

Fluid Assessment by Venous Excess Ultrasound

Thanphisit Trakarnvanich, Nuttha Lumlertgul

Division of Nephrology, Department of Medicine, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

Abstract

Critically ill patients often experience fluid overload, which is associated with an increased risk of complications and mortality. One key pathophysiological aspect of fluid overload is fluid accumulation in the venous system and/or impaired cardiac function, affecting both systolic and diastolic phases (systolic and diastolic dysfunction). This results in reduced perfusion to vital organs, making the rapid and timely diagnosis and treatment of fluid overload crucial for minimizing complications and reducing patient mortality. Traditional physical examination methods may be prone to errors. Currently, a panel of ultrasound techniques known as 'Point of Care Ultrasound' (POCUS) refers to the use of ultrasound for specific purposes to guide treatment decisions. POCUS can be performed on multiple organs, a practice referred to as multi-organ POCUS, which includes the assessment of the heart, lungs, and veins. Venous Excess Ultrasound (VExUS), a component of POCUS, is a novel Doppler technique used to assess fluid overload in the venous system. However, VExUS should not be used to predict responsiveness to fluid management. This examination primarily focuses on the inferior vena cava, followed by the hepatic, portal, and renal veins.

Keywords: volume overload; volume depletion; ultrasound; CVP; central venous pressure; CHF

Corresponding author: Thanphisit Trakarnvanich

Email: thanphisit2@hotmail.com

Received: 26 November 2025; Revised: 5 January 2026; Accepted: 11 January 2026

<https://doi.org/10.63555/jnst.2026.284179>



All material is licensed under terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC-ND 4.0) license unless otherwise stated.

การประเมินสารน้ำโดย Venous Excess Ultrasound

ธัญพิสิษฐ์ ตระการวนิช, ญัณฐา ล้ำเลิศกุล

สาขาวิชาโรคไต ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ผู้ป่วยวิกฤตมักประสบกับภาวะน้ำเกิน (Fluid Overload) เกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดภาวะแทรกซ้อนและอัตราการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้น หนึ่งในประเด็นสำคัญทางพยาธิสรีรวิทยาของภาวะน้ำเกินคือการสะสมของเหลวในระบบหลอดเลือดดำและ/หรือการทำงานของหัวใจที่บกพร่อง ซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งในระยะปอดและปลายตัวของหัวใจ (ความผิดปกติของการบีบตัวและการคลายตัว) ซึ่งนำไปสู่การลดการไหลเวียนของเลือดไปยังอวัยวะสำคัญ การวินิจฉัยและการรักษาภาวะน้ำเกินอย่างรวดเร็วและทันเวลาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการลดภาวะแทรกซ้อนและอัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วย วิธีการตรวจร่างกายแบบดั้งเดิมอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ปัจจุบันมีเทคนิคอัลตราซาวด์ที่เรียกว่า 'Point of Care Ultrasound' (POCUS) ซึ่งหมายถึงการใช้อัลตราซาวด์เพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะในการช่วยตัดสินใจทางการรักษา สามารถทำ POCUS ได้กับหลายอวัยวะ ซึ่งเรียกว่า Multi-organ POCUS รวมถึงการประเมินหัวใจ ปอด และหลอดเลือดดำ Venous Excess Ultrasound (VExUS) เป็นส่วนหนึ่งของ POCUS เป็นเทคนิคการอัลตราซาวด์แบบดอปเปลอร์เพื่อประเมินภาวะน้ำเกินในระบบหลอดเลือดดำ ตามด้วยหลอดเลือดดำใหญ่ส่วนล่าง (Inferior Vena Cava) ตามด้วยหลอดเลือดดำตับ หลอดเลือดดำพอร์ทัล และหลอดเลือดดำไต

คำสำคัญ: บวม; น้ำเกิน; น้ำท่วมปอด; การประเมินสารน้ำ

บทนำ

ผู้ป่วยวิกฤตที่ได้รับการรักษาในหอผู้ป่วยหนักมักมีภาวะน้ำเกิน (Fluid overload, FO) สัมพันธ์กับอัตราการเกิดภาวะแทรกซ้อนและอัตราการตายที่เพิ่มขึ้น¹ พยาธิสรีรวิทยาที่สำคัญประการหนึ่งของ FO คือการมีน้ำคั่งในระบบหลอดเลือดดำ และ/หรือ ร่วมกับการทำงานของหัวใจที่บกพร่อง ทั้งในช่วงซิสโตลิก และไดแอสโตลิก (systolic and diastolic dysfunction)^{2,3} ส่งผลให้มีเลือดไปเลี้ยงอวัยวะสำคัญลดลง การวินิจฉัยและการรักษาภาวะน้ำเกินอย่างรวดเร็วและทันเวลาจึงมีความสำคัญเพื่อที่จะช่วยลดภาวะแทรกซ้อน และอัตราการตายของผู้ป่วย

ในอดีต ใช้วิธีการตรวจร่างกาย การคำนวณสมมูลสารน้ำในการวินิจฉัยภาวะน้ำเกิน ซึ่งอาจมีความผิดพลาดได้ ปัจจุบันนี้มีการตรวจด้วยอัลตราซาวด์ที่เรียกว่า "Point of Care Ultrasound" หรือ POCUS ซึ่งหมายถึง การตรวจอัลตราซาวด์ด้วยจุดประสงค์ที่จำเพาะเพื่อช่วยกำหนดแนวทางการรักษา และสามารถตรวจ

POCUS ได้กับหลายอวัยวะ หรือที่เรียกว่า multi-organ POCUS⁴ ได้แก่ การตรวจหัวใจ ปอด และหลอดเลือดดำ การตรวจ Venous Excess Ultrasound (VExUS)⁴ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ POCUS เป็นแนวทางในการตรวจแบบใหม่ เพื่อใช้ตรวจดูภาวะน้ำเกินในส่วนของหลอดเลือดดำ⁵⁻⁷ ได้มีการเริ่มนำ VExUS มาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2020 โดย Beaubien-Souligny และคณะ⁴ หลังจากนั้น การตรวจชนิดนี้เริ่มได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย และมีการวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวิธีนี้เพิ่มขึ้น การตรวจนี้เป็นการใช้อัลตราซาวด์ตรวจดูปริมาณน้ำในหลอดเลือดดำและในอวัยวะต่างๆ โดยการประเมินจากขนาดของอินฟีเรียร์วีนาคาวา (inferior vena cava, IVC) และสัญญาณคลื่น doppler ของ hepatic, portal และ renal veins ข้อดีของการตรวจ VExUS คือช่วยบอกปริมาณน้ำที่คั่งในหลอดเลือดเหล่านี้ และใช้ติดตามการรักษาแบบ real-time หลังจากการขับน้ำออกจากร่างกาย อย่างไรก็ตาม การตรวจ VExUS ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจ และความชำนาญ

ผู้ประพันธ์บรรณกิจ: ธัญพิสิษฐ์ ตระการวนิช

อีเมล: thanphisit2@hotmail.com

รับบทความ: 26 พฤศจิกายน 2568; ปรับปรุงแก้ไข: 5 มกราคม 2569; รับผิดชอบ: 11 มกราคม 2569



All material is licensed under terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC-ND 4.0) license unless otherwise stated.

