

**Dr. L.M.A. Heunks**Afdeling intensive care, longarts-intensivist  
UMC St. Radboud, Nijmegen**LEERDOELEN**

Na het lezen van dit artikel hebt u inzicht in de principes van neurally adjusted ventilator assist (NAVA). U kent de verschillende vormen van patiënt-ventilator-asynchronie en begrijpt hoe NAVA dit probleem vermindert. U kent de contra-indicaties voor NAVA en hebt inzicht in de mogelijkheden die de NAVA-katheter biedt voor monitoring van de ademhalingspierfunctie bij beademde patiënten.

**TREFWOORDEN**

Beademing, NAVA, pressure support ventilation, patiënt-ventilator asynchronie, diafragma.

**SAMENVATTING**

Een belangrijk doel van beademing is verminderen van de ademarheid. Bij ondersteunende beademingsvormen is het essentieel dat ondersteuning door de beademingsmachine synchroon verloopt met de neurale inspiratie van de patiënt. Pressure-supportventilatie (PSV) is de meest gebruikte modus voor ondersteunende beademing, maar tijdens PSV komt zeer vaak asynchronie tussen patiënt en ventilator voor. Neurally adjusted ventilatory assist (NAVA) is een nieuwe modus voor ondersteunende beademing; daarbij wordt elektrische activiteit van het diafragma gebruikt voor de synchronisatie van de ademhaling van de patiënt met de ademcyclus van de machine. Dit leidt tot bewezen verbetering van de synchronie tussen patiënt en beademingsmachine. De benodigde hardware en software bieden een mogelijkheid voor continue monitoring van de ademspieren bij IC-patiënten. Of monitoring leidt tot interventies die risico op beademing-geïnduceerde ademspierdisfunctie kunnen verminderen moet nog worden onderzocht.

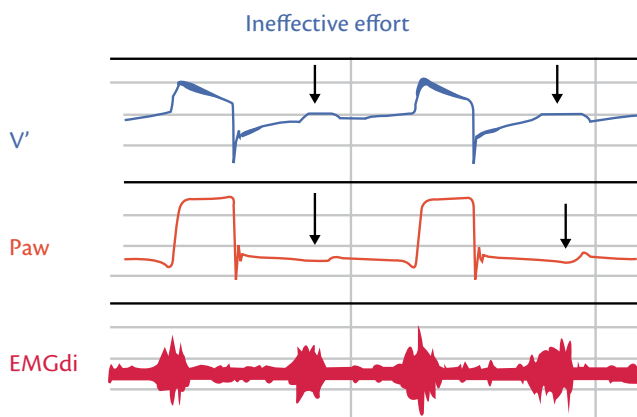
# NEURALLY ADJUSTED VENTILATORY ASSIST

*Een update in praktische toepassing en research*

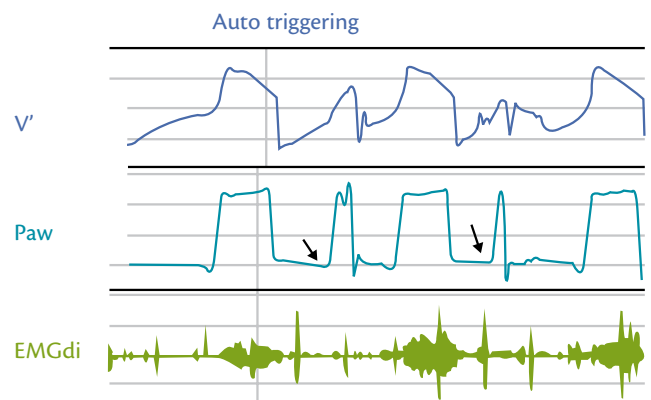
**INLEIDING**

Beademing is een levensreddende medische interventie voor ernstig zieke patiënten en wordt ook toegepast ter overbrugging tijdens een operatieve ingreep. Niemand zal de waarde van beademing in de moderne geneeskunde betwisten, maar beademing heeft ook negatieve effecten voor de patiënt. Een bekend voorbeeld is door beademing geïnduceerde longschade door rek op alveoli. Gecontroleerde beademingsvormen, zoals 'pressure controlled ventilation' (PCV) en 'volume controlled ventilation' (VCV) leiden tot inactiviteit van inspiratiespieren, waardoor er risico is op spierzwakte,<sup>1</sup> die al na enkele dagen van gecontroleerde beademing kan ontstaan.

