ونتیلاتور

و آشنایی با تهویه مکانیکی

(اصول اولیه و کاربردی)

نویسنده:

دکتر مرتضی پرتویان

استادیار بیهوشی و مراقبت‌های ویژه

(مرکز آموزشی پژوهشی درمانی کوثر سمنان)

e-mail: dr.mortezapartovian@semums.ac.ir

فهرست مطالب:

عنوان	صفحه
۱. مقدمه	۱
۲. اصول کلی	۱
۳. تهویه مکانیکی	۱
۴. اندیکاسیون اینتوباسیون و تهویه مکانیکی	۲
۵. آشنایی با ونتیلاتور	۲
۶. مدهای ونتیلاتور	۳
۷. تنظیم ونتیلاتور	۶
۸. پایش بیمار طی تهویه مکانیکی	۱۰
۹. سداسیون بیمار طی تهویه مکانیکی	۱۴
۱۰. آلارم (هشدار) ونتیلاتور طی تهویه مکانیکی	۱۵
۱۱. جدا کردن بیمار از ونتیلاتور (weaning) و اکستوباسیون	۱۸
۱۲. منابع برای مطالعه بیشتر	۲۰

۱. مقدمه

یکی از عمده‌ترین تفاوت کار در بخش مراقبت‌های ویژه و سایر بخش‌ها، توانایی پرستاران و پزشکان در حفظ راه هوایی با ابزارهای پیشرفته است. در این بخش بسیاری از بیماران به درجاتی از کمک جهت انجام تهویه کافی نیاز دارند. بنابراین آشنایی با انواع ابزار راه هوایی و بکارگیری آن‌ها و البته ابزار و ماشین آلات تهویه مکانیکی امری ضروری و حیاتی محسوب می‌شود. اغلب بیماران بستری در بخش‌های ویژه نیازهایی فراتر از بیماران سایر بخش‌ها دارند. این نیازها از فراهم کردن کالری کافی گرفته تا اکسیژن رسانی و حتی نیاز به برقرای خواب مصنوعی و تنفس مکانیکی است. بنابراین ما نیازمند پزشکان و پرسنلی هستیم که دانش لازم جهت شناسایی مشکل را داشته باشند و از طرفی مهارت کافی در انجام اقدامات لازم را کسب کرده باشند. هدف از تهیه این نوشته آشنایی اولیه با تهویه مکانیکی و ونتیلاتور و چگونگی بکارگیری آن در بیماران بخش‌های ویژه است.

۲. اصول کلی

همواره به یاد داشته باشید رمز موفقیت در بکارگیری ابزار و تجهیزات پزشکی ابتدا شناخت و طرز کار ابزار و نهایتا دانش بهره‌گیری از آن‌هاست. تصور کنید شما پزشکی هستید که هیچ گاه اقدام به تنظیم ونتیلاتور نکرده‌اید و ناچار هستید به تنهایی برای یک بیمار نیازمند تهویه مکانیکی تصمیم بگیرید. این در حالیست که پزشک بخش مراقبت‌های ویژه هم هستید. عدم دانش شما در شناخت ابزار و البته عدم آگاهی کافی از طرز استفاده به ناخوشی بیشتر و مرگ و میر بیمار شما منتهی خواهد شد. بنابراین اگر در هر رشته‌ای تحصیل می‌کنید که با بخش مراقبت‌های ویژه ارتباط مستقیم دارید، ملزم به یادگیری مدیریت راه هوایی و بکارگیری ابزار پیشرفته تهویه هستید. برای فهم درست کار با ونتیلاتور ابتدا مدیریت راه هوایی را باید بیاموزید. لازمه تنظیم یک ونتیلاتور و استفاده از آن، برقراری راه هوایی مطمئن و ایمن است.

