

神經調控通氣輔助模式的成人生理效應與臨床應用： 文獻回顧

王雅萱^{1,2} 吳紀亭¹ 張誌恆³ 劉偉倫³ 曾淇璋^{1,4}

¹ 天主教輔仁大學附設醫院呼吸重症組

² 長庚大學臨床醫學研究所呼吸暨重症照護組

³ 天主教輔仁大學附設醫院重症醫學科

⁴ 國立陽明交通大學急重症醫學研究所

摘要

神經調控通氣輔助模式 (Neurally adjusted ventilatory assist, NAVA) 是一種新穎的機械通氣模式，藉由橫膈膜電位導管監測橫膈膜電位訊號，可用來評估橫膈膜活動度，配合比例式輔助通氣支持，依照病人需求調整每一口呼吸，增加舒適度、病人與呼吸器同步性增加、減少鎮靜藥物使用、增加呼吸器脫離率、降低呼吸器使用天數。本文將透過文獻回顧探討 NAVA 於成人領域的生理效應與臨床應用彙整與討論，同時提供 NAVA 完整的操作策略及調整觀念，供臨床醫療人員參考。

關鍵詞：神經調控通氣輔助模式 (Neurally adjusted ventilatory assist)
橫膈膜電位 (Diaphragmatic electrical activity)
橫膈膜電位導管 (Edi catheter)
肺 – 橫膈膜保護策略 (Lung and diaphragm protective strategy)

前言

神經調控通氣輔助模式 (neurally adjusted ventilatory assist, NAVA) 是由 Sinderby 等人在 1999 年首次提出新穎的機械通氣模式¹，是唯一使用橫膈膜電位 (diaphragmatic electrical activity, Edi) 來控制呼吸器的通氣模式，透過橫膈膜電位導管監測 Edi，根據 Edi 變化引動呼吸器並提供與橫膈膜電位變化量成正比的壓力支持，更加符合生理呼吸機制。

目前國內有許多 NAVA 應用於新生兒的相關研究，但在成人重症臨床應用仍相對有限，為此本文將介紹 NAVA 在成人重症近期的臨床應用之研究與使用策略，提供臨床醫療人員參考。

解剖學和生理學

正常呼吸的神經肌肉傳遞路徑：大腦中的呼吸中樞通過膈神經傳遞神經衝動造成橫膈肌收縮，使胸廓及肺部擴張產生壓力變化，氣體

進入肺部進行氣體交換²。膈神經衝動早於橫膈膜收縮，Lourenco 等人指出橫膈膜收縮幅度與膈神經傳遞神經衝動大小呈正相關，呼吸運動的深度和循環取決於呼吸中樞的輸出³。

Edi 訊號的生理學

NAVA 透過橫膈膜電位導管偵測橫膈膜電位變化，克服傳統通氣模式的侷限性，根據橫膈膜電位差來驅動呼吸器，並給予與其變化量成正比之比例式壓力支持，由病人主導每次通氣，從而提高同步性和舒適度²。呼吸器可監測橫膈膜電位尖峰值 (Edi peak) 及橫膈膜電位最低值 (Edi min) 數值，其中 Edi peak 代表橫膈肌收縮時最大電位；Edi min 代表橫膈肌放鬆時的電位。當兩者相減的變化量則代表呼吸驅力，NAVA 即利用 Edi 變化引動呼吸器並提供與 Edi 變化量成正比的比例式壓力支持¹，因此，壓力支持程度隨每次呼吸驅力大小而即時調整，由病人主導呼吸器的壓力變化，從而提高病人的呼吸同步性和舒適度。

NAVA 臨床應用原則

NAVA 通氣模式是一種有別於傳統相對新穎的通氣模式，目前臨床上未有明確的操作原理與臨床應用，為此，以下針對 NAVA 適應症、禁忌症、設定原則、脫離指標進行介紹。

一、適應症與禁忌症

NAVA 模式目前在臨床上尚未有明確適應症²，NAVA 的絕對禁忌症為放置心律調節器病人，心律調節器放電會影響橫膈膜電位導管偵測橫膈膜電位；神經肌肉疾病及消化道相關疾病則為相對禁忌症，使用時須謹慎觀察及評估：神經肌肉疾病包含嚴重的呼吸中樞抑制（如過度鎮靜）、嚴重神經傳遞障礙、高位脊神經受損、嚴重橫膈膜麻痺（如使用肌肉鬆弛劑導致橫膈膜無法收縮）等²，雖然無法使用 NAVA 模式，但臨床人員仍可監測 Edi 進行評估；消化道相關疾病包含食道閉鎖穿孔、食道胃底靜脈曲張、上消化道出血等鼻胃管放置禁忌症，需要臨床人