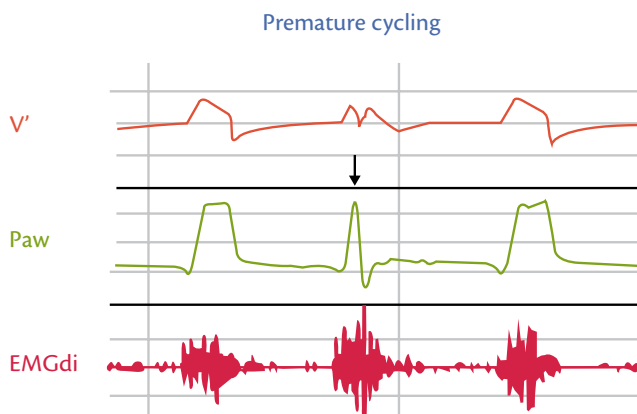
Ademspierzwakte is geassocieerd met moeilijke ontwenning. Dit is een belangrijk argument om de duur van gecontroleerde beademing te beperken door gebruik te maken van ondersteunende beademingsvormen. Zelfs bij patiënten met ARDS kan een ondersteunende beademingsvorm overwogen worden.<sup>2</sup> 'Pressure support ventilation' (PSV) is de meeste gebruikte modus voor ondersteunende beademing. Bij gebruik van een ondersteunende beademingsvorm is het van belang dat de beademingsmachine informatie van de patiënt krijgt, om synchroon te kunnen werken met de in- en expiratie van de patiënt. Bij PSV detecteert de beademingsmachine veranderingen in ademcyclus door detectie van verande-



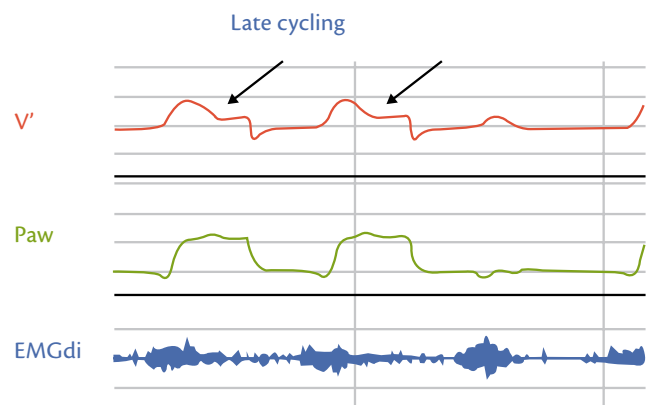
A Bij 'ineffectieve effort' door de patiënt is er een inspiratie poging (zie EMG-activiteit van het diafragma), maar volgt geen ondersteuning door de beademingsmachine. Ineffectieve efforts komen voor bij ademspierzwakte of bij intrinsic PEEP, bijvoorbeeld ten gevolge van COPD.



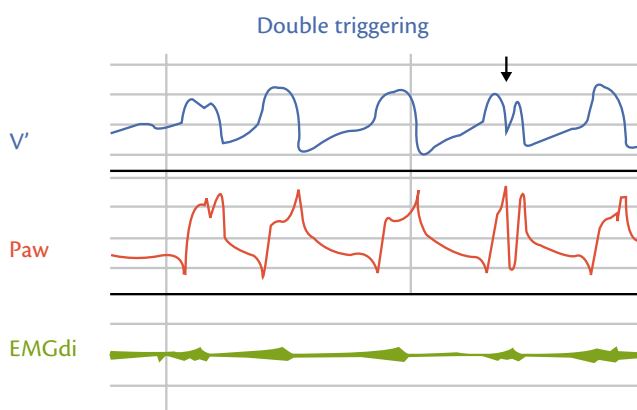
B Bij 'autotriggering' is er juist geen inspiratiepoging van de patiënt, maar wel activatie van de machine. Autotriggering kan het gevolg zijn van water in beademingslangen of cardiale activiteit die resulteert in drukveranderingen in de thorax die de beademingsmachine kunnen activeren.



C 'Premature cycling' is vroegtijdige beëindiging van de inspiratie van de machine ten opzichte van neurale inspiratie. In de figuur is te zien dat de EMG-activiteit langer duurt dan inspiratie van de machine.



D Bij 'late cycling' duurt de inspiratie van de machine langer dan de neurale inspiratie, wat afgeleid kan worden uit de EMG-activiteit van het diafragma.



E Dubbele triggering (of zelfs tripletriggering) is een vorm van asynchronie waarbij de machine tweemaal geactiveerd wordt tijdens een neurale inspiratie.

ringen in flow of druk in het beademingscircuit. Diverse studies hebben aangetoond dat dit weinig betrouwbare parameters zijn voor detectie van de respiratoire cyclus van de patiënt, maar met als gevolg patiëntventilator-asynchronie (PVA). In de praktijk worden vijf vormen van PVA onderscheiden (figuur 1). Toename van PVA tijdens PSV wordt o.a. gezien bij inadequate instelling van de beademingsmachine (hoog niveau pressure-support, hoge triggersensitiviteit, inadequate cycle off tijd) en bij bepaalde patiëntkarakteristieken (obstructieve luchtwegaandoeningen, ademspierzwakte, sedatie).

Een tweede beperking van PSV is dat de ondersteuning van de inspiratie onafhankelijk is van de ademarbeid van de patiënt. Dit leidt tot een niet-fysiologisch adem-patroon.