۳. تهویه مکانیکی

تهویه مکانیکی به ۲ دسته تهاجمی (invasive ventilation) و غیر تهاجمی (non invasive ventilation) تقسیم می‌شود. تهویه تهاجمی شامل کارگذاری لوله تراشه و تهویه به وسیله ماشین ونتیلاتور است. در صورتی که تهویه غیر تهاجمی با استفاده از ماسک یا کانولای مخصوص بوده و از طریق ماشین ونتیلاتور به بیمار کمک می‌شود. چرا تهویه مکانیکی انجام می‌شود؟ همه ما گاهی با بیماری مواجه می‌شویم که یا قادر به حفظ راه هوایی نیست، یا دچار مشکلات ریوی از جمله تشدید بیماری انسدادی راه هوایی شده، یا بافت ریوی خود قادر به عملکرد صحیح نیست و یا عاملی از بیرون موجب اختلال در تهویه خودبخودی بیمار شده است. در این موارد علاوه بر رفع و یا مدیریت مشکل، باید از راه هوایی تا ریه بیمار تحت حفاظت ما قرار بگیرد. با این کار اکسیژن‌رسانی به ارگان‌های هدف به خوبی برقرار شده و از آسیب تهدید کننده حیات به بیمار جلوگیری می‌شود. تهویه مکانیکی چه اهدافی دارد؟ حفظ و ایمن‌سازی راه هوایی، برقراری اکسیژن رسانی موثر، پاکسازی CO_2 و بهبود تهویه دقیقه‌ای (minute ventilation or MV). اگر قادر باشیم ونتیلاتور را به خوبی با شرایط بیمار تنظیم کنیم، می‌توانیم نتیجه خوبی از تهویه مکانیکی بگیریم. در غیر این صورت آسیب وارده به بیمار می‌تواند جبران ناپذیر باشد.

۴. اندیکاسیون اینتوباسیون و تهویه مکانیکی

از آنجایی که استاندارد طلایی برقرای راه هوایی اینتوباسیون تراشه هست لذا اندیکاسیون‌های این پروسیجر در زیر بیان شده است. لازم به ذکر است که در بیماری که دیسترس تنفسی دارد یا تلاش تنفسی طاقت فرسایی دارد، اینتوباسیون تراشه و تهویه مکانیکی می‌تواند نجاتبخش باشد.

الف. اختلال در سطح هوشیاری با عدم توانایی در حفظ راه هوایی

ب. شستشوی ناحیه برونکوپولمونار‌ی

پ. آسیب شدید ریوی یا آسیب چند ارگانی با نارسایی تنفسی

ت. تعداد تنفس بالای ۳۵ در دقیقه

ث. ظرفیت حیاتی (vital capacity or VC) زیر 15 ml/kg در افراد بزرگسال

ج. عدم توانایی در ایجاد فشار دمی منفی 20 mmHg

چ. فشار جزیی اکسیژن شریانی (PaO2) زیر 70 mmHg

ح. فشار شریانی دی اکسید کربن (PaCO2) بیش از 55 mmHg

خ. فضای مرده (dead space) بیش از ۰/۶ لیتر

(برای آشنایی با ابزار اینتوباسیون و طریقه انجام این کار به درسنامه مدیریت راه هوایی مراجعه نمایید)

اندیکاسیون‌های بالقوه تهویه مکانیکی			
مکانیسم فیزیولوژیک	**معیار بالینی**	**محدوده طبیعی**	**یافته نیازمند تهویه مکانیکی**
هایپوکسمی	P(A-a) O2 gradient (mmHg) PaO2/FiO2 ratio SaO2	25-65 425-475 98%	>350 <300 <90% علیرغم تجویز اکسیژن مکمل
هایپرکربی/تهویه ناکافی آلوئولی	PaCO2	35-45 mmHg	افزایش حاد از PaCO2 پایه بیمار PH<7.20 کاهش سطح هوشیاری
عدم توازن انتقال/مصرف اکسیژن	افزایش لاکتات سچوراسیون کاهش یافته اکسیژن مخلوط وریدی	≤2.2 mg/dL 70%	≥4 mg/dL علیرغم احیاء کافی <70% علیرغم احیاءحاد کافی
افزایش کار تنفسی	تهویه دقیقه ای فضای مرده	5-10 L/min 0.15-.030	> 15-20 L/min ≥0.5 (حاد)
ضعف عضلات دمی	NIP VC	80-100 cmH2O 60-75 ml/kg	<20-30 <15-20
نارسایی قلبی حاد جبران نشده	اتساع ورید ژوگولار ادم ریوی EF کاهش یافته		قضاوت بالینی در ترکیب با عوامل لیست شده
باز شدن ناکافی ریه	VT (ml/kg) VC (ml/kg) تعداد تنفس (تعداد/دقیقه)	5-8 60-75 12-20	<4-5 <10-15 ≥35

