前採血值	術後採血值
pH 值	7.5±0.1	7.5±0.3
PCO2	31.5±5.2	36.5±4.7
PO2	124±17	110±21

\*腹主動脈瘤覆膜支架置入修復 (endovascular stent-grafting in abdominal aortic aneurysm repair EVAR) 使用超過 3000 ml 病患。我們在插完管後抽血當術前採血值，完成手術後要喚醒病人前採血當術後值，結果發現沒有實質意義變化。

對比劑就顯得相當重要。目前我們 11 例未成熟的血液透析瘻管患者，都是還有殘餘腎功能的腎病病患，我們進行促成熟的介入手術，都成功的將血管擴張到足夠血液透析使用的 6 mm 直徑，患者也因有保存餘腎功能，平時生活不太需要刻意限制水分攝取，使得生活品質提升，在洗完腎後也大大降低掉血壓的風險。

### 經驗分享

二氧化碳在很早以前就是當成陰性對比劑使用，被淘汰的主要原因是因為陰性對比劑的影像靈敏度較差，當水溶性含碘對比劑出現後，很快地被取代。到近年來數位影像處理的發展，輻射偵檢器的進步，使二氧化碳低毒、

高穩定的特性再度被重視，西門子公司在近年來更是對於二氧化碳造影，設計了專屬的影像處理程式，使我們造影上能夠取得更好的影像品質，但陰性對比劑也有先天上的限制，僅限用於對於結構外觀的診察，含碘對比劑則是有生理特性與不同組織的鑑別診斷，因此二氧化碳就無法當成電腦斷層用的對比劑，但目前二氧化碳使用還不普及，即使使用也還在傳統使用較為粗糙的抽取，徒手推打的方式，並沒有使用專屬的注射器，室內空氣的污染也都無法確實排除，真正的普及使用還需要時間教育及推廣，但是將來二氧化碳注射器的使用必定普及於各大醫學中心。

二氧化碳使用上相當的安全在 2002 年 Kessel 等人在手術過程中注射了 50 ml/min，相當於基礎二氧化碳增加了 20%，也不具有任何臨床意義，並表示二氧化碳的注射只有輕微暫時生理學意義不明顯的變化，造成的原因可能因血管攝影期間暫停呼吸造成二氧化碳積聚的結果<sup>10</sup>。

但還是有安全注意項目。二氧化碳在動物實驗中直接注射到大鼠的頸動脈導致血腦障壁被破壞及缺血性腦損傷。國外更有案例報告二氧化碳回流到椎動脈使得患者引發癲癇發作及失去知覺併出現神經性後遺症。所以二氧化碳不應該運用在橫隔膜以上動脈<sup>11</sup>，也不可以使用在腦血管和上肢的動脈血管造影。

血液透析動靜脈瘻管通常在手術建置後可能需要等待長達 6 個月以上，這些等待的患者，高達 53% 以上的機率是有可能無法成熟到可以足夠到血液透析所需的流量 (6 mm 直徑，600 ml/min 血流量)<sup>8</sup>，而我們利用經皮球囊血管擴張的介入，使用率可以高達 98% 以上，還可以減少兩個月的等待期<sup>12-14</sup>，減少置放 tunnel cuffed catheter 所造成感染與中央靜脈狹窄。所以促成熟的介入治療在部分瘻管患者是必要的，在過去還未使用二氧化碳注射器造影前，病人的殘餘腎功能會因對含碘對比劑注射而被犧牲，對有殘餘腎功能的末期腎病變與透析病患也算是一大福音。

在 PAOD 患者我們在 ATK 的部分都可以很

順利的診斷，完全阻塞的病人也可以明確地標訂出阻塞位置，我們可以有信心地進行經皮球囊擴張血管介入治療，當然術中有血管受傷破裂也能夠明確的顯現出來，根據 Filippo 經驗指出即使有病灶的 ATA (前脛骨動脈)、PTA (後脛骨動脈)、PEA (腓動脈) 這些區域還是有超過 95% 的診斷精確度<sup>15</sup>，數據也是支持 ATK 完全可以取代 ICM，至於 BTK 本院目前 (表四) 案例經驗來看 BTK 大概是極限，我們利用卡方檢定測試，如果需要診斷足踝關節以下 (below the ankle, BTA)，最好能有 ICM 輔助，因為大多數病患對於造影時的疼痛大多難以忍耐配合，要取得很好的影像有其難度，義大利的 Luis Mariano 在 2015 年提及脛骨末端到足掌建議施打 70-80 ml/180-220 mmHg，會有 90% 成功機會<sup>16</sup> 可以完成 BTK 以上的造影，但我們 BTA 能夠造影的機會約只有 30%，如果要求是要清楚的影像大約只有 16% 的機會，去除掉完全麻醉後成功機會更是只有不到百分之十的機會，且大量的二氧化碳在超過 30 ml 後病人疼痛的反應非常的大，幾乎都因移動的假影使影像完全無法判讀，因此要提升 BTK 與 BTA 成功鑑別診斷，目前我們只能在 BTA 段合併 ICM，雖然還需要 ICM 但是已經可以降低 75% 的使用