Samengevat zijn de belangrijkste beperkingen van PSV risico op asynchroniciteit en de afwezigheid van proportionaliteit in de ondersteuning. Om deze beperkingen van PSV op te heffen zijn nieuwe beademingsvormen

Figuur 1 Vormen van patiënt-ventilator-asynchronie.

ontwikkeld, zoals neurally adjusted ventilatory assist (NAVA). In dit artikel beschrijven we het principe van NAVA en de mogelijke relevantie in de klinische praktijk.

## FYSIOLOGIE VAN DE INSPIRATIE

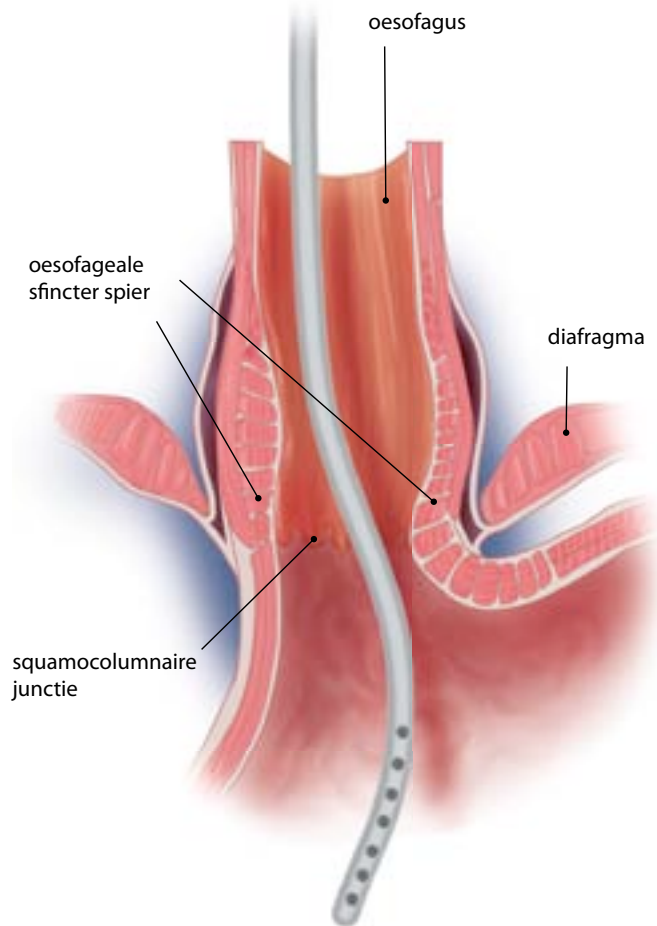
De ademhaling wordt bij de mens zeer nauwkeurig gereguleerd. De belangrijkste stimulans voor toename van activiteit van inspiratoire neuronen in de hersenstam is een toename van arteriële CO<sub>2</sub>-spanning. Dit leidt tot depolarisatie van motoneuronen van de nervus phrenicus en activatie van acetylcholinereceptoren op de motorische eindplaat van het diafragma via synaptische transmissie. Er vindt depolarisatie van de plasmamembraan van het diafragma plaats en de intracellulaire calciumconcentratie wordt hoger, met als gevolg activatie van contractiele eiwitten. Het diafragma wordt hierdoor naar caudaal verplaatst, waardoor de pleuradruk en vervolgens de alveolaire druk daalt, zodat inspiratoire flow gegenereerd wordt.

## KENMERKEN VAN NAVA

Een uniek kenmerk van NAVA is dat elektrische activiteit van het diafragma (Edi) gebruikt wordt om de timing en de mate van ondersteuning door de beademingsmachine te bepalen. De Edi is een sommatie van actiepotentialen van diafragmavezels die ontstaat tijdens inspiratie. De Edi wordt gemeten door middel van een neus-maagsonde (Edi-katheter) met elektroden die met de beademingsmachine verbonden zijn. De elektroden moeten ter hoogte van het diafragma gepositioneerd worden (figuur 2). De Edi-katheter functioneert overigens ook als neus-maagsonde voor toediening van voeding of medicatie.

## Triggering

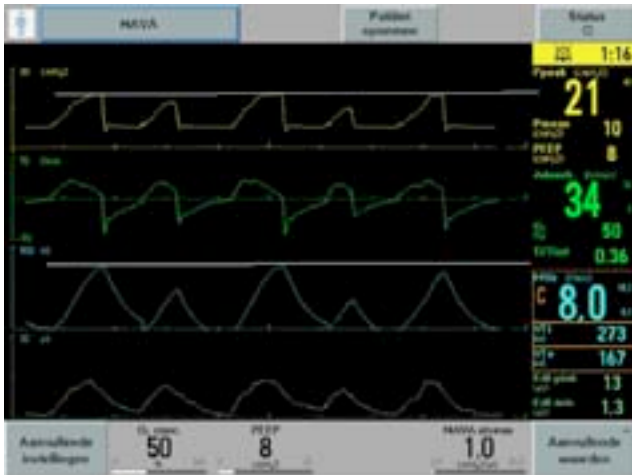
Bij NAVA start ondersteuning door de beademingsmachine als Edi met een vooraf ingestelde waarde (bv. 0,5 µV) boven de rustwaarde stijgt. Zoals gezegd zal elektrische activiteit van het diafragma altijd voorafgaan aan inspiratoire flow. Een vorm van PVA gerelateerd aan triggering is 'wasted effort', waarbij de inspiratiepoging van de patiënt niet gevolgd wordt door ondersteuning van de beademingsmachine. Deze vorm van asynchronie komt zeer frequent voor bij PSV (tot 35% van de ademteugen) en nooit bij NAVA.<sup>3</sup> Immers, patiënten met inspiratoire spierzwakte of pulmonale hyperinflatie kunnen soms de beademingsmachine niet triggeren omdat zij onvoldoende inspiratoire flow kunnen genereren. Omdat er wel elektrische activiteit van het diafragma is, kan de machine wel getriggerd worden in de NAVA-modus.