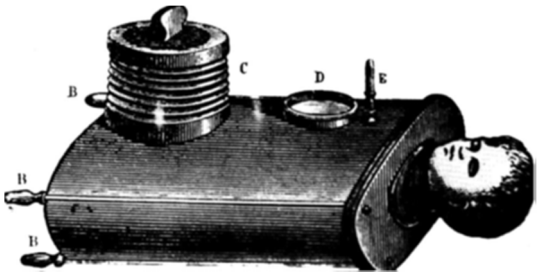
EF, Ejection fraction; FIO2, fraction of inspired oxygen; NIP, negative inspiratory pressure; P(A-a)O2, alveolar-arterial oxygen pressure difference; PaO2, partial pressure of oxygen; PaCO2, partial pressure of carbon dioxide; SaO2, arterial oxygen saturation; VC, vital capacity; VT, tidal volume.

۵. آشنایی با ونتیلاتور

ونتیلاتور ابزار تهویه مکانیکی است. در اصل ۲ دسته ونتیلاتور وجود دارد. یکی ماشین بیهوشی که علاوه بر تهویه وظیفه انتقال گازهای بیهوشی را دارد و دیگری ونتیلاتور که فقط می‌تواند بیمار را تهویه کند. همه این ماشین‌ها طوری طراحی شدند که بتوانند برای هر بیمار حداکثر پوشش تهویه را فراهم کنند. باید توجه داشت تهویه هر بیمار با بیمار دیگر متفاوت است. بنابراین در مواجهه با هر بیمار باید بیماری زمینه‌ای به خصوص بیماری قلبی و ریوی مورد توجه قرار گیرد.

در گذشته ونتیلاتورها با ایجاد فشار منفی کار می‌کردند ولی امروزه ونتیلاتورها با ایجاد فشار مثبت موجبات تهویه مکانیکی را فراهم می‌کنند. تصاویر زیر مربوط به بیمارستانی در دوره همه‌گیری پولیومیلیت (۱۹۵۳) در امریکاست.

شکل ونتیلاتورهای اولیه که با ایجاد فشار منفی موجب برقراری تهویه در بیماران می‌شد به این صورت بوده است.



با ظهور ونتیلاتورهای توانمند در تهویه با فشار مثبت که امروزه در تمام مراکز درمانی یافت می‌شود، روند تهویه مکانیکی تغییر کرد. از طرفی این ماشین‌ها جای کمتری اشغال می‌کنند و قادر به برقراری مدهای متنوع فشاری و حجمی هستند. روند تکامل و پیشرفت ونتیلاتورهای با فشار مثبت در جدول زیر نمایش داده شده است.

جدول شماره (۱) – نسل‌های ونتیلاتورهای بخش مراقبت ویژه

نسل	سال	کارکرد
اول	اوایل دهه ۱۹۰۰ تا اواسط دهه ۱۹۷۰	تنها تهویه حجمی را انجام می‌داد
دوم	اواسط دهه ۱۹۷۰ تا اوایل دهه ۱۹۸۰	ظهور اولیه تنفس با تریگر بیمار
سوم	اوایل دهه ۱۹۸۰ تا اواخر دهه ۱۹۹۰	کنترل میکروپروسسور
چهارم	اواخر دهه ۱۹۹۰ تا هم اکنون	قادر به برقراری مدهای متعدد تهویه
پنجم	زمان باید تعیین کند	تهویه هوشمند تا فراهم کردن حمایت مورد دلخواه

۶. مدهای ونتیلاتور

دو مد پایه در ونتیلاتورها وجود دارد. یکی مد حجمی و دیگری مد فشاری است. در مد فشاری دستگاه با حفظ فشاری ثابت اقدام به تهویه می‌کند در صورتی که در مد حجمی دستگاه حجمی ثابت را برقرار می‌کند.