員仔細評估後放置橫膈膜電位導管²。

二、設定原則

NAVA 通氣模式須設定以下參數：NAVA 支持程度 (NAVA level)、橫膈膜電位靈敏度 (Edi trigger)、氧氣濃度 (FiO₂)、吐氣末正壓 (positive end expiratory pressure, PEEP)，其中 NAVA 支持程度為設定的重點。

NAVA 支持程度將橫膈膜電位變化差轉換成壓力支持，單位為 cmH₂O/μV，代表每一橫膈膜電位變化差提供多少壓力支持，使用於侵襲性通氣時，其壓力公式如下：

$$\text{尖峰氣道壓 (peak inspiratory pressure, PIP)} = \text{NAVA level} \times (\text{Edi peak} - \text{Edi min}) + \text{PEEP}$$

如何設定適當的 NAVA 支持程度目前仍未有定論，Patroniti 等人發現使用 NAVA 的病人，無論 NAVA 支持程度如何調整，病人的潮氣容積與呼吸次數無明顯變化，但吸氣壓力與 NAVA 支持程度變化上升；Edi peak 則隨 NAVA 支持程度變化下降⁴。

與傳統通氣模式不同，NAVA 支持程度的調整不能依據潮氣容積做為調整依據，應以 Edi 做為目標調整參數，關於 NAVA 支持程度的調整有以下幾種不同的設定方法，可供臨床參考（表一）：

Brander 逐漸調整 NAVA 支持程度並記錄潮氣容積與吸氣壓力的變化，起初潮氣容積與吸氣壓力隨著 NAVA 支持程度提高而上升（第一階段），接著進入高原期（第二階段），在這個期間無論 NAVA 支持程度如何調整，潮氣容積與吸氣壓力無明顯變化，在此產生轉折點，即為最適當的 NAVA 支持程度⁵。第一階段代表最初的支持壓力不足到支持壓力穩定滿足病人呼吸需求，所以潮氣容積與吸氣壓力逐漸增加；當支持壓力滿足病人呼吸需求，潮氣容積與吸氣壓力穩定不再增加，即為第二階段，若持續上調 NAVA 支持程度增加支持壓力，反而導致過度輔助，使 Edi 下降⁵。

Kacmarek 等人先將 NAVA 支持程度設定為

表一：NAVA 設定方法

方法	優點	缺點
逐漸調整 NAVA 支持程度，觀察潮氣容積、吸氣壓力與 Edi 的兩階段變化 ⁵	可反映呼吸肌肉輸出量的變化	取決於呼吸器輔助程度，及 Edi 和呼吸肌肉輸出量之間的曲線變化，呼吸驅動力較高之病人不一定能觀測到兩階段變化
將 NAVA 支持程度設定為零且 PEEP 設定為 5cmH ₂ O，測量平均最大 Edi peak，調整 NAVA 支持程度，直到 Edi 尖峰值降低至平均最大 Edi 尖峰值之 50% ⁶	每日重新評估 NAVA 支持程度和 Edi 可應用於其它輔助通氣模式	降載目標應以病人狀況調整，若調整不適當將導致病人需耗費更多呼吸作功
於 SBT 期間測量平均最大 Edi 尖峰值，調整 NAVA 支持程度，直到 Edi 尖峰值降低至平均最大 Edi 尖峰值之 60% ⁷	每日重新評估 NAVA 支持程度和 Edi 可應用於其它輔助通氣模式	降載目標應以病人狀況調整，若調整不適當將導致病人需耗費更多呼吸作功 SBT 訓練方式不同，平均最大 Edi 尖峰值可能有所不同

NAVA, neurally adjusted ventilatory assist; Edi, diaphragmatic electrical activity; PEEP, positive end expiratory pressure; SBT, spontaneous breathing trial