**Figuur 2** NAVA-katheter en positionering in de oesofagus. De NAVA-katheter wordt via de neus of mond in de oesofagus gebracht. De MG-elektrodes moeten deels boven en deels onder het diafragma gepositioneerd worden om te voorkomen dat bij bewegen van het diafragma tijdens de ademhaling geen elektrische activiteit meer gedetecteerd kan worden. De NAVA-katheter kan ook gebruikt worden voor toediening van voeding, medicatie en vocht in de maag.

## Proportionaliteit van ondersteuning

Bij PSV wordt na triggering een vooraf ingestelde (bv. 10 cm H<sub>2</sub>O) ondersteuning geboden. Bij NAVA is de drukondersteuning proportioneel met de Edi, die per ademteug kan variëren. Edi-activiteit wordt continu gemeten en elke 16 ms wordt de ondersteuning geactualiseerd. De mate van ondersteuning kan worden aangepast door een bepaald NAVA-niveau te kiezen. Zo wordt bij NAVA-niveau 1,0 bijvoorbeeld 1 cm H<sub>2</sub>O drukondersteuning gegeven per µV Edi. Bij NAVA-niveau 3 wordt 3 cm H<sub>2</sub>O drukondersteuning gegeven voor elke µV Edi. Omdat de ondersteuning door de machine proportioneel is aan de mate van inspiratoire arbeid van de patiënt, neemt de ondersteuning door de beademingsmachine toe bij toename van de ademarbeid en varieert het teugvolume dus per ademteug (figuur 3). Dit is fysiologischer dan pressure-support, waarbij de mate van ondersteuning onafhankelijk is van de ademarbeid van de patiënt.



**Figuur 3** Proportionaliteit van ondersteuning. In deze figuur is goed te zien dat bij NAVA-beademing ondersteuning proportioneel is aan de elektrische activiteit van het diafragma (onderste curve). Vergelijk bijvoorbeeld de op een na laatste inspiratiepoging met de laatste. Het teugvolume (derde curve van boven) is bij de laatste inspiratiepoging hoger dan bij de inspiratiepoging, proportioneel met de elektrische activiteit van het diafragma.

### Respons van respiratoire systeem op verhogen van ondersteuning tijdens NAVA

Het effect van verhogen van ondersteuning op het adempatroon van de patiënt is bij NAVA anders dan tijdens pressure-supportbeademing. Verhogen van het pressure-supportniveau zal leiden tot toename van de inspiratiedruk en dus van het teugvolume. Het teugvolume is afhankelijk van de ingestelde druk en compliantie van het respiratoire systeem. Hoewel de ademdrive van de patiënt zal afnemen bij een hoger niveau van pressure-support, heeft dit nauwelijks effect op het teugvolume omdat er geen terugkoppeling van de patiënt naar de machine is.

Verhogen van de ondersteuning tijdens NAVA leidt eveneens tot een afname in elektrische activiteit van het diafragma door neurale reflexen die geactiveerd worden bij rek op alveoli en die negatieve input geven op inspiratoire neuronen in de hersenstam (bijvoorbeeld heringbreuerreflex). Door afname van activiteit van deze inspiratoire neuronen en daarmee Edi, wordt de ondersteuning die de patiënt tijdens NAVA krijgt, vermindert: de ondersteuning is immers proportioneel aan de Edi-activiteit (figuur 3).

Bij beademing in de NAVA-modus houdt de patiënt dus in zekere mate controle over het teugvolume, waardoor het risico op door beademing geïnduceerde longschade mogelijk verminderd wordt. Studies bij patiënten met ARDS moeten dit concept echter nog bewijzen.