مد حجمی (Volume-cycled mode): تهویه زمانی انجام می‌شود که حجم جاری از قبل تنظیم شده منتقل شده و بدنبال آن بازدم غیرفعال رخ دهد. گازی که با الگوی جریان دمی ثابت منتقل می‌شود، منجر به ایجاد فشارهای حداکثری به راه‌های هوایی بیشتر از نیاز برای اتساع ریه می‌گردد (plateau pressure). از آنجایی که حجم منتقل شده ثابت است، فشارهای راه هوایی با تغییر کامپلیانس ریه (plateau pressure) و مقاومت راه هوایی (peak

pressure) متغیر خواهند بود. مشکل بزرگ این مد این است که در بیمار ممکن است به طور بالقوه به علت ایجاد فشارهای بالای راه هوایی باروتروما ایجاد گردد. پایش دقیق و استفاده از محدودیت فشار در جلوگیری از بروز این عارضه مفید است. باید توجه کرد در ونتیلاتورهایی که در مد حجمی تنظیم می‌شوند، نیاز است تا به خوبی بیمار از نظر کامپلیانس ریه تحت نظارت قرار گیرد. زیرا شرایطی مانند ARDS، پنوموتوراکس، انتوباسیون برونش راست، سفتی جدار قفسه سینه، افزایش فشار داخل شکم و آژیتاسیون سایکوموتور ("fighting the vent") منجر به کاهش پارامترهای فیزیولوژیک بیمار می‌گردند. این عوامل می‌توانند موجب افزایش فشار حداکثری یا پیک (peak pressure) شده و زمانی که آژیر هشدار دستگاه به کار افتاد باید حتما مورد توجه قرار گیرد. برعکس، در مد فشاری، چنین وضعیت‌هایی می‌توانند منجر به کاهش حجم انتقالی شده و آژیر هشدار فعال نمی‌شود.

مد فشاری (Pressure-cycled mode): در این مد فشار حداکثری دمی (PIP) تنظیم شده و اختلاف فشار بین ونتیلاتور و ریه‌ها موجب بروز دم تا زمان حصول فشار حداکثری گشته و به دنبال آن بازدم غیرفعال رخ دهد. حجم انتقال یافته با هر دم وابسته به کامپلیانس توراسیک و ریه است.

از نظر تئوریک استفاده از این مد موجب توزیع بهتر و یکنواخت گاز در ریه‌ها می‌شود. اما شواهدی فعلا وجود ندارد که این امر بتواند موجب کاهش صدمات ناشی از تهویه مکانیکی و مرگ و میر شود.

از عوارض عمده تهویه فشاری تغییرات دینامیک در مکانیک ریه است. این تغییرات ممکن است منجر به حجم‌های جاری متنوعی شود. بنابراین پایش دقیق تهویه دقیقه‌ای و عدم استفاده از این مد در مواقع غیر ضروری ضروریست.

برای درک بهتر این فرآیند در جدول زیر تفاوت این دو مد اصلی شرح داده شده است. توجه داشته باشید سایر مدهای موجود در دستگاه زیر مجموعه یکی از این دو مد هستند.