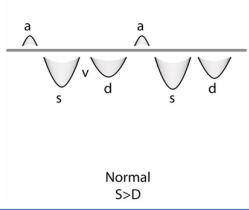
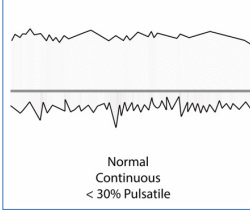
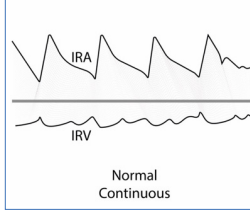
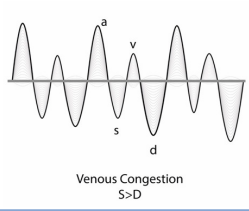
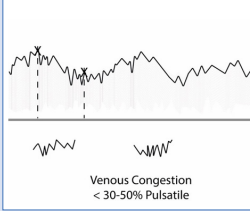
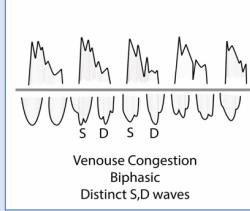
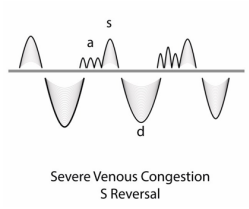
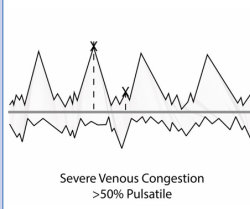
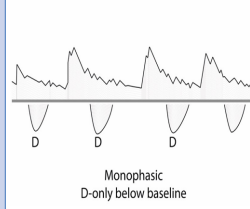
ในการตรวจ มิฉะนั้นจะทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อน และมีผลต่อการรักษาผู้ป่วยได้

ที่มาของ VExUS

ในอดีตที่ผ่านมา การประเมินสภาวะสารน้ำในร่างกายผู้ป่วยใช้วิธีตรวจร่างกาย วัดสัญญาณชีพ รวมทั้งความดันโลหิต หรือลองด้วยการให้สารน้ำแล้วดูการตอบสนอง (fluid challenge) แต่วิธีเหล่านี้ยังขาดความแม่นยำ โดยเฉพาะ fluid challenge ถ้าผู้ป่วยมีภาวะหลอดเลือดขยายตัวและมีภาวะซึมผ่านของหลอดเลือดเพิ่มขึ้น เช่น ในภาวะติดเชื้อในกระแสเลือด (sepsis) การให้สารน้ำอาจไม่เกิดการตอบสนอง รวมทั้ง ผู้ป่วยที่ตรวจพบ IVC เล็ก อาจมีโอกาสมิตอบสนองต่อสารน้ำ และอาจทำให้เกิดภาวะน้ำคั่งได้ด้วย^๘

การศึกษาสำคัญ ของ VExUS เริ่มแรกคือของ Beaubien-Souligny และคณะ^๔ ซึ่งใช้การตรวจอัลตราซาวด์ (POCUS) ในผู้ป่วยหอบหืดผู้ป่วยหนักหลังจากการผ่าตัดหัวใจ โดยทำการตรวจ POCUS ทุกวัน และนำมาจัดระบบให้คะแนนแบ่งเป็นเกรด 0-3 (ตารางที่ 1) พบว่า ผู้ที่มี VExUS score เกรดสูง จะสัมพันธ์กับการเกิดไตวายเฉียบพลัน (acute kidney injury, AKI) และเป็นดัชนีที่แม่นยำกว่าการวัด central venous pressure (CVP) โดยมีค่า post-test probability 75% ใน VExUS และ 25% ใน CVP ต่อมา Munoz และคณะ^๙ ที่ได้ทำการศึกษาผู้ป่วยอาการวิกฤติ 90 รายในหอผู้ป่วยหนัก โดยใช้ VExUS ในการประเมินสภาวะสารน้ำ พบว่า VExUS ใช้ยังไม่สามารถใช้แยกผู้ป่วยกลุ่มที่ตอบสนองและไม่ตอบสนองต่อสารน้ำได้นัก

ตารางที่ 1 การแบ่งเกรดของ VExUS

Grade	IVC diameter and Congestion Level	Doppler Findings	Vein Patterns		
			Hepatic vein	Portal vein	Intra-renal vein
0	< 2 ซม. None	Any findings (normal or abnormal)	 Normal S>D	 Normal Continuous < 30% Pulsatile	 Normal Continuous
1	≥ 2 ซม. Mild	Normal or mild abnormal pattern	 Venous Congestion S>D	 Venous Congestion < 30-50% Pulsatile	 Venous Congestion Biphasic Distinct S,D waves
2	≥ 2 ซม. Moderate	One severe abnormality in any organ	 Severe Venous Congestion S Reversal	 Severe Venous Congestion >50% Pulsatile	 Monophasic D-only below baseline
3	≥ 2 ซม. Severe	Two or more severe abnormalities			

อ้างอิงจาก ⁴ IVC, inferior vena cava

ต่อมากลุ่มของ Beaubien-Souligny ได้ทำการศึกษาพบว่า ผู้ที่มี VExUS เกรด 2 และ 3 จะสัมพันธ์กับอัตราตายที่เพิ่มขึ้น (เกรด 2 adjusted hazard ratio 4.03) ช่วงความเชื่อมั่น (confidence interval 1.81-8.99) ในขณะที่เกรด 3 จะมี hazard ratio 2.70, CI 1.10-6.65, $p = 0.03$ ¹⁰

Islas-Rodriguez และคณะ¹¹ ศึกษาผู้ป่วย 140 ราย ที่นอนโรงพยาบาลด้วยภาวะหัวใจวายเฉียบพลัน (acute decompensated heart failure, ADHF) ร่วมกับ AKI พบว่าการใช้ VExUS จะช่วยให้การกำหนดปริมาณการดื่มน้ำออกจากร่างกายดีกว่าการใช้วิธีดั้งเดิม (OR 2.5, 1.3-3.4, $p=0.01$) อย่างไรก็ตาม ผลต่อการทำงานของไตไม่แตกต่างกันทั้งสองกลุ่ม ซึ่งอาจเป็นเพราะทั้ง 2 กลุ่มมีความรุนแรงของ AKI ไม่มาก มีระดับค่าซีรัมครีเอตินินเพียง 1.1 และ 1.4 มก./ดล ในกลุ่ม VExUS และกลุ่มควบคุม ตามลำดับเท่านั้น หลายการศึกษาที่พบว่า การใช้ VExUS ช่วยลดอัตราการเสียชีวิต^{4,12,13} แต่ผลยังไม่ได้รับการยืนยันในทุกการศึกษา^{13,14} อย่างไรก็ตาม VExUS มีประโยชน์ในการวินิจฉัยภาวะน้ำเกินและทำนายการเกิด AKI¹⁵⁻¹⁸ และ VExUS เองยังมีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับระดับ CVP และลักษณะคลื่นในอัลตราซาวด์ (portal-pulsatility) จึงเป็นข้อยืนยันว่า VExUS ใช้ทำนายและวินิจฉัยภาวะน้ำคั่งในหลอดเลือดดำ (venous congestion) ได้เป็นอย่างดี

Venous congestion เกิดได้จากการเพิ่มขึ้นของความดันในห้องหัวใจบนขวา (right atrial pressure, RAP) และการลดลงของความยืดหยุ่นของหลอดเลือดดำ (venous compliance) มีการศึกษาพบว่า การใช้ VExUS จะแม่นยำกว่าการใช้ค่า RAP ที่มากกว่า 12 มม.ปรอทในการทำนายการเกิด AKI¹⁹ การศึกษาต่อมา ยืนยันความสัมพันธ์ระหว่าง VExUS และ RAP ในกลุ่มผู้ป่วยที่มาสวนหัวใจ (right heart catheterization)²⁰ การใช้ VExUS จึงมีประโยชน์ในการวินิจฉัยภาวะ venous congestion

ข้อบ่งชี้ในการตรวจ

VExUS มีประโยชน์ในการประเมินปริมาณสารน้ำในผู้ป่วยที่มีภาวะหัวใจวายเฉียบพลัน ผู้ป่วย AKI ผู้ป่วยที่อยู่ในสภาวะช็อก หรือมีความดันโลหิตต่ำที่หาสาเหตุไม่ได้²¹ แต่ควรใช้ VExUS ร่วมกับการตรวจร่างกายพื้นฐาน เช่น การตรวจ capillary refill time หรือการตรวจเส้นเลือดดำใหญ่บริเวณคอ (neck vein) ร่วมกับการซักประวัติอย่างละเอียดเสมอเพื่อประเมินสาเหตุของภาวะช็อกเพิ่มเติม