### KLINISCHE STUDIES MET NAVA

Sinds de introductie zijn er diverse studies met NAVA uitgevoerd. Spahija<sup>3</sup> vergeleek de mate van PVA tijdens NAVA en vervolgens PSV. Triggerdelay was significant korter tijdens NAVA in vergelijking met PSV-modus (100 ms versus 250 ms,  $P < 0,05$ ). De verschillen in 'cycle off delay' – dat wil zeggen tijdsverschil tussen het einde van de neurale inspiratie en het einde van machine-inspiratie – waren nog veel groter (gemiddeld  $\pm 50$  ms tijdens NAVA versus  $\pm 900$  ms tijdens PSV). Vervolgstudies lieten zien dat de synchronie tussen patiënt en beademingsmachine tijdens NAVA beter is dan tijdens PSV, zowel bij patiënten met ARDS als in de weaning-fase.<sup>4</sup> In een crossover-studie bij postoperatieve patiënten die met PSV en NAVA werden nabeademd, was ook de oxygenatie beter na 24 uur NAVA dan na eenzelfde periode in de PSV-modus.<sup>5</sup> Bij PSV is er een reëel risico op te hoge drukondersteuning, waardoor inactiviteit van het diafragma (figuur 4) en risico op ademspieratrofie ontstaat. NAVA vermindert het risico op over-assist.<sup>6</sup> Of NAVA ook voordeel biedt op klinisch relevante eindpunten zoals beademingsduur, is niet onderzocht.

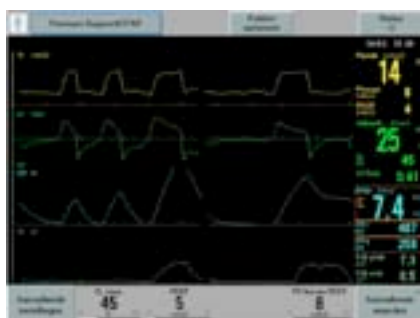
### NAVA EN NONINVASIEVE BEADEMING

Noninvasieve beademing wordt steeds meer toegepast voor acuut respiratoir falen, onder andere na operaties en bij acute exacerbaties van COPD. Bij ongeveer 35% van de patiënten echter faalt noninvasieve beademing en is alsnog endotracheale intubatie nodig. Er zijn weinig studies verricht naar de oorzaken van falen van noninvasieve beademing, maar duidelijk is wel dat PVA een rol speelt. Bij noninvasieve beademing treedt veel meer lucht lekkage op dan tijdens invasieve beademing. Bij PSV leidt lucht lek tot toename van PVA, want de machine gebruikt een verandering in flow/druk om een inspiratiepoging te detecteren.

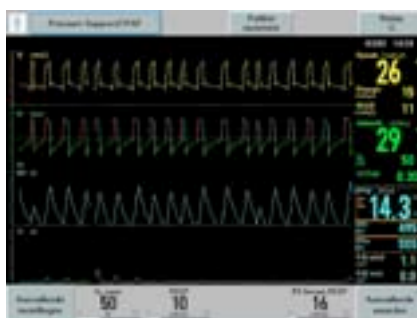
Bij NAVA gebeurt het triggeren van de machine onafhankelijk van een lucht lek: er wordt immers gebruik gemaakt van Edi. In een recente studie<sup>7</sup> bij patiënten die behandeld werden met noninvasieve beademing voor postoperatief respiratoir falen werd bij gebruik van NAVA significant minder asynchronie gezien dan bij gebruik van PSV. De studie was helaas te klein om te kunnen beoordelen of NAVA ook het risico op endotracheale intubatie vermindert.

### EDI-KATHETER EN MONITORING VAN DE BEADEMING

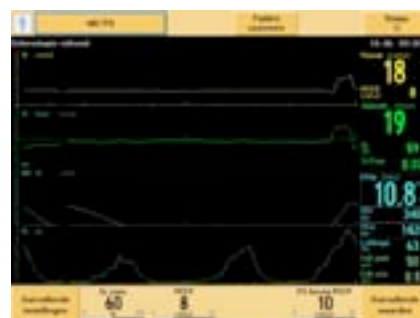
Anders dan vaak verondersteld wordt is het op basis van flow- en druksignalen die door de beademingsmachine gemeten worden onmogelijk om betrouwbaar PVA te



**A** In deze figuur zijn slechts twee inspiratiepogingen van patiënt zichtbaar (zie Edi-sigitaal in onderste curve), maar vier mechanische inspiraties, passend bij autotriggering. Detectie hiervan is buitengewoon moeilijk aan de hand van de druk- of flowcurves.



**B** Bijna afwezige activiteit van het diafragma bij een patiënt in pressure-supportmodus ('autotriggering').



**C** Curves van een patiënt met acute exacerbatie van COPD tijdens noninvasieve beademing met pressure-support. Er zijn drie 'wasted efforts' zichtbaar: er is wel een inspiratiepoging van de patiënt (zie EMG in onderste curve), maar geen activatie van de beademingsmachine. Bij deze patiënt is dat waarschijnlijk het gevolg van intrinsic PEEP.