表四：下肢動脈血管攝影個部位的影像品質

檢查部位	膝關節 上動脈	膝關節 下動脈	足踝下 動脈
影像品質佳	4	0	0
影像品質可接受	20	12	3
影像品質不佳尚可判讀	3	12	4
影像品質不能接受	3	3	20
未採集影像	0	3	3

影像品質佳 = 影像疊加張數 10 張以內，完全沒有移動的假影。

影像品質可接受 = 影像疊加張數超過 10 張，影像有雜訊，但是沒有移動假影在影像上。

影像品質不佳尚可判讀 = 疊加超過 10 張以上影像，影像有雜訊，影像也有假影，但是假影不再血管位置上，不影響診斷判讀。

影像品質不佳不能接受 = 影像經過疊加後，影像雜訊或是移動假影在血管上無法消除。

未採集影像 = 3 位病患膝下動脈血管阻塞嚴重，因此二氧化碳造影無法呈像。

表五：各項檢查 ICM 使用量，部分使用二氧化碳取代後，ICM 使用量

檢查項目	使用 ICM	使用 ICM+CO <sub>2</sub> ICM 用量	可以減少 ICM%
下肢周邊動脈血管狹窄或栓塞	120±45 ml	20±5 ml	75%
血液透析瘻管促成成熟	51±25 ml	0	100%
腹主動脈瘤覆膜支架置入修復	75±17 ml	0	100%

由上表得知當有二氧化碳注射器後，我們在有腎病患者的治療過程中下肢動脈疾病患者，可以減少百分之七十五的對比劑注射，血液透析瘻管及腹主動脈支架手術更可以達到百分之百取代的結果。

[ 附註 ]：ICM：iodine contrast medium (含碘對比劑)。

量，也盡可能地保護腎臟，亦提供我們充足的治療訊息，更可以證實二氧化碳注射器的不可或缺。

## 結 論

本中心治療的病患治療時所須接受的 ICM 都不算太低 (表五)，對於腎臟已損傷病人的腎臟來說也算是很大的負擔，特別是下肢動脈狹窄或栓塞的病人，這類病患與腎功能不全有高達四分之一，治療所需 ICM 更是都超過一般診斷性電腦斷層對比劑的 1.5-2 倍量，但是下肢的急性缺血可是會造成下肢的發紺，嚴重需要截肢治療，因此常常就會犧牲腎臟病患提早接受終身血液透析這條路，對於生活品質是很大的影響。我們使用了二氧化碳注射器來取代 ICM，促成成熟的 AVF 及 EVAR 都可以完全不使用 ICM，配合度低的 PAOD 患者也可以將 ICM 對比劑使用低於 20 ml，等以上種種誘人好處。但是目前二氧化碳造影所需輻射劑量較高、影像品質沒有 ICM 來的好、且耗材還沒有健保給付、需要民眾自費購買，但對病人所帶來的益處是值得的。