วิธีการตรวจ²²

อุปกรณ์

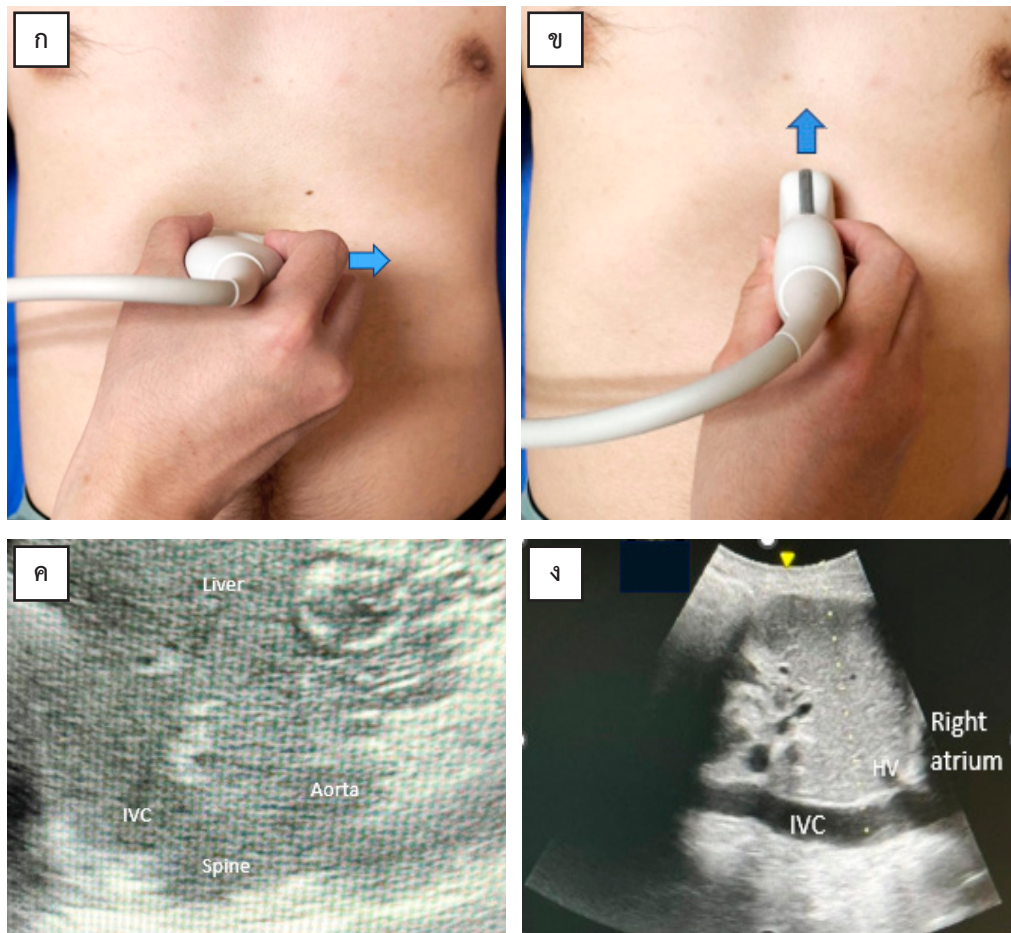
ใช้เครื่องอัลตราซาวด์ที่แสดงภาพ 2 มิติ ร่วมกับ doppler ชนิดมีสีและคลื่นเสียง (pulse wave doppler) ส่วนหัวตรวจ (probe) สามารถใช้แบบโค้ง (curvilinear) หรือแบบ phased array (วงกลม) แต่มักนิยมใช้แบบโค้งมากกว่า ควรติดเครื่องติดตามการเต้นของหัวใจ (electrocardiogram, ECG) ไว้ตลอดระยะเวลาที่ตรวจหากทำได้ เพื่อให้ผลการตรวจแม่นยำมากขึ้น การตรวจใช้หลักการป้องกันรังสีการติดเชื้อแบบมาตรฐาน (universal safety precaution) โดยผู้ตรวจควรใส่อุปกรณ์ป้องกันแบบมาตรฐาน จัดวางท่าทางผู้ป่วยในท่านอนหงาย และอยู่ในระดับเอวของผู้ตรวจ เพื่อความสะดวก ผู้ตรวจจับหัวตรวจด้วยมือข้างเดียว และใช้มืออีกข้างปรับปุ่มต่างๆของเครื่องอัลตราซาวด์

การตั้งเครื่อง

ในการตรวจ IVC, hepatic vein (HV) และ portal vein (PV) ให้ใช้ mode cardiac, abdominal หรือ Focused Assessment with Sonography in Trauma (FAST) การตรวจ IVC การใช้ mode cardiac จะทำให้เห็นภาพหลอดเลือดชัดเจนขึ้น สามารถปรับสเกลความละเอียดให้สูงขึ้นถึง 100 ซม./วินาที ได้ แต่เบื้องต้นสามารถตั้งความละเอียดไว้ที่ระดับ 40 ซม./วินาทีก่อน แล้วจึงค่อยๆ ปรับเพิ่มขึ้นได้ การตรวจ intrarenal vein doppler (IRVD) ควรเลือกการ abdominal ของ FAST และเลือกระดับความชัดที่น้อยกว่า 20 ซม./วินาที และปรับสีให้เห็นหลอดเลือดชัดเจนขึ้น โดยที่สเกลระดับสีที่เหมาะสมคือ 50 มล./วินาที ถ้าระดับความเร็วต่ำไปอาจมองเห็น turbulent flow คล้ายเส้นเลือดตีบได้

การตรวจ inferior vena cava

ขั้นแรก ให้ตรวจขนาดของ IVC โดยวางหัวตรวจต่ำกว่าลิ้นปี่ 1-2 ซม. โดยวางหัวตรวจที่ระดับ 3 นาฬิกา (รูปที่ 1) จะได้รูป IVC short axis จะต้องแยกหลอดเลือดเอออร์ตา ซึ่งจะอยู่ตรงกลาง ถัดจากตับ ต่อมาหมุนหัวตรวจในระนาบแนวยาว (long axis) ในทิศทวนเข็มนาฬิกาจาก 3 นาฬิกาไปสู่ตำแหน่ง 12 นาฬิกา จะเห็น IVC เทเข้าหัวใจห้องบนขวา และ Hepatic vein (HVC) ไหลสู่ IVC)

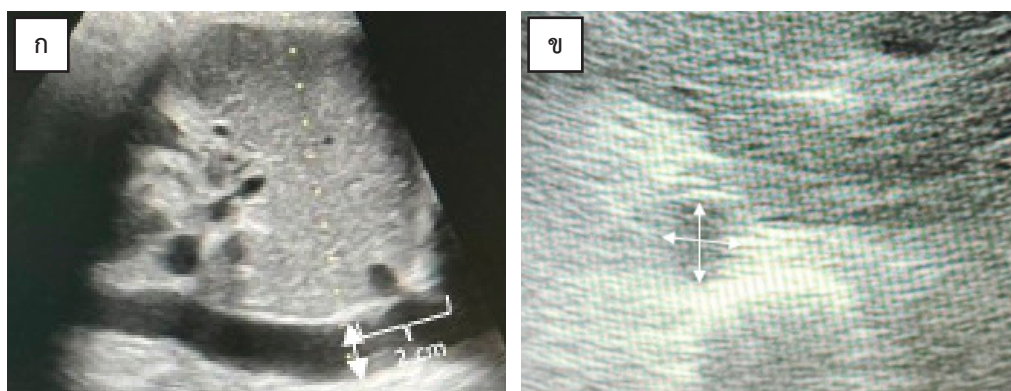


รูปที่ 1 วิธีการตรวจ inferior vena cava

ก. วางหัวตรวจระดับ 3 นาฬิกา เพื่อตรวจขนาดของ inferior vena cava ใน short axis; ข. หมุนหัวตรวจจาก 3 นาฬิกาไปสู่ตำแหน่ง 12 นาฬิกา เพื่อตรวจขนาดของ inferior vena cava ใน long axis; ค. รูป Inferior vena cava ใน short axis; ง. รูป inferior vena cava ใน long axis

บางคนนิยมตรวจ long axis ก่อน การวัดขนาด IVC จะวัดบริเวณ 2 ซม ต่ำกว่ารอยเชื่อมของหัวใจบนขวา และ IVC หรือต่ำกว่า HV-IVC junction 1 ซม (รูปที่ 2) แนะนำใช้ B-mode

มากกว่า M-mode บางท่านแนะนำให้วัด IVC ใน short axis view ด้วยอย่างไรก็ดี มีรายงานว่า การวัดขนาด IVC ใน short axis จะสัมพันธ์กับ CVP ดีกว่า long axis²³