零且 PEEP 設定為 5cmH₂O，在沒有機械通氣支持下，測量三至五口呼吸的平均最大 Edi peak，由臨床團隊依該平均最大 Edi peak 逐漸上調 NAVA 支持程度，直到 Edi peak 降低至平均最大 Edi peak 50%，且平均潮氣容積量介於 4 至 8ml/kg 理想體重、呼吸頻率在每分鐘 15 至 40 次之間，該設定即為適當 NAVA 支持程度⁶。

Rozé 則使用自主呼吸試驗 (spontaneous breathing trial, SBT) 期間紀錄到最高的 Edi 尖峰值 60% 作為目標 Edi 尖峰值，藉由調整 NAVA 支持程度達到目標 Edi 尖峰值，並且每日重新評估尋找目標 Edi 尖峰值，直到拔管⁷。

三、何時停止 NAVA

目前沒有文獻明確指出何時該停止使用 NAVA，Shah 等人建議如果病人在使用 NAVA 期間，大部分時間都處於備用通氣狀態，排除 NAVA 導管位置放置不當後仍無法改善，可能是給予過多鎮靜藥物或是病人目前病況不適合使用 NAVA，應考慮暫停使用 NAVA²。

四、脫離指標

當 NAVA 支持程度下調到 1 cmH₂O/ μ V

時，且病人臨床表現穩定，則可以考慮拔管脫離呼吸器²。除了傳統呼吸脫離指標外，Liu 等人提出將神經肌肉電位轉化計算為潮氣容量與吸氣壓力比率的概念⁸，即為：神經機械效率 (neuromechanical efficiency, NME) 及神經通氣效率 (neuroventilatory efficiency, NVE)。

NME 為 $P_{aw}/Edi(\text{cmH}_2\text{O}/\mu\text{V})$ ，代表每一口吸氣橫膈膜電位產生的吸氣壓力，以下提供幾種測量方式：Jansen 等人採用 ΔP_{aw} 除以 ΔEdi 計算 NME，按壓吐氣保持 (Expiratory hold) 按鈕測量吐氣末閉塞壓力值，減去 PEEP，即得到 ΔP_{aw} ，該口呼吸 Edi 最大值減去 Edi 最小值，即為 ΔEdi ⁹；Bellani 等人按壓 Expiratory hold 按鈕測量吐氣末閉塞壓力值 (P_{aw})，除以該口呼吸 Edi 尖峰值，即為 NME¹⁰；Liu 採用按壓吸氣保持 (inspiratory hold) 按鈕測量的吸氣末閉塞壓力值，減去 PEEP，再除以 Edi 尖峰值，即為 NME⁸。

NVE 為 $V_t/Edi(\text{ml}/\mu\text{V})$ ，代表每一吸氣橫膈膜電位產生的潮氣容積，用於估計呼吸肌肉降載的比例，Liu L 採用吸氣期間潮氣容積除以 Edi 尖峰值計算⁸。

Liu L 等人發現拔管失敗的重症病人的橫膈

膜電位增加，使吸氣壓力和潮氣量的產生能力降低，當 $NVE < 24 \text{ ml}/\mu\text{V}$ ， $NME < 0.8 \text{ cmH}_2\text{O}/\mu\text{V}$ 時，代表病人有潛在拔管失敗風險⁸。NVE 對預測拔管結果具有良好的預測能力，但每個病人承受閾值不相同，其數值可能受到阻力增加（如上呼吸道阻塞）、肺內或肺外順應性降低（如肺水腫、肥胖）、橫膈肌功能障礙等影響。當橫膈肌無法產生足夠潮氣容積時，會增加橫膈肌的神經輸出，使 Edi 增加，最終導致自主呼吸測試失敗¹¹。

NAVA 通氣模式與近期相關研究

近年來與 NAVA 通氣模式相關臨床研究逐年增加，Pinto 系統性回顧相關文獻並統合分析，納入 5 項隨機對照試驗，收入 643 名病人，比較加護病房使用侵襲性呼吸器的病人，比較 NAVA 及其他通氣模式的臨床結果¹²。詳細結果如下表（表二）所示，與其他模式相比，使用 NAVA 模式病人 28 天內無使用呼吸器天數較高、呼吸器脫離失敗率降低、住院死亡率下降，但加護病房死亡率、28 天內死亡率、90 天內死亡率、住院天數、接受氣管切開術之病人數兩組無差別¹²。