جدول شماره (۲) – تفاوت مدهای حجمی و فشاری در ونتیلاتور

مدهای حجمی (volume controlled modes)	مدهای فشاری (pressure controlled modes)
حجم ثابت: دستگاه تلاش می‌کند حجم ثابتی را در ازای فشار راه هوایی متغیر فراهم کند.	حجم متغیر: دستگاه تلاش می‌کند فشار ثابتی با حجم جاری متغیر فراهم کند.
دم: با انتقال حجم جاری از قبل تنظیم شده خاتمه می‌یابد.	دم: زمانی خاتمه می‌یابد که فشار مثبت از قبل تنظیم شده حاصل شود.
فشار حداکثر راه هوایی: متغیر	فشار حداکثر راه هوایی: ثابت
حجم جاری از قبل تنظیم شده منتقل می‌شود: مگر اینکه فشار راه هوایی به حد بالا برسد یا یک نشتی در سیستم، کاف یا لوله وجود داشته باشد.	فشار از قبل تنظیم شده منتقل می‌شود: حجم جاری متغیر بوده و با تنظیم سطح فشار، تغییر در مقاومت راه هوایی و کامپلیانس ریه تعیین می‌گردد.
Flow rate دمی: ثابت، تعداد تنفس تنظیم می‌شود.	Flow rate دمی: متغیر، بر پایه خصوصیات بیمار

انواع حمایت (support): اغلب ونتیلاتورها می‌توانند موجب فراهم آوردن حجم جاری در مد کنترله یا مد حمایتی شوند.

مد کنترله: در این نوع مد، ونتیلاتور موجب انتقال حجم جاری از قبل تعریف شده در زمان تلاش بیمار برای تنفس می‌گردد. اگر بیمار در آپنه باشد یا درایو تنفسی محدودی وجود داشته باشد، مد کنترله می‌تواند انتقال تهویه دقیقه‌ای کافی را فراهم کند.

مد حمایتی: در این نوع مد، ونتیلاتور کمک به تنفس را با استفاده از فشار کمکی فراهم می‌کند. ونتیلاتور، دمی که بیمار می‌کند را تشخیص داده و فشاری کمکی را طی دم فراهم می‌سازد. دستگاه زمانی فشار کمکی را قطع می‌کند که فاز بازدمی شروع شود. مد حمایتی نیاز به یک درایو تنفسی کافی دارد.

روش‌های حمایت با ونتیلاتور:

الف. Continuous mandatory ventilation (CMV): تنفس‌هایی که در دوره زمانی مشخص انتقال داده می‌شود، هماهنگی با تلاش بیمار ندارند. این مد اغلب در بیماران فلج یا آپنیک استفاده می‌شود زیرا می‌تواند در بیمار با تلاش تنفسی موجب افزایش کار تنفسی شود.

ب. Assist-control ventilation (ACV): ونتیلاتور تنفس‌های از قبل تنظیم شده را در هماهنگی با تلاش تنفسی بیمار انتقال می‌دهد. با هر تلاش تنفسی، ونتیلاتور حجم جاری را به طور کامل منتقل می‌کند. تنفس‌های خودبخودی مابین تهویه با ونتیلاتور حمایت نمی‌شوند.

پ. Intermittent mandatory ventilation (IMV): با این مد تنفس‌ها در دوره زمانی مشخص منتقل شده و تنفس‌های خودبخودی بین تنفس‌های ماشین انجام می‌شود. تنفس‌های خودبخودی در مقابل مقاومت لوله راه هوایی و دریچه‌های ماشین رخ می‌دهند.

ت. Synchronous intermittent mandatory ventilation (SIMV): ونتیلاتور تنفس‌های از قبل تنظیم شده را در هماهنگی با تلاش تنفسی بیمار منتقل می‌کند. تنفس‌های خودبخودی بین این تنفس‌ها انجام می‌شود. هماهنگی بین تنفس‌های مکانیکی و تنفس‌های خودبخودی بیمار موجب محدود شدن باروتروما می‌گردد. یک مشکل در تهویه با SIMV افزایش کار تنفسی است. در صورتی که حمایت فشاری به تنفس‌های خودبخودی اضافه شود، احتمال افزایش کار تنفسی با SIMV کاسته می‌شود.

انتخاب اولیه مد تهویه (یعنی SIMV و A/C) وابسته به درمانگر است. تهویه با A/C، به مانند CMV، مدی با حمایت کامل است که در آن ونتیلاتور بیشتر یا همه کار تنفسی را انجام می‌دهد. این مدها برای بیمارانی مفید هستند که نیاز به تهویه دقیقه‌ای بالایی دارند. حمایت کامل موجب کاهش مصرف اکسیژن و کاهش تولید CO_2 از عضلات تنفسی می‌شود.