รูปที่ 2 การวัด inferior vena cava ด้วยวิธีอื่น

ก. ตำแหน่งที่เหมาะสมในการวัด inferior vena cava บริเวณ 2 ซม ต่ำกว่ารอยเชื่อมของหัวใจบนขวา และ inferior vena cava หรือต่ำกว่า hepatic vein-inferior vena cava junction 1 ซม; ข. inferior vena cava ในมุมมอง short axis

การแปลผล

ขนาดของ IVC ที่น้อยกว่า 2 ซม. จะจัดอยู่ใน VExUS เกรด 0 แสดงว่า ไม่มีภาวะน้ำเกิน ขนาดของ IVC ขึ้นกับขนาดพื้นที่ผิวของร่างกายด้วย มีรายงานว่าขนาด IVC ในคนเอเชีย จะใช้ขนาด 1.7 ซม. เป็นเกณฑ์²⁴ ในกรณีที่ไม่สามารถวางหัวตรวจได้ลึกไปได้ สามารถเลื่อนมาวางที่ด้านขวาแล้วลำตัวได้ โดยเออร์ตาจะอยู่ด้านซ้ายได้ ต่อด้วย การตรวจดูว่ามีจังหวะการเต้น (pulsatility) อาจใช้แยกไม่ได้ เพราะในบางกรณี เช่น hyperdynamic states และลิ้นหัวใจ tricuspid รั่ว อาจทำให้ IVC มีลักษณะ มี pulse ได้ IVC ที่ขยายโต อาจพบได้ในนักกีฬา และ IVC ที่หดเล็กน้อย อาจพบได้ในกรณีที่มีความดันในช่องท้องเพิ่มขึ้น²⁵ การวัด IVC ในลักษณะ anteroposterior แม้จะเป็นตำแหน่งมาตรฐาน ต้องระวังว่า อาจตรวจผิดพลาดตำแหน่งกับหัวใจห้องบนขวาได้

ข้อควรระวัง

อาจมีการสับสนระหว่าง IVC และ aorta ได้ จึงควรระบุตำแหน่งของ aorta ให้ได้โดยจะอยู่ก่อนไปทางซ้าย และหากเป็น IVC จะมี hepatic vein มาเชื่อมต่อ ในขณะที่ aorta ไม่มี IVC อาจมีขนาดใหญ่ได้ในนักกีฬาโดยที่ความดันหัวใจห้องบนขวาไม่สูง หากมีภาวะความดันในช่องท้องสูงอาจทำให้ IVC ตีบได้โดยที่ความดันหัวใจห้องบนขวาสูง

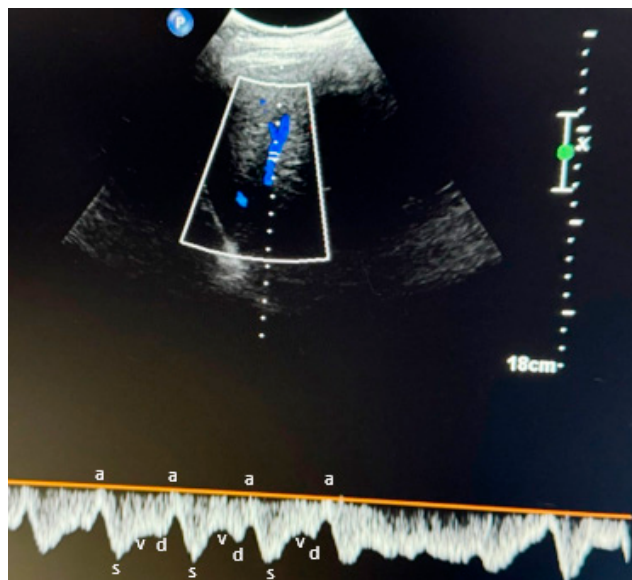
การตรวจ Internal jugular vein

ปกติแล้วการตรวจ internal jugular vein (IJV) ไม่ได้เป็นส่วนประกอบของ VExUS แต่สามารถตรวจได้ เพราะบ่งบอกถึงความดันในหัวใจห้องบนขวาได้ด้วย (right atrial pressure, RAP) มีรายงานว่าในบางภาวะ เช่น ดับแข็งที่มี collateral circulation อาจทำให้การตรวจ IVC ทำได้ลำบาก การตรวจ IJV-CI (IJV-collapsibility index) ที่ตำแหน่ง 2 ซม. เหนือต่อ sternoclavicular joint $\leq 24.8\%$ จะให้ความไวร้อยละ 100 และความจำเพาะร้อยละ 97.1 ในการทำนาย RAP ≥ 8 มมปรอท²⁶ อย่างไรก็ตาม การตรวจ IJV อาจมีข้อผิดพลาดได้ง่าย อาทิเช่น จากการวัดความสูงของระดับเลือด การผันแปรตามการหายใจ และตำแหน่งการวางหัวตรวจ เป็นต้น

การตรวจ Hepatic vein

สามารถตรวจได้ 2 ตำแหน่งคือ ใต้ลิ้นปี่ (Subxiphoid view) และแนวยาว (Coronal view) ตำแหน่งนี้คือ ให้ลากเส้นจาก xiphoid process ไปที่ midaxillary line วางหัวตรวจที่จุดตัดนี้ หันไปทางศีรษะผู้ป่วย การตรวจด้วย mode color doppler จะช่วยให้เห็น HV ชัดเจน wave form ใน HV จะมี 2 ส่วนคือ A

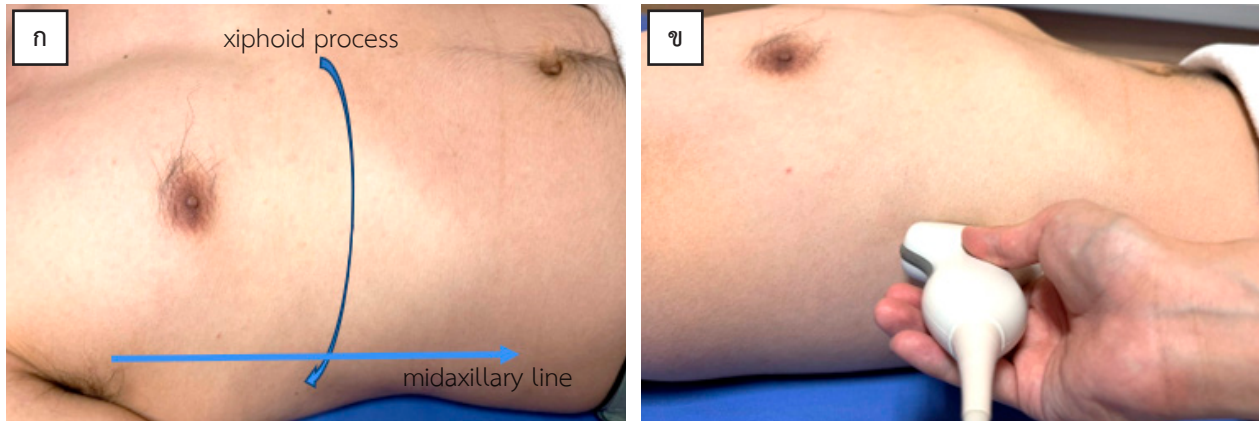
และ V wave (ทิศทางเป็นบวก) และ S,D wave (ทิศทางเป็นลบ) (รูปที่ 3) ซึ่งหมายถึงทิศทางของเลือดที่ไหลออกจาก หรือเข้าสู่หัวใจ ถ้าสามารถตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจร่วมไปด้วยจะพบว่า A wave ตรงกับช่วง P wave ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ S เทียบเท่า QRS complex และ V wave เทียบเท่าส่วนปลายของ systole และ D wave เกิดหลัง T wave ซึ่งหมายถึงในช่วง diastole ขณะที่ tricuspid valve ปิด ทำให้เลือดไหลจาก HV เข้าสู่ IVC และหัวใจห้องบนขวาตามลำดับปกติแล้ว S wave จะมี amplitude มากกว่า D wave แต่ถ้า RAP สูงขึ้น ร่วมกับหัวใจห้องล่างขวาทำงานผิดปกติ จะทำให้ amplitude ของ S wave ลดลง จนอาจทำให้ทิศกลายเป็นบวกได้ ข้อควรระวังของการตรวจคือ ในสภาวะ atrial fibrillation อาจทำให้ A wave หายไป และขนาดของ S wave ลดลง ($S < D$) แม้ RAP จะไม่เพิ่มขึ้น ทำให้แปลผลผิดได้ในภาวะดับแข็ง wave form อาจผิดปกติได้ในภาวะลิ้น tricuspid รั่ว S wave อาจกลับด้านได้