**Figuur 4** De Edi-katheter wordt gebruikt voor detectie van patiënt-ventilator-asynchronie, mits niet beademd wordt in de NAVA-modus.

detecteren, zelfs door ervaren intensivisten.<sup>4</sup> De meest betrouwbare maat voor detectie van PVA is continue meting van de oesofagusdruk. Betrouwbare meting van de oesofagusdruk is echter niet eenvoudig en voornamelijk niet toepasbaar in de klinische praktijk. De Edi-katheter meet elektrische activiteit van het diafragma die continu beschikbaar is op het scherm van de beademingsmachine. Ook als een patiënt in een andere modus dan NAVA beademd wordt, is dit EMG-sigitaal zichtbaar. Hiermee is Edi zeer geschikt voor monitoring van PVA in de klinische praktijk (figuur 4). Wordt asynchronie gedetecteerd, dan kan na aanpassing van beademingsinstellingen het effect op PVA eenvoudig vervolgd worden. Bij verhogen van pressure-supportniveau zal het Edi-sigitaal afnemen.

## NAVA IN DE PRAKTIJK

NAVA voor invasieve en noninvasieve beademing is een optie die alleen verkrijgbaar is op de Servo-i-beademingsmachine (Maquet Critical Care). Hiervoor moet speciale soft- en hardware aangeschaft worden. Hardware bestaat uit een module die tussen verschillende beademingsmachines uitwisselbaar is, en een kabel die de Edi-katheter met de Edi-module verbindt. De Edi-katheters zijn disposable en kunnen ook gebruikt worden als voedingssonde.

Nauwkeurige positionering van de Edi-katheter is van groot belang om EMG-signalen van het diafragma tijdens inspiratie te kunnen detecteren. Een meegeleverde software-applicatie is hierbij behulpzaam en in de praktijk is adequate positionering en in positie houden van de

katheter tijdens beademing zeer zelden een probleem.<sup>8</sup> Zelfs tijdens mobilisatie van de patiënt (fietsen, lopen) wordt een bruikbaar sigitaal verkregen. Edi-katheters zijn beschikbaar in diverse maten: voor neonaten, kinderen en volwassenen.

## Indicaties

Er zijn geen randomized controlled trials verricht die aantonen bij welke patiënten NAVA leidt tot klinisch relevante verbetering in outcome. Zoals beschreven tonen diverse fysiologische studies aan dat NAVA PVA vermindert. Omdat PVA vooral voorkomt bij obstructieve longziekten (COPD en astma) of ademspierzwakte (IC-zwakte), zijn dit mogelijke indicaties voor NAVA. NIV-NAVA zal waarschijnlijk van waarde zijn bij patiënten met een exacerbatie van COPD. Auteurs gebruiken NAVA met name ook bij moeilijke ontwenning van de beademing, omdat deze patiënten vaak ademspierzwakte hebben.

NAVA kan de oxygenatie verbeteren bij patiënten met acuut hypoxemisch falen, meest waarschijnlijk doordat alveoli gerekruteerd worden bij activatie van het diafragma tijdens inspiratie. Het gebruik van NAVA bij ALI/ARDS is echter nog onderwerp van lopend onderzoek.

## Contra-indicaties

NAVA kan alleen toegepast worden met een Edi-katheter. Bij contra-indicaties voor een neusmaagsonde is NAVA dus niet mogelijk. NAVA is een ondersteunende beademingsvorm. De patiënt moet dus een ademdrive hebben

en, meer specifiek: er moet elektrische activiteit van het diafragma zijn. Bij gebruik van spierverslappers of een zeer hoge dosering van sedativa is NAVA niet toepasbaar. Ook bij patiënten met een hoge dwarslaesie waarbij de innervatie van het diafragma verloren is gegaan, kan NAVA niet toegepast worden.

### Instellen niveau van ondersteuning tijdens NAVA

NAVA geeft een proportionele ondersteuning van de ademdrive van de patiënt (figuur 3). Het absolute niveau van drukondersteuning varieert per ademteug, anders dan bijvoorbeeld bij pressure-support, waarbij onafhankelijk van de ademdrive van de patiënt een gefixeerde drukondersteuning geboden wordt (bv. 10 cm H<sub>2</sub>O). De ondersteuning kan worden aangepast door instellen van het NAVA-niveau (figuur 5). De drukondersteuning die geleverd wordt kan berekend worden met de volgende formule:

$$\text{drukondersteuning boven PEEP} = (\text{Edi}_{\text{max}} - \text{Edi}_{\text{min}}) * \text{NAVA-niveau}$$

Edi in  $\mu\text{Volt}$

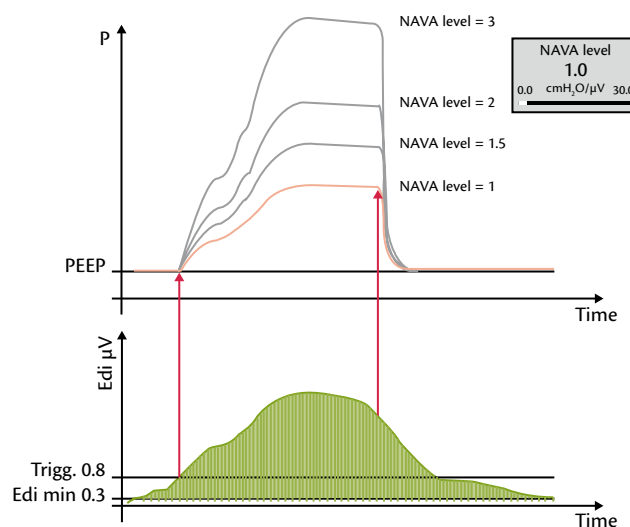
NAVA-niveau in cm H<sub>2</sub>O/ $\mu\text{V}$