與 NAVA 有關的系統性回顧與統合分析文

獻較少，主要是因為隨機對照試驗收入個案較少，可能與該模式臨床適用性較低有關，導致臨床數據限制，因此我們將 NAVA 相關研究結果分別討論。

一、減少病人與呼吸器不同步，增加病人與呼吸器同步性

在重症患者中，病人與呼吸器不同步會導致病人呼吸困難、增加鎮靜安眠藥物需求、延長呼吸器使用天數和 ICU 天數，並增加呼吸肌損傷和氣管切開術的可能性¹³。Demoule 等人以因急性呼吸衰竭插管病人使用 NAVA 或壓力支持模式 (pressure support ventilation, PSV) 作為呼吸器脫離模式，NAVA 在長時間作為呼吸器脫離模式是安全可行的，NAVA 組在前 48 小時不調回輔助控制通氣的比例與 PSV 組相當；在 NAVA 組中病人與呼吸器不同步率顯著低於 PSV 組，其中無效引動和延遲循環在 PSV 組較常見，而雙重引動較常見於 NAVA 組¹⁴。Colombo 等人比較插管病人在不同 NAVA 支持程度和 PS 支持程度的生理變化，在兩種模式下動脈血液氣體分析均無差異，在不同 NAVA 支持程度下沒有發生病人與呼吸器不同步情形；在不同 PS 支持程度下有 5 名 (36%) 病人發生病

表二：比較 NAVA 及其他通氣模式的臨床結果¹²

結果	病人數 (NAVA 組 / 控制組)	平均估計值 (95% CI)	異質性 (I ²)	p 值
28 天內無使用呼吸器天數	315/328	MD 3.42 (1.21 to 5.2)	0%	0.59
呼吸器脫離失敗	178/179	OR 0.51 (0.29 to 0.88)	0%	0.49
加護病房死亡率	315/328	OR 0.58 (0.33 to 1.03)	41%	0.15
住院死亡率	239/243	OR 0.58 (0.35 to 0.96)	31%	0.23
28 天內死亡率	301/309	OR 0.93 (0.63 to 1.36)	0%	0.52
90 天內死亡率	206/210	OR 0.66 (0.43 to 1.03)	0%	0.42
住院天數	162/175	MD 1.57 (-1.96 to 5.1)	0%	0.42
加護病房天數	162/175	MD -3.81 (-8.17 to 0.55)	46%	0.14
接受氣管切開術之病人	239/243	OR 0.84 (0.55 to 1.28)	0%	0.54

NAVA, neurally adjusted ventilatory assist; CI, confidence interval; MD, mean difference; OR, odds ratio

人與呼吸器不同步情形¹⁵。

NAVA 採用 Edi 用於引動呼吸器，而不是採用流量或壓力引動，減少因外界干擾（如管路積水、痰液、管路阻力等等）所發生的病人與呼吸器不同步。尤其阻塞性病人因氣體滯留導致內生性 PEEP 發生，使用流量或壓力引動將導致較長的引動延遲、呼吸功增加、無效引動發生率增加，但 NAVA 引動過程獨立於流量或壓力，能有效減少病人與呼吸器不同步發生率，明顯改善此類病人與呼吸器的同步性。

二、監測橫膈膜電位，幫助呼吸器脫離，預測脫離結果

Liu 研究 52 位插管重症病人，比較拔管成功與拔管失敗病人各項數值變化，結果發現拔管失敗的病人 Edi 活動度較高，且將神經肌肉活動轉化為吸氣壓和潮氣量的效率較低，可能與橫膈膜乏力有關⁸。

Barwing 研究 18 位呼吸器脫離困難病人，比較 T 型管自主呼吸測試成功與失敗病人的傳統脫離參數與 Edi 變化，結果發現兩組 Edi 變化有顯著差異，自主呼吸測試失敗的病人 Edi 早期增加幅度比測試成功病人更明顯，顯示 Edi 變化比傳統脫離參數更早預測結果，當橫膈膜衰竭時 Edi 可能會增加¹⁶。

Trapp 研究呼吸器脫離困難的腦損傷氣切病人進行 T 型管自主呼吸測試期間 Edi 變化，結果發現因呼吸肌乏力而導致測試失敗病人與測試成功的病人相比，Edi 在測試早期開始增加，長時間連續性監測橫膈膜電位，可預測呼吸器脫離結果¹⁷。