รูปที่ 3 การตรวจ hepatic vein
ในรูปแสดงให้เห็น hepatic vein wave form, A และ V wave (ทิศทางเป็นบวก) และ S,D wave (ทิศทางเป็นลบ)

การตรวจ Portal vein

ควรใช้ coronal view จะทำให้เห็น waveform ได้ชัดเจนกว่า การวางตำแหน่งหัวตรวจใช้ตำแหน่งเดียวกับการตรวจ HV (รูปที่ 4) ถ้าต้องการตรวจตับและไตข้างขวา ให้เลื่อนหัวตรวจต่ำลงมา การใช้ doppler จะพบว่า flow สีแดง แสดงว่าเลือดวิ่งทิศทางเข้าหาหัวตรวจ สามารถปรับสเกลของเครื่องเพื่อคำนวณ portal vein pulsatility fraction (PVPF) ได้



รูปที่ 4 การตรวจ portal vein

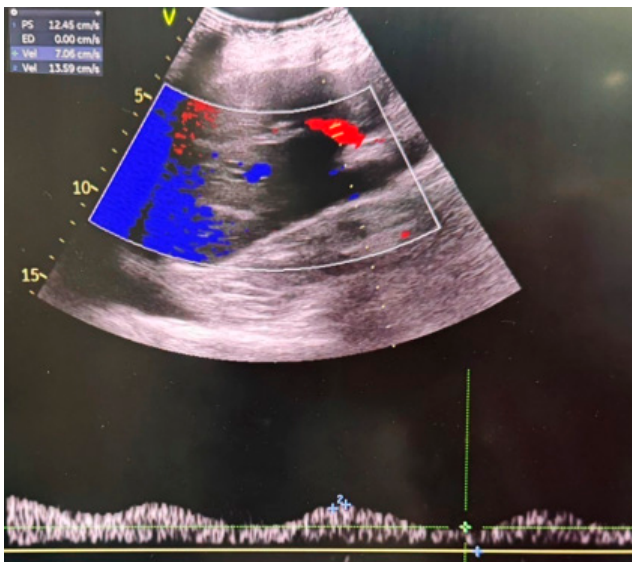
ก. แสดงเส้นสมมติจาก xiphoid process ไปบรรจบกับ midaxillary line เป็นตำแหน่งที่วางหัวตรวจเพื่อหา hepatic vein และ portal vein; วางหัวตรวจบนเส้นสมมติที่ลากจาก xiphoid process ไปบรรจบกับ mid-axillary line โดยวาง marker ไปทางรักแร้ของผู้ป่วย

การแปลผล

ปกติลักษณะของ PV จะเป็นลักษณะต่อเนื่อง และมี pulsatility ในวงจำกัด เพราะถูกจำกัดโดย hepatic sinusoids ค่า PVPF ปกติ

$$\left(\frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max}} \right) \times 100\%$$

จะน้อยกว่า 30% แต่ถ้าผู้ป่วยมีสารน้ำเกินในร่างกาย ค่า PVPF จะเพิ่มขึ้น ค่า PVPF 30-50% แสดงว่าน้ำเกินปานกลาง แต่ถ้าค่ามากกว่า 50% หรือไม่มี flow ไหลย้อนกลับ แสดงว่ามีภาวะน้ำเกินอย่างรุนแรง (รูปที่ 5)

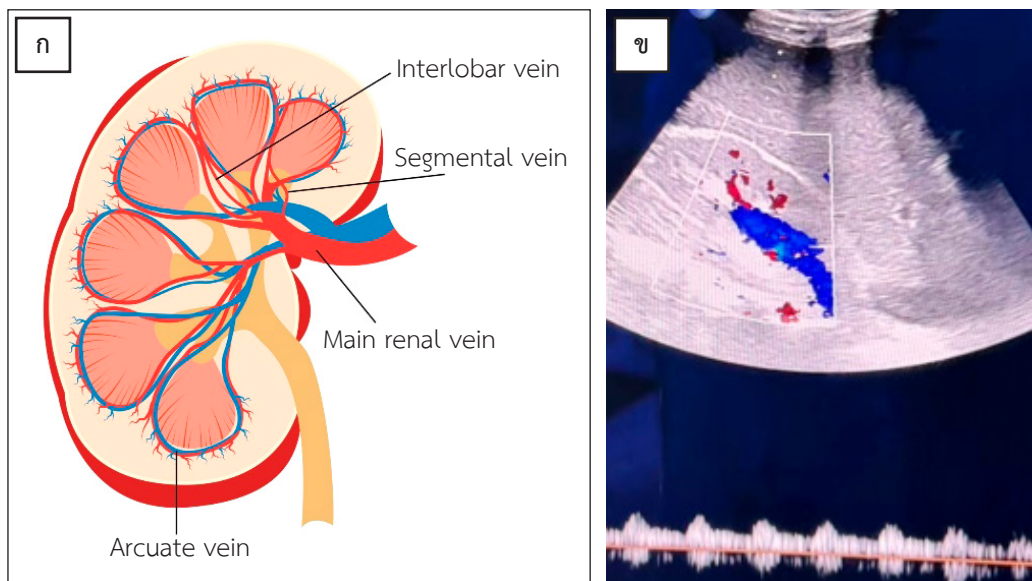


รูปที่ 5 ตัวอย่างผู้ป่วยที่มีภาวะน้ำเกินปานกลาง $\left(\frac{13.59 - 7.06}{13.59} \right) \times 100\% = 48\%$

ข้อพึงระวังคือ ผู้ที่ร่างกายผอม หรือนักกีฬาอาจมีค่า PVPF สูงทั้งที่น้ำไม่เกิน ในผู้ป่วยตับแข็ง หรือมีภาวะความดันในระบบพอร์ทัลสูง (portal hypertension) อาจมี wave form ที่ซาลง หรือมีค่า PVPF สูงขึ้น จากการมี arteriovenous connections ทั้งที่น้ำในร่างกายไม่เกิน รวมทั้งค่า PVPF อาจปกติแม้จะน้ำเกิน ในคนที่ความดันใน hepatic sinusoid ที่ส่งไปยังหัวใจห้องบนขวา ลดลง ควรติดเครื่องอ่านคลื่นไฟฟ้าหัวใจควบคู่ไปด้วยเพื่อแยกการเปลี่ยนแปลงของ wave form ตามการหายใจ

การตรวจ Intrarenal veins

ในการตรวจ VExUS จะเลือกตรวจ interlobar หรือ arcuate vein ซึ่งเป็นเส้นเลือดขนาดเล็กแทนที่จะตรวจ main renal vein (รูปที่ 6) เพราะเส้นเลือดเหล่านี้อยู่ในเนื้อไต ซึ่งจะมีผลกระทบเมื่อมีภาวะน้ำเกิน ทำให้อ่านค่าผิดปกติได้ การตรวจ interlobar vein จะทำได้สะดวกที่สุด ควรใช้หัวตรวจวางแบบแนวยาว (coronal view) ที่รอยต่อระหว่างเส้นสมมติที่ลากเชื่อมระหว่าง posterior axillary line และ xiphoid process โดยวางหัวตรวจชี้ไปทางรักแร้ขวา ถ้าจะตรวจให้เห็นไต ให้วางหัวตรวจต่ำลงมา โดยชี้ไปทิศทางของไต การใช้ mode color doppler จะเห็นเลือดที่วิ่งเข้าหาหัวตรวจเป็นสีแดง ให้ใช้ mode abdominal หรือ mode renal และปรับลดสเกลลง แต่ปรับสีจนเห็น flow ชัด ในสภาวะปกติ จะเห็น pulsatility ค่อนข้างน้อย ไม่มีคลื่นรบกวน ถ้ามีน้ำคั่ง จะเห็น pulsatility เพิ่มขึ้น และมีคลื่นรบกวน (ตัวอย่าง เช่นพบ S,D wave ชัดเจน) ถ้ามีภาวะน้ำเกินมาก S wave อาจกลับมามีอยู่ในโซนบวก เหลือเพียง D wave ที่ต่ำกว่า baseline ข้อควรระวัง คือ การตรวจให้เห็นภาพชัดควรให้ผู้ป่วยกลั้นหายใจ