زمانی که نیاز به حمایت تنفسی برای بیمار فلج شده با دارو وجود دارد، هیچ تفاوتی در تهویه دقیقه‌ای یا فشارهای راه هوایی با هر کدام از مدهای شرح داده شده وجود ندارد. در بیمار آپنیک، A/C با تعداد تنفس ۱۰ و حجم جاری ۵۰۰ میلی‌لیتر همان تهویه دقیقه‌ای را ایجاد می‌کند که SIMV در پارامترهای مشابه ایجاد می‌کند.

ث. Pressure support ventilation (PSV): برای بیمار با تنفس خودبخودی، تهویه با فشار حمایتی (PSV) موجب دفاع از ریه در برابر باروتروما و کاهش کار تنفسی می‌شود. فشار حمایتی از A/C و IMV متفاوت است، به طوری که سطح حمایت فشاری برای کمک به هر تلاش تنفسی خودبخودی تنظیم می‌گردد. حمایت فشار راه هوایی تا زمانی حفظ می‌شود که جریان دمی بیمار زیر یک نقطه مشخص بیافتد (یعنی ۲۵٪ از جریان حداکثری یا peak flow). تعیین کننده حجم جاری، تعداد تنفس و میزان جریان هوا خود بیمار است. این مد به خصوص در بیمارانی که نارسایی تنفسی شدیدی نداشته و قادر به برقراری درایو تنفسی کافی هستند کاربرد دارد. لذا می‌تواند منجر به بهبود تلاش بیمار، کاهش اثرات قلبی – عروقی، کاهش خطر باروتروما و بهبود توزیع گاز شود.

۷. تنظیم ونتیلاتور

قبل از اینکه ونتیلاتور را تنظیم کنیم باید از سلامت دستگاه و فراهم کردن اکسیژن توسط سیستم مرکزی بیمارستان یا کپسول اکسیژن اطمینان حاصل کنیم. همواره مدی را که بیشتر از همه استفاده کردید و تسلط کافی روی آن دارید برای بیمارتان انتخاب کنید. تنظیم ونتیلاتور برای هر بیمار با دیگری فرق داشته و هر کدام خصوصیات خود را دارد. زمانی در تهویه مکانیکی بیمار موفق هستید که مدیریت راه هوایی، تنظیم ونتیلاتور، پایش تهویه و سداسیون بیمار را به خوبی انجام داده باشید. همواره به یاد داشته باشید این شما هستید که می‌توانید بهترین تنظیم ونتیلاتور را برای بیمارتان انجام دهید، ولی اگر موفق نشدید می‌توانید از مشاوره سایر رشته‌ها بهره‌مند شوید. با این توضیح اولیه با توجه به نوع مد ونتیلاتور تنظیمات اولیه را با یکدیگر مرور می‌کنیم.

تنظیم مد SIMV: رایج‌ترین مدی است که در بخش مراقبت ویژه استفاده می‌شود. در این مد باید حجم جاری (VT)، تعداد تنفس (RR)، کسر اکسیژن دمی (FiO2) و فشار مثبت انتهای بازدمی (PEEP) در گام اولیه تنظیم شود. برای تنظیم حجم جاری چه در بیماران مبتلا به ARDS و چه سایر بیماران بر اساس Ideal Body Weight اقدام به محاسبه کنید (جدول شماره ۴). این وزن بر مبنای قد بیمار بوده و دیدگاه درستی از شرایط وزنی بیمار را به کاربر می‌دهد. در بیماری که چاق می‌شود اندازه ریه تغییر نمی‌کند ولی اگر قد بیمار رشد کند قاعدتا با کشیده شدن قفسه سینه اندازه ریه هم افزوده می‌شود. بنابراین استفاده از این جدول ما را در تعیین حجم جاری مناسب‌تر یاری می‌رساند. تجویز 6-8 ml/kg حجم، موجب محافظت ریه از باروتروما می‌شود.