三、減少呼吸器使用天數，增加脫離成功率

Demoule 等人以急性呼吸衰竭插管病人為實驗對象，實驗出 NAVA 在長時間作為呼吸器脫離模式是安全可行，同時使用 NAVA 的病人拔管後使用非侵襲性正壓呼吸器的病人較少且使用天數較短，但比較兩種通氣模式第 7、14、28 天內無使用呼吸器天數 (Ventilator free day, VFD)，NAVA 組僅第 7 天 VFD 較低，第 14、28 天 VFD 無顯著差異¹⁴。Liu L 招募 99 位困難

脫離呼吸器病人隨機使用 NAVA 或壓力支持模式，他們觀察到 NAVA 減少呼吸器使用天數並增加 VFD，但對加護病房或醫院死亡率沒有影響¹⁸。Kacmarek 招募 306 名因急性呼吸衰竭使用侵襲性呼吸器病人進行臨床試驗，隨機分派使用 NAVA 或傳統通氣模式，與傳統通氣相比，使用 NAVA 的病人使用呼吸器天數顯著降低、28 天內 VFD 顯著增加、拔管失敗重新插管比率降低，但對死亡率沒有影響⁶。

NAVA 不僅改善病人與呼吸器的相互作用，同時減少拔管後非侵襲性正壓呼吸器使用，有效減少呼吸器使用天數，並增加脫離成功率。

四、維持肺保護通氣

Cammarota 比較 NAVA 和 PSV 模式下，不同支持程度對呼吸衰竭病人驅動壓力的影響，發現在高支持程度下，NAVA 透過保持較低的驅動壓力 (driving pressure)，避免肺部過度膨脹、維持較低的彈性機械能 (elastic mechanical power)，提供更有效的肺保護性通氣¹⁹。

NAVA 模式下仍可維持肺部保護通氣，主要有兩個生理機制：(1) 肺部過度膨脹期間中樞呼吸輸出量的下調；(2) 隨著肺容量的增加，壓力產生能力受損，導致橫膈肌作用力減少¹⁹。與 PSV 相比，NAVA 每次呼吸施加到呼吸系統的彈性機械能較低，有利於減少呼吸器導致肺損傷發生率，達成肺保護通氣。

五、維持橫膈膜活性，達成肺 – 橫膈膜保護策略

當插管使用呼吸器病人無自發性呼吸，完全受控於機械通氣時，容易導致橫膈膜萎縮、呼吸肌無力因此建議病人在輔助通氣中增加自發性呼吸。然而自發性呼吸可能因過大的呼吸作功及潮氣容積，增加局部或整體的肺壓力，造成病人自發性肺損傷 (patient-self inflicted lung injury, P-SILI)²⁰。為達成肺 – 橫膈膜保護策略，如何維持自發性呼吸、評估吸氣作功並減少 P-SILI 發生，維持橫膈膜活性是重要的事。

Colombo 等人比較插管病人對不同 NAVA 支持程度和 PS 支持程度的呼吸次數、潮氣容

積及橫膈膜電位的變化，除了發現 NAVA 可以減少病人與呼吸器不同步外，在較低的通氣支持下，兩種通氣模式的呼吸次數、潮氣容積及橫膈膜電位無顯著差異；但在較高的通氣支持下，PSV 模式下潮氣容積增加且呼吸次數及橫膈膜電位降低，NAVA 避免過度輔助的風險¹⁵。Doorduyn 等人以輕中度急性呼吸窘迫症候群 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) 插管病人為實驗對象，比較 NAVA、PSV、PCV 三種通氣模式對 ARDS 病人的經肺壓、潮氣容積、呼吸變異性和病人與呼吸器不同步的影響，結果發現 NAVA 可維持較高的橫膈膜電位，潮氣容積仍可維持 6 至 8ml/kg，經肺壓與其他兩種通氣模式相近；並發現增加 NAVA 支持程度可以減少呼吸作功，使 Edi 下降進而降低經肺壓，這表明人體內在的肺保護反饋機制會限制過高的潮氣容積和經肺壓，可能與吸氣抑制反射有關²¹。Di Mussi 針對 25 位使用侵襲性呼吸器大於 72 小時之病人進行研究，在長時間使用機械通氣後，使用 NAVA 可提高橫膈膜活動度，而 PSV 則無²²。在高水平的輔助下，NAVA 與 PSV 相比，透過保持較低的驅動壓力及彈性機械能，並避免肺部過度膨脹，提供更有效的肺保護性通氣。