รูปที่ 6 การตรวจ intrarenal veins

ก. ตำแหน่ง interlobar vein และ arcuate vein; ข. ตัวอย่างของผู้ป่วยที่มีภาวะน้ำคั่ง ตรวจอัลตราซาวด์ที่ Arcuate vein พบว่าเหลือเพียง D wave ที่ต่ำกว่า baseline

การแบ่งระดับ VExUS

การแบ่งระดับของ VExUS ดังแสดงในตารางที่ 1 เกรด 0 คือ ขนาด IVC น้อยกว่า 2 ซม. หมายถึงไม่มีน้ำเกิน ถ้าขนาด IVC มากกว่า 2 ซม. สามารถแบ่งระดับน้ำเกินออกได้ 3 ระดับ โดยพิจารณาร่วมกับ hepatic , portal และ intrarenal vein doppler ถ้าน้ำเกินไม่มาก S wave จะมีขนาดเล็กกว่า P wave แต่ระดับยังต่ำกว่า baseline เมื่อใดที่ S wave กลับทิศขึ้นมา แสดงว่าความรุนแรงเพิ่มขึ้น ส่วน portal vein ได้แบ่งความรุนแรงเป็น 3 ระดับ คือ รุนแรงน้อย ถ้าค่า pulsatility อยู่ระหว่าง 30-50% และจะรุนแรงมากถ้า >50% ส่วน intrarenal vein จะผิดปกติเล็กน้อยถ้า S และ D wave ยังแยกกันชัดเจน และจะมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นถ้าเป็นลักษณะ monophasic และมีเฉพาะ wave D VExUS เกรด 1 คือ การมี wave form ผิดปกติเพียง 1-2 wave เกรด 2 คือ มีความผิดปกติของ wave เดียวแต่เป็นระดับรุนแรง (มี 1 wave ที่เป็นเกรด 3) ในขณะที่เกรด 3 คือ ความผิดปกติของ wave 2-3 อัน แสดงถึงมีน้ำคั่งในร่างกายมาก⁴

ข้อพึงระวัง

การแบ่งระดับความรุนแรงของ VExUS ไม่สามารถบอกได้ว่าน้ำเกินนั้นเกิดจาก volume overload หรือ pressure overload เป็นเพียงเครื่องมือที่ใช้บอกว่ามีน้ำคั่งในอวัยวะต่างๆ แต่ไม่ได้บอกสาเหตุ อย่างไรก็ตามการตรวจ VExUS สามารถใช้ติดตามเพื่อกำกับการรักษาได้^{18,27,28} การแปลผลต้องพิจารณาร่วมกับอาการทางคลินิกเสมอ ร่วมกับผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ

และภาพรังสีอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยมีภาวะน้ำในช่องเยื่อหุ้มหัวใจ (pericardial effusion) จะมีค่า VExUS ระดับสูง แต่การดึงน้ำออกกลับทำให้อาการผู้ป่วยทรุดลงได้ การตรวจ VExUS เป็นส่วนหนึ่งของระบบไหลเวียนของร่างกาย ดังนั้นจะต้องพิจารณาร่วมกับดัชนีอื่นด้วยเสมอ

การใช้ POCUS รวมทั้ง VExUS ในภาวะต่างๆ

ภาวะหัวใจวายเลือดคั่ง (Congestive heart failure, CHF)

ในภาวะ CHF สามารถนำ VExUS มาใช้ในการตรวจและรักษา น้ำคั่งได้²⁹ นอกจากนั้นการตรวจอัลตราซาวด์เนื่อปอด จะช่วยตรวจดูปริมาณน้ำเกินในปอดร่วมด้วยได้ โดยตรวจหา “B-line”³⁰ การใช้ VExUS ร่วมกับอัลตราซาวด์ปอด เพราะ VExUS จะตรวจอวัยวะต่างๆเพิ่มเติมด้วย เช่น IVC Anastasiou และคณะ³¹ ศึกษาผู้ป่วย CHF 290 ราย ที่ได้ทำการตรวจ VExUS พบว่าร้อยละ 39 จัดอยู่ในกลุ่ม VExUS เกรด 3 ซึ่งถือว่าเป็นกลุ่มที่พบมากที่สุด ปัจจัยที่พบร่วมคือ ขนาดของหัวใจห้องล่างขวาที่โต มีลิ้น tricuspid รั่วรุนแรง และการทำงานของหัวใจห้องบนขวาที่ไม่ดี ผู้ที่มี VExUS เกรด 3 จะมีอัตราการตายสูงขึ้นมาก (odds ratio 8.03, 95% CI 2.25-28.61, p=0.001) ดังนั้น VExUS score ใช้ช่วยทำนายอัตราการตายได้ นอกจากนี้ยังมีการรายงานการใช้ VExUS เพื่อประเมินสารน้ำในผู้ป่วยที่มีภาวะหัวใจวายเลือดคั่งในผู้ป่วยที่มีดันปอดสูง ที่ไม่สามารถตัดสินใจแนวทางการรักษาด้วยวิธีการประเมินสารน้ำด้วยวิธีอื่น เพื่อช่วยตัดสินใจแนวทางการรักษา²⁸

ภาวะไตวายเฉียบพลัน (Acute kidney injury, AKI)

ได้มีการนำ VExUS มาช่วยประเมินปริมาณสารน้ำในร่างกายของผู้ป่วยที่มีภาวะ AKI ในหอผู้ป่วยหนัก Andrei และคณะ³² พบว่าผู้ป่วย 145 ราย ที่ได้รับการตรวจด้วย VExUS 4 ครั้งภายใน 48 ชม. หลังจากรับไว้รักษาในโรงพยาบาล พบว่าระดับของ VExUS ไม่ได้สัมพันธ์กับการเกิด AKI หรือ อัตราตายที่ 28 วัน อาจเป็นเพราะในการศึกษานี้มีผู้ที่มี VExUS grade 3 เพียงร้อยละ 6 เท่านั้น Bosisio และคณะ¹⁴ ได้ทำการศึกษา systemic review และ meta-analysis ที่รวบรวมจาก 4 การศึกษาเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของ intrarenal venous doppler และอุบัติการณ์การเกิด AKI พบว่าลักษณะ flow แบบต่อเนื่อง (continuous flow) จะมีโอกาสเกิด AKI น้อยลงอย่างน้อยครึ่งหนึ่ง ความผิดปกติของ waveform สามารถบอกถึงการเกิดอันตรายต่อไต และปริมาณน้ำที่คั่งได้ด้วย แต่การศึกษา meta-analysis ขึ้นนี้ยังรวบรวมผลงานการศึกษามาก่อนข้างน้อย และผู้ป่วยที่มีความหลากหลาย จึงอาจทำให้แปลผลยาก Beaubien-Souligny และคณะ พบว่า portal flow pulsatility และการเปลี่ยนแปลงของ wave form อย่างมากของ intrarenal vein จะสัมพันธ์กับการเกิด AKI นอกจากนี้ portal flow pulsatility ยังสัมพันธ์กับระดับ systolic pulmonary artery pressure ที่สูง ปริมาณน้ำสะสมมากในร่างกาย และระดับ diastolic pressure ที่ลดลง ลักษณะ monophasic wave จะสัมพันธ์กับ AKI ได้ทุกระยะ³³ Fogagnolo และคณะ³⁴ พบว่าความผิดปกติของ IRV flow สัมพันธ์กับอุบัติการณ์การเกิด AKI (13/13 ในกลุ่ม AKI และ 1/17 ในกลุ่มที่ไม่มี AKI, $p < 0.001$) ในทางตรงกันข้าม Spiegel และคณะ³⁵ พบว่า ลักษณะ biphasic หรือ monophasic ไม่สัมพันธ์กับการเกิด อุบัติการณ์ MAKE-30 เช่นเดียวกับ Wiersema และคณะ³⁶ ที่ไม่พบความสัมพันธ์ของ wave form ที่ IRV กับ การเกิด AKI Li และคณะ³⁷ ทำการศึกษา cohort study ในผู้ป่วย 230 ราย ที่ทำการผ่าตัดหัวใจและได้รับการตรวจ VExUS โดยตรวจ IVC, hepatic vein, portal vein และ intrarenal vein พบว่าผู้ป่วยกลุ่มนี้มีอุบัติการณ์การเกิด AKI ร้อยละ 23 (53 ราย) และต้องทำการฟอกเลือดแบบต่อเนื่อง (continuous renal replacement therapy, CRRT) ร้อยละ 4.8 (11 ราย) พบว่ากลุ่มที่เกิด AKI มีค่าที่แสดงถึงน้ำคั่งในร่างกาย เช่นค่า CVP ที่สูงกว่า HPV, PPF (portal vein flow) และ IRVF (intrarenal vein flow) ที่แสดงว่าน้ำเกิน รวมทั้งมี VExUS ที่เกรดสูงกว่า จากการวิเคราะห์โดยสถิติชนิด multivariate regression พบว่าดัชนีของ VExUS 4 ชนิดนี้ทำนายการเกิด AKI หลังจากการผ่าตัดหัวใจได้ดี อย่างไรก็ตาม ดัชนีเหล่านี้ไม่อาจทำนายความจำเป็นในการทำ CRRT