## 參考文獻

- Paul RE, Durant TM, Oppenheimer MJ, et al. Intravenous carbon dioxide for intracardiac gas contrast in the roentgen diagnosis of pericardial effusion and thickening. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1957; 78: 224-5.
- Scatliff JH, Kummer AJ, Janzen AH, et al. The diagnosis of pericardial effusion with intracardiac carbon dioxide. *Radiology* 1959; 73: 871-83.
- Barrera F, Durant TM, Lynch PR, et al. 3rd In vivo visualization of intracardiac structures with gaseous carbon dioxide; cardiovascular-respiratory effects and associated changes in blood chemistry. *Am J Physiol* 1956; 186: 325-34.
- Huang PK, Tsai JJ, Hsia CC, et al. Contrast-induced Nephropathy *TW J Intern Med* 2009; 20: 171-80.
- Rajagopalan S, Dellegrottaglie S, Furniss AL, et al. Peripheral arterial disease in patients with end-stage renal disease: observations from the Dialysis Outcomes and Practice Patterns Study (DOPPS). *Circulation* 2006; 114: 1914-22.
- Corazza I, Rossi PL, Feliciani G, et al. Mechanical aspects of CO<sub>2</sub> angiography *Physics Medical* (2011) doi:10.1016/J.ejmp.2011.11.003.
- James G C, Kyung JC, Christian F, et al. Carbon Dioxide Digital Subtraction Angiography (CO<sub>2</sub> DSA): A Comprehensive User Guide For All Operators. *Vascular Disease Management* 2014; 11: E221-56.
- Asif P, Roy-C, Gerald A, et al. Beathard Early arteriovenous fistula failure: A logical proposal for when and how to intervene. *Clin J Am Soc Nephrol* 2006; 1: 332-9, doi: 10.2215.
- Ho CF, Chern MS, Wu MH, et al. Carbon Dioxide Angiography in Lower Limbs: A prospective comparative study with selective iodinated contrast angiography. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences* 2003; 19: 12 599-607.
- Kessel DO, Robertson I, Patel Jr, et al. Carbon-dioxide-guided vascular interventions: Technique and pitfalls. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2002; 25: 476-83.
- Eschelmann DJ, Sullivan KL, Bonn J, et al. Carbon dioxide as a contrast agent to guide vascular interventional procedures. *AJR Am J Roentgenol* 1998; 171: 1265-70.
- Asif A, Choral G, Merrill D, et al. Conversion of tunneled hemodialysis Cather consigned patients to arteriovenous fistula. *Kidney Int* 2005; 67: 2399-407.
- Beathard GA :Angioplasty for arteriovenous grafts and fistulae. *Semin Nephrol* 2002; 22: 202-10.
- Achkar K, Nassar GM: Salvage of a severely dysfunctional arteriovenous fistula with a structured and occluded outflow tract. *Semin Dial* 2005; 18: 336-42.
- Filippo S, Eugenio N, Carla A, et al. Automated carbon dioxide digital angiography for lower-limb arterial disease evaluation: safety assessment and comparison with standard iodinated contrast media angiography *J invasive cardiol* 2015; 27: 20-6.
- Luis MP, Larry JD, Alessandro C, et al. Automated carbon dioxide angiography for the evolution and endovascular treatment of diabetic patients with critical limb ischemia *Journal of endovascular therapy* 2015; 1-9 DOI:10.1177/1526602815616924.

# Application of Carbon Dioxide Injector Digital Angiography for Interventional Surgery

Wu-Yang Jiang<sup>1</sup>, Chung-KuanWu<sup>3</sup>, Yen-Yang Chen<sup>2</sup>, Hong-Ru Gao<sup>2</sup>, Dian-Yu Wu<sup>1</sup>, Cing-Hua Zhong<sup>1</sup>, Cyun-Jie Shao<sup>1</sup>, Chiu-Hao Wang<sup>1</sup>, and Chia-Hsun Lin<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Center of Peripheral Vascular Medicine, <sup>2</sup>Department of Cardiovascular Surgery, <sup>3</sup>Department of Nephrology, Shin Kong Wu Ho-Su Memorial Hospital; <sup>4</sup>School of Medicine, Fu Jen Catholic University

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), a colorless and odorless gas, which has non-toxicity, high solubility, low viscosity, and is non-allergenic and harmless to kidney, exists in nature and in human body. CO<sub>2</sub> dissolves in the blood and is expelled from the lungs. There is no dose limitation in its clinical usage. In recent years, advances in digital subtraction angiography (DSA) and image enhancement technology have enabled CO<sub>2</sub> to be used as a contrast medium for patients with advanced renal disease or contrast medium allergy but requiring complicated endovascular treatment. In such cases, CO<sub>2</sub> will be the best alternative contrast medium. We widely apply the CO<sub>2</sub> DSA since February 2017 and employed the first CO<sub>2</sub> injector in Taiwan. The auto injector provided fixed volume and constant pressure for CO<sub>2</sub> transport without the chance of mixing air, and thus greatly reduced the risk of air embolism. For the last two years, we have used CO<sub>2</sub> DSA during intervention therapy for 61 cases including endovascular aneurysm repair (EVAR) for abdominal aortic aneurysm, endovascular intervention for peripheral arterial occlusive disease and dysfunctional hemodialysis arteriovenous fistula or graft. We successfully completed the treatment in these patients without or with reduced iodine contrast medium. The quality of images is comparable to traditional iodine contrast medium. (J Intern Med Taiwan 2018; 29: 408-416)