增加通氣支持會增加潮氣容積及降低呼吸頻率、神經驅動、呼吸作功，並可能增加病人與呼吸器不同步性²³，如何避免呼吸器設定不當而導致肺損傷，是呼吸器調整重點。NAVA 不僅是個通氣模式，還可以偵測橫膈膜電位變化，有助於臨床團隊可藉由橫膈膜電位調整呼吸器設定以維持橫膈膜活性，減少呼吸器支持不足或支持過度的情況發生¹⁸。

六、監測鎮靜深度

正常情況下，給予鎮靜藥物能改善病人對機械通氣的耐受性、減少病人的不適和疼痛，但過高的鎮靜深度可能會導致最大吸氣流量降低並減少肌肉作功，導致橫膈膜萎縮。

一項觀察性研究報告指出，鎮靜深度越深，發生無效觸發 (ineffective triggering) 比率增加²⁴。Liu 等人研究異丙酚 (Propofol) 對術後

使用呼吸器病人進行病人與同步性實驗，發現 Propofol 會降低 Edi、抑制呼吸驅力且降低病人與呼吸器的同步性，其程度隨鎮靜深度而增加，但對潮氣容積和氣體交換沒有影響²⁵。Costa 等人則比較瑞芬坦尼 (Remifentanyl) 使用於自不同呼吸器模式之下對呼吸驅力的影響，結果顯示，無論在何種呼吸器模式下，增加 Remifentanyl 劑量，不會改變 Edi，不影響呼吸驅力²⁶。

Sklar 等人觀察重症病人放置氣管內管後 Edi 變化，發現低水平的橫膈膜電位 ($Edi < 7\mu V$) 在早期機械通氣過程中很常見，約 50% 的病人無法在一天內恢復橫膈膜活動，且鎮靜劑是造成這種延遲的主要因素，與疾病嚴重程度無關²⁷。作者發現 Edi 與橫膈膜厚度變化 (diaphragm thickening fraction, TFdi) 具有相關性，TFdi $< 15\%$ 顯示病人將有橫膈膜萎縮無力風險，將 TFdi 15% 對應於 Edi $7\mu V$ 定義為病人恢復呼吸功能^{28,29}，且插管後持續使用鎮靜藥物 (Propofol, Midazolam, Fentanyl)，使 Edi 恢復時間顯著延長。

病人與呼吸器不同步可能與鎮靜藥物及鴉片類藥物之間複雜的相互作用所造成的³⁰，且容易發生反向觸發 (reverse triggering)，可能導致呼吸疊加，並與肺部和橫膈膜損傷有關³¹。為了維持適度鎮靜深度並保持病人自發性呼吸，透過 Edi 評估病人呼吸驅力狀況，監測鎮靜程度，調整鎮靜藥物劑量，減少橫膈肌無力發生。

結 論

NAVA 的禁忌症為放置心律調節器、神經肌肉疾病及消化道出血相關疾病病人，使用時須謹慎觀察及評估後放置橫膈膜電位導管。NAVA 具有兩個重要特徵：與橫膈膜活動同步傳遞的比例式輔助壓力，以及由病人呼吸中樞輸出控制的潮氣容積，不僅是一種通氣模式，同時能監測橫膈膜活動度，臨床研究發現 NAVA 不僅降低病人與呼吸器不同步發生率、減少鎮靜藥物需求、減少呼吸器使用天數和加護病房住院天數，對 P-SILI 的預防也有顯著效果。

橫膈膜電位導管於本國現況僅將支氣管肺發育不全，且無法拔管之未滿兩歲嬰幼兒納

入健保給付範圍，成人導管仍尚未納入健保給付，該導管耗材費用相對昂貴且原廠建議使用天數為 5 天，導致國內成人臨床應用相對鮮少。NAVA 模式目前在成人臨床上尚未有明確適應症，參考國外諸多文獻，NAVA 雖可多方應用於 ARDS、慢性阻塞性肺病及呼吸器依賴等病人，但筆者基於實務經驗認為，使用呼吸器病人因任何原因發生 PVA 情形，NAVA 能有效改善病人與呼吸器不同步和減少鎮靜藥物使用，不失為發生 PVA 時優先應用的好選擇。目前國內對於 NAVA 在成人臨床研究較少，需要更具規模且控制良好的臨床研究證據，讓 NAVA 通氣模式的理論基礎發展的臨床實務應用相輔相成。