การปรับการดื่มน้ำจากร่างกาย

การใช้ VExUS สามารถช่วยปรับแนวทางการดื่มน้ำจาก

ร่างกายได้ Islas-Rodriguez และคณะ¹¹ ได้ศึกษาผู้ป่วย cardiorenal syndrome (CRS) type 1 ที่ได้รับการตรวจ VExUS เทียบกับการตรวจวิธีมาตรฐาน โดยมีจุดมุ่งหมายว่าการฟื้นตัวของการทำงานของไต พบว่ากลุ่มที่ใช้ VExUS ตรวจจะดื่มน้ำได้ดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้ 2 เท่าแต่ผลลัพธ์ต่อไตไม่ต่างกัน Gupta และคณะ⁶ รวบรวมทำการศึกษารายงานต่างๆ พบว่า VExUS สัมพันธ์กับสถานะน้ำเกินและช่วยประเมินเป็นแนวทางการรักษาได้ Rola และคณะ²⁸ ได้รายงานกลุ่มผู้ป่วยที่ได้รับการตรวจ VExUS และพบว่าการตรวจ VExUS จะช่วยวินิจฉัยภาวะน้ำเกินได้ดี ทำนาย AKI และช่วยกำหนดแนวทางการดื่มน้ำออกจากร่างกายได้ แม้ว่า VExUS จะไม่ได้เป็นดัชนีที่บอกถึงการเพิ่มสารน้ำในร่างกาย แต่จะช่วยบอกว่าจะหยุดการดื่มน้ำเมื่อใด

การทำซ้ำและความแม่นยำในการทำ VExUS

Longino และคณะ³⁸ ได้ประเมินความแม่นยำในการทำซ้ำ (reliability) และความน่าเชื่อถือ (reproducibility) ของการทำอัลตราซาวด์ VExUS โดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (kappa statistic) ระหว่างผู้วิจัยอยู่ที่ 0.71 และค่าสหสัมพันธ์ภายในชั้น (intraclass correlation) อยู่ที่ 0.83 ($p < 0.001$) ซึ่งบ่งชี้ถึงความแม่นยำที่ดี นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์ในตำแหน่งต่างๆ ก็พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แคปปาและค่าสหสัมพันธ์ภายในชั้นยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ทั้งนี้ การติดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) ขณะทำ VExUS ช่วยเพิ่มความแม่นยำ โดยค่าสัมประสิทธิ์แคปปาและค่าสหสัมพันธ์ภายในชั้นเพิ่มขึ้นเป็น 0.75 และ 0.86 ตามลำดับ ($p < 0.001$) อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายจากผู้ป่วยรายเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาและค่าสหสัมพันธ์ภายในชั้นยังคงอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ โดยมีค่าสหสัมพันธ์ภายในชั้นเฉลี่ยที่ 0.795

บทสรุป

การตรวจ VExUS เป็นการรวบรวมข้อมูลของการตรวจ IVC, hepatic vein และ portal vein ที่ช่วยประเมินการคั่งของสารน้ำ และช่วยกำหนดแนวทางในการรักษาโรคต่างๆ โดยเฉพาะ AKI ถ้าตรวจได้เกรด 0 ให้พิจารณาให้สารน้ำเพิ่มได้ แต่ถ้าเป็นเกรด 2,3 ต้องตรวจเพิ่มเติม เช่นคลื่นเสียงความถี่สูงของหัวใจ เพื่อประเมินสภาวะการทำงานของหัวใจ พิจารณาให้ยาขับปัสสาวะหรือการดื่มน้ำออกโดยเครื่องฟอกไต การใช้ VExUS ต้องพึงระวังข้อจำกัดต่างๆ รวมทั้งการตรวจต้องอาศัยความชำนาญของผู้ตรวจด้วย VExUS เป็นส่วนหนึ่งของระบบไหลเวียน แต่ไม่ได้ใช้เป็นตัวแทนของดัชนีของ hemodynamic ทั้งหมด ยังคงต้องอาศัยการตรวจอย่างอื่นร่วมด้วย เดิมข้อมูล VExUS จะใช้ในผู้ป่วยหลังผ่าตัดหัวใจที่มีหัวใจวายเลือดคั่ง การใช้ในภาวะอื่นๆ ยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Koratala A, Romero-González G, Soliman-Aboumarie H, Kazory A. Unlocking the Potential of VExUS in Assessing Venous Congestion: The Art of Doing It Right. *Cardiorenal Med.* 2024;14(1):350-74. doi: 10.1159/000539469.
- O'Connor ME, Prowle JR. Fluid overload. *Crit Care Clin.* 2015;31(4):803-21. doi: 10.1016/j.ccc.2015.06.013.
- Malbrain ML, Van Regenmortel N, Saugel B, De Tavernier B, Van Gaal P-J, Joannes-Boyau O, et al. Principles of fluid management and stewardship in septic shock: it is time to consider the four D's and the four phases of fluid therapy. *Ann Intensive Care.* 2018;8(1):66. doi: 10.1186/s13613-018-0402-x.
- Beaubien-Souligny W, Rola P, Haycock K, Bouchard J, Lamarche Y, Spiegel R, et al. Quantifying systemic congestion with Point-Of-Care ultrasound: development of the venous excess ultrasound grading system. *Ultrasound J.* 2020;12(1):16. doi: 10.1186/s13089-020-00163-w.
- Argaiz ER. VExUS Nexus: bedside assessment of venous congestion. *Adv Chronic Kidney Dis.* 2021;28(3):252-61. doi: 10.1053/j.ackd.2021.03.004.
- Gupta S, Tomar DS. VEXUS—The Third Eye for the Intensivist?. *Indian J Crit Care Med.* 2020;24(9):746-7.
- Koratala A, Reisinger N. Venous excess Doppler ultrasound for the nephrologist: pearls and pitfalls. *Kidney Med.* 2022;4(7):100482. doi: 10.1016/j.xkme.2022.100482.
- Kenny J-ÉS, Prager R, Rola P, Haycock K, Gibbs SO, Johnston DH, et al. Simultaneous venous-arterial Doppler ultrasound during early fluid resuscitation to characterize a novel Doppler starling curve: a prospective observational pilot study. *J Intensive Care Med.* 2024;39(7):628-35. doi: 10.1177/08850666231224396.
- Muñoz F, Born P, Bruna M, Ulloa R, González C, Philp V, et al. Coexistence of a fluid responsive state and venous congestion signals in critically ill patients: a multicenter observational proof-of-concept study. *Crit Care.* 2024;28(1):52. doi: 10.1186/s13054-024-04834-1.
- Beaubien-Souligny W, Galarza L, Buchannan B, Lau VI, Adhikari NK, Deschamps J, et al. Prospective study of ultrasound markers of organ congestion in critically ill patients with acute kidney injury. *Kidney Int Rep.* 2023;9(3):694-702. doi: 10.1016/j.ekir.2023.12.018.
- Islas-Rodríguez J, Miranda-Aquino T, Romero-González G, Rio H-D, Camacho-Guerrero JR, Covarrubias-Villa S, et al. Effect on Kidney Function Recovery Guiding Decongestion with VExUS in Patients with Cardiorenal Syndrome 1: A Randomized Control Trial. *Cardiorenal Med.* 2024;14(1):1-11. doi: 10.1159/000535641.
- McCallum W, Tighiouart H, Testani JM, Griffin M, Konstam MA, Udelson JE, et al. Rates of in-hospital decongestion and association with mortality and cardiovascular outcomes among patients admitted for acute heart failure. *Am J Med.* 2022;135(9):e337-e52. doi: 10.1016/j.amjmed.2022.04.003.
- Dias NH, Gomes DR, de Oliveira ACT, Pellegrini JAS, Boniatti MM. Prognostic value of Doppler waveform analysis of common femoral vein in septic patients: a prospective cohort study. *J Ultrasound.* 2023;26(4):871-7. doi: 10.1007/s40477-023-00819-y.
- Bosisio NSB, Romero-González G, De Silvestri A, Husain-Syad F, Ferrari F. Doppler-based evaluation of intrarenal venous flow as a new tool to predict acute kidney injury: A systematic review and meta-analysis. *Nefrologia (Engl Ed).* 2023;43(Suppl 2):57-66. doi: 10.1016/j.nefro.2023.05.010.
- Gupta B, Ahluwalia P, Gupta A, Ranjan N, Kakkar K, Aneja P. Utility of VExUS score in the peri-operative care unit, intensive care unit, and emergency setting-A systematic review. *Indian J Anaesth.* 2023;67(Suppl 4):S218-S26. doi: 10.4103/ija.ija_475_23.
- Mahmud S, Koratala A. Assessment of venous congestion by Doppler ultrasound: a valuable bedside diagnostic tool for the new-age nephrologist. *CEN Case Rep.* 2021;10(1):153-5. doi: 10.1007/s13730-020-00514-5.
- Koratala A. A utilização de ultrassom point-of-care na clínica cardiorenal para melhorar o atendimento ao paciente. *J Bras Nefrol.* 2021;43(1):135-6. doi: 10.1590/2175-8239-JBN-2020-0234.
- Argaiz ER, Koratala A, Reisinger N. Comprehensive assessment of fluid status by point-of-care ultrasonography. *Kidney360.* 2021;2(8):1326-38. doi: 10.34067/KID.0006482020.
- Longino A, Martin K, Leyba K, Siegel G, Gill E, Douglas IS, et al. Correlation between the VExUS score and right atrial pressure: a pilot prospective observational study. *Crit Care.* 2023;27(1):205. doi: 10.1186/s13054-023-04471-0.
- Longino A, Martin K, Leyba K, Siegel G, Thai TN, Riscinti M, et al. Prospective evaluation of venous excess ultrasound for estimation of venous congestion. *Chest.* 2024;165(3):590-600. doi: 10.1016/j.chest.2023.09.029.