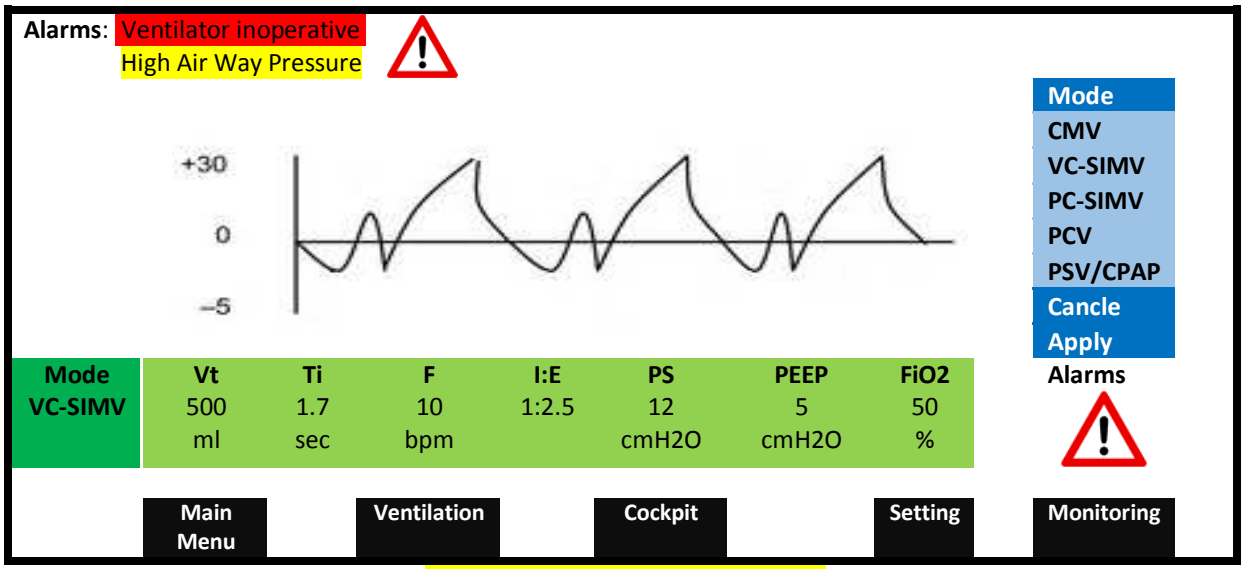
به عنوان مثال در یک بیمار خانم با قد ۱۶۰ سانتی‌متر به صورت زیر عمل می‌کنیم:

VT بر مبنای جدول شماره ۴ حدود ۳۰۰ الی ۴۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه در نظر گرفته شود.

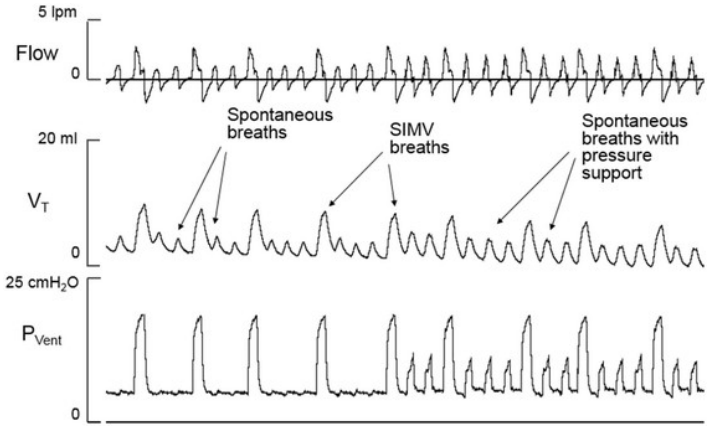
RR به تعداد تنفس یک فرد بالغ در خواب بین ۱۰ الی ۱۲ در دقیقه تنظیم شود.

FiO2 در ابتدای تهویه ۱۰۰٪ و به مرور زمان تا ۴۰٪ کاهش داده شود.