參考文獻

- Sinderby C, Navalesi P, Beck J, et al. Neural control of mechanical ventilation in respiratory failure. *Nat Med* 1999;5(12):1433-6.
- Shah SD, Anjum F. Neurally Adjusted Ventilatory Assist (NAVA). 2023 May 22. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024
- Lourenço RV, Cherniack NS, Malm JR, Fishman AP. Nervous output from the respiratory center during obstructed breathing. *J Appl Physiol* 1966;21(2):527-33.
- Patroniti N, Bellani G, Saccavino E, et al. Respiratory pattern during neurally adjusted ventilatory assist in acute respiratory failure patients. *Intensive Care Med* 2012;38(2):230-9.
- Brander L, Leong-Poi H, Beck J, Brunet F, Hutchison SJ, Slutsky AS, Sinderby C. Titration and implementation of neurally adjusted ventilatory assist in critically ill patients. *Chest* 2009;135(3):695-703.
- Kacmarek RM, Villar J, Parrilla D, et al. Neurally adjusted ventilatory assist in acute respiratory failure: a randomized controlled trial. *Intensive Care Med* 2020;46(12):2327-37.
- Rozé H, Lafrikh A, Perrier V, et al. Daily titration of neurally adjusted ventilatory assist using the diaphragm electrical activity. *Intensive Care Med* 2011;37(7):1087-94.
- Liu L, Liu H, Yang Y, et al. Neuroventilatory efficiency and extubation readiness in critically ill patients. *Crit Care* 2012;16(4):R143.
- Jansen D, Jonkman AH, Roesthuis L, et al. Estimation of the diaphragm neuromuscular efficiency index in mechanically ventilated critically ill patients. *Crit Care* 2018;22(1):238.
- Bellani G, Mauri T, Coppadoro A, et al. Estimation of patient's inspiratory effort from the electrical activity of the diaphragm. *Crit Care Med* 2013;41(6):1483-91.
- Moorhead KT, Piquilloud L, Lambermont B, et al. NAVA enhances tidal volume and diaphragmatic electro-myographic activity matching: a Range90 analysis of supply and demand. *J Clin Monit Comput* 2013;27(1):61-70.
- Pinto CB, Leite D, Brandão M, Nedel W. Clinical outcomes in patients undergoing invasive mechanical ventilation using NAVA and other ventilation modes - A systematic review and meta-analysis. *J Crit Care* 2023;76:154287.
- Blanch L, Villagra A, Sales B, et al. Asynchronies during mechanical ventilation are associated with mortality. *Intensive Care Med* 2015;41(4):633-41.
- Demoule A, Clavel M, Rolland-Debord C, et al. Neurally adjusted ventilatory assist as an alternative to pressure support ventilation in adults: a French multicentre randomized trial. *Intensive Care Med* 2016;42(11):1723-32.
- Colombo D, Cammarota G, Bergamaschi V, De Lucia M, Corte FD, Navalesi P. Physiologic response to varying levels of pressure support and neurally adjusted ventilatory assist in patients with acute respiratory failure. *Intensive Care Med* 2008;34(11):2010-8.
- Barwing J, Pedroni C, Olgemöller U, Quintel M, Moerer O. Electrical activity of the diaphragm (EAdi) as a monitoring parameter in difficult weaning from respirator: a pilot study. *Crit Care* 2013;17(4):R182.
- Trapp O, Fiedler M, Hartwich M, Schorl M, Kalenka A. Monitoring of Electrical Activity of the Diaphragm Shows Failure of T-Piece Trial Earlier than Protocol-Based Parameters in Prolonged Weaning in Non-communicative Neurological Patients. *Neurocrit Care* 2017;27(1):35-43.
- Liu L, Xu X, Sun Q, Yu Y, Xia F, Xie J, Yang Y, Heunks L, Qiu H. Neurally Adjusted Ventilatory Assist versus Pressure Support Ventilation in Difficult Weaning: A Randomized Trial. *Anesthesiology* 2020;132(6):1482-93.
- Cammarota G, Verdina F, De Vita N, et al. Effects of Varying Levels of Inspiratory Assistance with Pressure Support Ventilation and Neurally Adjusted Ventilatory Assist on Driving Pressure in Patients Recovering from Hypoxemic Respiratory Failure. *J Clin Monit Comput* 2022;36(2):419-27.
- Carteaux G, Parfait M, Combet M, Haudebourg AF, Tuffet S, Mekontso Dessap A. Patient-Self Inflicted Lung Injury: A Practical Review. *J Clin Med* 2021;10(12):2738.
- Doorduyn J, Sinderby CA, Beck J, van der Hoeven JG, Heunks LM. Assisted Ventilation in Patients with Acute Respiratory Distress Syndrome: Lung-distending Pressure and Patient-Ventilator Interaction. *Anesthesiology* 2015;123(1):181-90.
- Di Mussi R, Spadaro S, Mirabella L, et al. Impact of prolonged assisted ventilation on diaphragmatic efficiency: NAVA versus PSV. *Crit Care* 2016;20:1.
- Giannouli E, Webster K, Roberts D, Younes M. Response of ventilator-dependent patients to different levels of pressure support and proportional assist. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159(6):1716-25.
- de Wit M, Pedram S, Best AM, Epstein SK. Observational study of patient-ventilator asynchrony and relationship to sedation level. *J Crit Care* 2009;24(1):74-80.
- Liu L, Wu AP, Yang Y, et al. Effects of Propofol on Respiratory Drive and Patient-ventilator Synchrony during Pressure Support Ventilation in Postoperative Patients: A Prospective Study. *Chin Med J (Engl)* 2017;130(10):1155-60.
- Costa R, Navalesi P, Cammarota G, et al. Remifentanyl effects on respiratory drive and timing during pressure support