Een methode om het NAVA-niveau in te stellen is een bepaalde waarde voor de piekdruk na te streven. Een exacte waarde is uiteraard niet mogelijk, omdat de Edi en daarmee de maximale drukondersteuning per ademteug varieert. In de software van de beademingsmachine is een applicatie meegeleverd om deze titratie te vereenvoudigen. Het afbouwen van ondersteuning gebeurt door vermindering van het NAVA-niveau, zoals gebruikelijk bij pressure-supportbeademing.

In het verleden werd gebruik gemaakt van titratie methoden waarbij het NAVA-niveau verhoogd werd tot het teugvolume van de patiënt niet meer toenam.<sup>9,10</sup> Hoewel er een fysiologische basis is voor deze methode, is zij in de praktijk omslachtig en wordt zij momenteel alleen toegepast voor wetenschappelijke studies.

### BEPERKINGEN EN PROBLEMEN TIJDENS NAVA

Bij ontbreken van een adequaat Edi-sigitaal is gebruik van NAVA onmogelijk. Afwezigheid van een Edi-sigitaal bij een geïntubeerde patiënt ondanks adequate positionering van de katheter kan het gevolg zijn van diepe sedatie, spierverslappers of 'overassist'. Met name dit laatste komt in de praktijk vaak voor. Als de patiënt op dat moment door middel van PSV wordt beademd, kan het pressure-supportniveau gereduceerd worden. Door toename van de ademdrive verschijnt dan meestal wel een Edi-sigitaal.



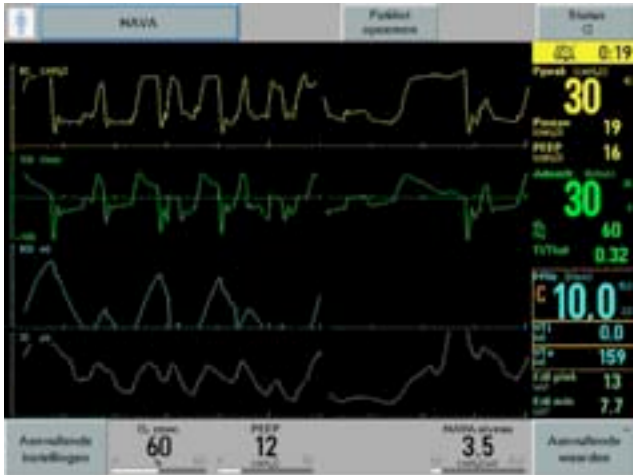
**Figuur 5** Instellen van NAVA-niveau. Het NAVA-niveau bepaalt de mate van ondersteuning. Indien het NAVA-niveau 1 cm H<sub>2</sub>O/ $\mu\text{V}$  is, wordt per  $\mu\text{V}$  Edi 1 cm H<sub>2</sub>O ondersteuning gegeven. Is het NAVA-niveau 2,0 cm H<sub>2</sub>O/ $\mu\text{V}$ , dan wordt voor elke  $\mu\text{V}$  Edi 2 cm H<sub>2</sub>O drukondersteuning gegeven, etc.

Een chaotisch Edi-patroon (figuur 6) waarbij Edi niet synchroon verloopt met inspiratoire flow, wordt gezien bij acuut ontstane atelecise, pneumothorax of na recente pneumonectomie. De hypothese is dat acute craniale verplaatsing van een hemidiafragma leidt tot een tonische contractie in dat hemidiafragma. Bij dit patroon is NAVA-beademing niet mogelijk en moet overgegaan worden op een andere beademingsvorm. Meestal kan 1-2 dagen later alsnog NAVA toegepast worden, zelfs als atelectase blijft bestaan. Het diafragma adapteert aan de nieuwe situatie.

Bij patiënten met acute zeer ernstige hypercapnische acidose (pH onder  $\pm 7,20$ ) is de respiratoire drive en daarmee Edi extreem hoog en komt hij tussen de ademteugen door niet terug naar de baseline. Ook bij deze patiënten is NAVA vaak lastig toepasbaar. Soms kan met een lage dosering sedativa (bv. propofol) de respiratoire drive wat geremd worden en lukt NAVA alsnog. Is dit niet succesvol, dan moet gekozen worden voor een andere beademingsvorm.

De belangrijkste beperkingen van NAVA zijn dat deze optie alleen beschikbaar is op de Servo-i-machine (Maquet Critical Care) en dat er nog geen grote klinische studies verricht zijn die klinische superioriteit ten opzichte van PSV aantonen. Momenteel zijn er een aantal studies in voorbereiding (er worden voor sommige al patiënten geïncludeerd) die wel ontworpen zijn om klinisch relevante uitkomsten te onderzoeken. Van groot belang voor participerende centra is dat zij voldoende klinische ervaring met NAVA hebben voordat ze meedoen. Ons is gebleken dat er zeker in de eerste maanden

een leercurve is. Een IC-afdeling zal ervaring met NAVA moeten opdoen, bijvoorbeeld tijdens ontwenning van de beademing.