21. Soliman-Aboumarie H, Denault AY. How to assess systemic venous congestion with point of care ultrasound. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2023;24(2):177-80. doi: 10.1093/ehjci/jeac239.
22. Assavapokee T, Rola P, Assavapokee N, Koratala A. Decoding VExUS: a practical guide for excelling in point-of-care ultrasound assessment of venous congestion. *Ultrasound J*. 2024;16(1):48. doi: 10.1186/s13089-024-00396-z.
23. Seo Y, Iida N, Yamamoto M, Machino-Ohtsuka T, Ishizu T, Aonuma K. Estimation of central venous pressure using the ratio of short to long diameter from cross-sectional images of the inferior vena cava. *J Am Soc Echocardiogr*. 2017;30(5):461-7. doi: 10.1016/j.echo.2016.12.002.
24. Taniguchi T, Ohtani T, Nakatani S, Hayashi K, Yamaguchi O, Komuro I, et al. Impact of body size on inferior vena cava parameters for estimating right atrial pressure: a need for standardization?. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015;28(12):1420-7. doi: 10.1016/j.echo.2015.07.008.
25. Via G, Tavazzi G, Price S. Ten situations where inferior vena cava ultrasound may fail to accurately predict fluid responsiveness: a physiologically based point of view. *Intensive Care Med*. 2016;42(7):1164-7. doi: 10.1007/s00134-016-4357-9.
26. Kitamura H, Kobayashi C. Impairment of change in diameter of the hepatic portion of the inferior vena cava: a sonographic sign of liver fibrosis or cirrhosis. *J Ultrasound Med*. 2005;24(3):355-9; quiz 360-1. doi: 10.7863/jum.2005.24.3.355.
27. Koratala A, Sturgill D. Point-of-care venous Doppler ultrasound in the management of heart failure and hyponatremia. *Clin Nephrol*. 2021;96(1):63-6. doi: 10.5414/CN110388.
28. Rola P, Miralles-Aguilar F, Argaz E, Beaubien-Souligny W, Haycock K, Karimov T, et al. Clinical applications of the venous excess ultrasound (VExUS) score: conceptual review and case series. *Ultrasound J*. 2021;13(1):32. doi: 10.1186/s13089-021-00232-8.
29. Mullens W, Damman K, Harjola VP, Mebazaa A, Brunner-La Rocca HP, Martens P, et al. The use of diuretics in heart failure with congestion—a position statement from the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail*. 2019;21(2):137-55. doi: 10.1002/ehj.1369.
30. Schroedter WB, White JM, Garcia AR, Ellis ME. Presence of lower-extremity venous pulsatility is not always the result of cardiac dysfunction. *J Vasc. Ultrasound*. 2014;38(2):71-5. doi: 10.1177/154431671403800201.
31. Anastasiou V, Peteinidou E, Moysidis DV, Daios S, Gogos C, Liatsos AC, et al. Multiorgan Congestion Assessment by Venous Excess Ultrasound Score in Acute Heart Failure. *J Am Soc Echocardiogr*. 2024;37(10):923-33. doi: 10.1016/j.echo.2024.05.011.
32. Andrei S, Bahr P-A, Nguyen M, Bouhemad B, Guinot P-G. Prevalence of systemic venous congestion assessed by Venous Excess Ultrasound Grading System (VExUS) and association with acute kidney injury in a general ICU cohort: a prospective multicentric study. *Crit Care*. 2023;27(1):224. doi: 10.1186/s13054-023-04524-4.
33. Beaubien-Souligny W, Benkreira A, Robillard P, Bouabdallaoui N, Chassé M, Desjardins G, et al. Alterations in portal vein flow and intrarenal venous flow are associated with acute kidney injury after cardiac surgery: a prospective observational cohort study. *J Am Heart Assoc*. 2018;7(19):e009961. doi: 10.1161/JAHA.118.009961.
34. Alberto F, Salvatore G, Martin D, Loreto G, Francesco M, Morelli E, et al. Focus on renal blood flow in mechanically ventilated patients with SARS-CoV-2: a prospective pilot study. *J Clin Monit Comput*. 2022;36(1):161-7. doi: 10.1007/s10877-020-00633-5.
35. Spiegel R, Teeter W, Sullivan S, Tupchong K, Mohammed N, Sutherland M, et al. The use of venous Doppler to predict adverse kidney events in a general ICU cohort. *Crit Care*. 2020;24(1):615. doi: 10.1186/s13054-020-03330-6.
36. Wiersema R, Kaufmann T, van der Veen HN, de Haas RJ, Franssen CF, Koeze J, et al. Diagnostic accuracy of arterial and venous renal Doppler assessment for acute kidney injury in critically ill patients: a prospective study. *J Crit Care*. 2020;59:57-62. doi: 10.1016/j.jcrc.2020.05.012.
37. Li Z-T, Huang D-B, Zhao J-F, Li H, Fu S-Q, Wang W. Comparison of various surrogate markers for venous congestion in predicting acute kidney injury following cardiac surgery: A cohort study. *J Crit Care*. 2024;79:154441. doi: 10.1016/j.jcrc.2023.154441.
38. Longino AA, Martin KC, Leyba KR, McCormack L, Siegel G, Sharma VM, et al. Reliability and reproducibility of the venous excess ultrasound (VExUS) score, a multi-site prospective study: validating a novel ultrasound technique for comprehensive assessment of venous congestion. *Crit Care*. 2024;28(1):197. doi: 10.1186/s13054-024-04961-9.