- ventilation and neurally adjusted ventilatory assist. *Respir Physiol Neurobiol* 2017;244:10-6.
27. Sklar MC, Madotto F, Jonkman A, et al. Duration of diaphragmatic inactivity after endotracheal intubation of critically ill patients. *Crit Care* 2021;25(1):26.
28. Goligher EC, Dres M, Fan E, et al. Mechanical Ventilation-induced Diaphragm Atrophy Strongly Impacts Clinical Outcomes. *Am J Respir Crit Care Med* 2018;197(2):204-13.
29. Goligher EC, Fan E, Herridge MS, et al. Evolution of Diaphragm Thickness during Mechanical Ventilation. Impact of Inspiratory Effort. *Am J Respir Crit Care Med* 2015;192(9):1080-8.
30. de Haro C, Magrans R, López-Aguilar J, et al. Effects of sedatives and opioids on trigger and cycling asynchronies throughout mechanical ventilation: an observational study in a large dataset from critically ill patients. *Crit Care* 2019;23(1):245.
31. Akoumianaki E, Lyazidi A, Rey N, et al. Mechanical ventilation-induced reverse-triggered breaths: a frequently unrecognized form of neuromechanical coupling. *Chest* 2013;143(4):927-38.

Neurally-adjusted Ventilatory Assist in Adults in Physical Effect and Clinic Strategies: Literature Review

Ya-Hsuan Wang^{1,2}, Chi-Ting Wu¹, Herman Chih-Heng Chang³,
Wei-Lun Liu³, Chi-Wei Tseng^{1,4}

¹*Department of Respiratory and Critical Care Medicine,
Fu Jen Catholic University Hospital,
Fu Jen Catholic University, New Taipei City, Taiwan.*

²*Graduate Program of Respiratory Therapy,
Graduate Institute of Clinical Medical Sciences,
Chang Gung University, Taoyuan, Taiwan.*

³*Department of Emergency and Critical Care Medicine,
Fu Jen Catholic University Hospital,
Fu Jen Catholic University, New Taipei City, Taiwan.*

⁴*Institute of Emergency and Critical Care Medicine,
National Yang Ming Chiao Tung University, Taipei, Taiwan.*

Neurally-adjusted ventilatory assist (NAVA) is a relatively newer mode of ventilation in which a ventilator utilizes the electrical activity of the diaphragm (Edi) to generate appropriate breaths and assist ventilated patients. NAVA decreases the discomfort and agitation in patients while improving synchrony. Improved synchronization not only prevent further lung injury but also decrease use of sedation. In this article, our aim is to discuss the main pathophysiological aspects of NAVA mode and intend to consider the numbers of research the implementation of NAVA in clinic application.