**Figuur 6** Effect van acute atelectase op Edi-sigitaal bij een patiënt met acute atelectase. Het Edi-sigitaal (onderste curve) is chaotisch en komt niet terug op de baseline. Het meest waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door acute verandering in positie van een hemidiafragma, waardoor tonische activiteit in het diafragma ontstaat. NAVA-beademing is nu niet mogelijk (zie flow- en druksigitaal).

## CONCLUSIE; NAVA IN DE TOEKOMST

Vanuit technisch perspectief is NAVA in de beademingswereld mogelijk de belangrijkste vernieuwing van het laatste decennium. De belangrijkste innovatie is dat de beademingsmachine informatie krijgt over het neurale adempatroon van de patiënt. Hierdoor is de synchroniciteit tussen patiënt en beademingsmachine sterk verbeterd ten opzichte van beademingsvormen die geen gebruik maken van Edi. Daarnaast levert beademing in de NAVA-modus proportionele ondersteuning, hetgeen leidt tot een meer fysiologisch adempatroon. De Edi katheter levert potentieel waardevolle informatie voor monitoring. Edi-activiteit kan gebruikt worden als maat voor ademarheid, al is dit fysiologisch niet helemaal correct. De ratio teugvolume en Edi is een maat voor de ventilatoire efficiëntie van de inspiratiespiers.

neuroventilatoire efficiëntie (NVE) = teugvolume/Edi

NVE kan gemeten worden tijdens een trial spontaan ademen. Stel dat in de eerste trial voor een teugvolume van 400 ml een Edi nodig is van 40  $\mu$ V, dan is NVE 10 ml/ $\mu$ V. Als de trials spontaan ademen enkele dagen later herhaald wordt en voor een teugvolume van 400 ml de maximale Edi nog slechts 5  $\mu$ V is, is de NVE 20 ml/ $\mu$ V, en kan geconcludeerd worden dat het inspiratoire systeem efficiënter is gaan werken. Momenteel wordt onderzoek gedaan naar de vraag of een bepaalde waarde van NVE succesvolle extubatie kan voorspellen. Het is onze verwachting dat de Edi-katheter in de toekomst een belangrijke rol gaat spelen bij monitoring van ademspierfunctie van beademde patiënten.

## REFERENTIES

1. Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, Zhu J, et al. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med* 2008; 358: 1327-35.
2. Marini JJ. Spontaneously regulated vs. controlled ventilation of acute lung injury/acute respiratory distress syndrome. *Curr Opin Crit Care* 2011; 17: 24-29.
3. Spahija JM, Albert M, Bellemare P, Delisle S, Beck J, Sinderby C. Patient-ventilator interaction during pressure support ventilation and neurally adjusted ventilatory assist. *Crit Care Med* 2010; 38: 518-26.
4. Colombo D, Cammarota G, Alemanni M, Carenzo L, Barra FL, Vaschetto R, Slutsky AS, et al. Efficacy of ventilator waveforms observation in detecting patient-ventilator asynchrony. *Crit Care Med* 2011; 39: 2452-57.
5. Coisel Y, Chanques G, Jung B, Constantin JM, Capdevila X, Matecki S, Grasso S, Jaber S. Neurally adjusted ventilatory assist in critically ill postoperative patients: a crossover randomized study. *Anesthesiology* 2010; 113: 925-35.
6. Colombo D, Cammarota G, Bergamaschi V, 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: 2010-18.
7. Schmidt M, Dres M, Raux M, Islandes-Boutmy E, Kindler F, Mayaux J, Similowski T, Demoule A. Neurally adjusted ventilatory assist improves patient-ventilator interaction during postextubation prophylactic noninvasive ventilation. *Crit Care Med* 2012; 40: 1738-44.
8. Barwing J, Pedroni C, Quintel M, Moerer O. Influence of body position, PEEP and intra-abdominal pressure on the catheter positioning for neurally adjusted ventilatory assist. *Intensive Care Med* 2011; 37: 2041-45.
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: 695-703.
10. Lecomte F, Brander L, Jalde F, Beck J, Qui H, Elie C, Slutsky AS, Brunet F, Sinderby C. Physiological response to increasing levels of neurally adjusted ventilatory assist (NAVA). *Respir Physiol Neurobiol* 2009; 166: 117-24.

Financiële banden en belangenverstremgeling: Leo Heunks heeft voor een wetenschappelijke studie NAVA-katheters ontvangen van Maquet Critical Care (Solna, Zweden) en heeft op uitnodiging van onder andere Maquet Critical Care Zweden lezingen verzorgd over NAVA. De auteurs hebben geen financiële belangen die gerelateerd zijn aan het onderwerp besproken in dit artikel.