PEEP در شرایط عادی بین ۵ الی ۷ قابل قبول است. در بیماران با چاقی مفرط بهتر است به بالای ۱۰ رسانده شود ولی با خطر تغییرات همودینامیک همراه است. در ARDS بهتر است بر مبنای جدول تهویه در ARDS تنظیمات ونتیلاتور انجام شود.



نمای شماتیک از پنل کنترل ونتیلاتور



همواره توجه داشته باشید تعیین Ti (زمان دم) مهم است. گاهی دیده می‌شود کاربر بدون توجه به این زمان اقدام به افزایش RR می‌کند. در حالت عادی نسبت زمان دم به بازدم در یک فرد نرمال ۱ ثانیه به ۲ ثانیه در دقیقه در نظر گرفته می‌شود. اما با مداخله ما در تنظیم ونتیلاتور به طور غیر عمد زمان دم بسیار کوتاه شده و بیمار دچار هایپوکسی می‌گردد. در تصویر روبرو تنفس‌های خودبخودی بیمار با و بدون حمایت ونتیلاتور و نیز تنفس‌های ونتیلاتور به تنهایی، نمایش داده شده است.

تنظیم مد CMV: این مد در بیمارانی که از طریق دارویی فلج شده‌اند یا سطح هوشیاری بسیار پایینی دارند قابل استفاده است. این مد در بیماران با تنفس خودبخودی و یا مقاوم در برابر ابزار مدیریت راه هوایی توصیه نمی‌شود. همواره به یاد داشته باشیم CMV تعدادی مشخصی تنفس با حجم از قبل تعریف شده منتقل می‌کند، بنابراین نه تنها قادر به حمایت تنفس خودبخودی بیمار نیست، بلکه با این تنفس‌ها تداخل کرده و موجب افت SPO2 و افزایش PCO2 می‌شود. از طرفی این تداخل موجب خستگی تنفسی بیمار خواهد شد.

برای تنظیم اولیه دستگاه در یک بیمار خانم با قد ۱۶۰ سانتی‌متر به صورت زیر عمل می‌کنیم:

VT بر مبنای جدول شماره ۴ حدود ۳۰۰ الی ۴۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه در نظر گرفته شود.

RR به تعداد تنفس یک فرد بالغ در خواب بین ۱۰ الی ۱۲ در دقیقه تنظیم شود.

FiO2 در ابتدای تهویه ۱۰۰٪ و به مرور زمان تا ۴۰٪ کاهش داده شود.

PEEP در شرایط عادی بین ۵ الی ۷ قابل قبول است. در بیماران با چاقی مفرط بهتر است به بالای ۱۰ رسانده شود ولی با خطر تغییرات همودینامیک همراه است. در ARDS بهتر است بر مبنای جدول تهویه در ARDS حجم جاری و PEEP تجویز شود.

همواره به یاد داشته باشید، تا زمانی که می‌توان از مد SIMV استفاده کرد، نیازی به تنظیم ونتیلاتور با مد CMV نیست. SIMV می‌تواند در شرایطی که بیمار تنفس خودبخودی ندارد و یا فلج است مانند CMV تهویه را انجام دهد. از طرفی اگر تنفس بیمار بازگشت، قادر به حمایت آن‌ها هم هست. یعنی نسبت به CMV مدی فیزیولوژیک‌تر و سازگارتر با بیمار است.

جدول شماره (۴) – وزن ایده‌آل بدن (ideal body weight) با استفاده از اندازه قد بیمار

زنان				مردان		
قد به فوت و اینچ	قد به سانتیمتر	وزن به کیلوگرم		قد به فوت و اینچ	قد به سانتیمتر	وزن به کیلوگرم
۴ – ۸	۱۴۲/۲۴	۳۶/۳	هر فوت = ۳۰/۴۸ سانتیمتر	۵	۱۵۲/۴	۴۸/۱
۴ – ۹	۱۴۴/۷۸	۳۸/۵		۵ – ۱	۱۵۴/۹۴	۵۰/۸
۴ – ۱۰	۱۴۷/۳۲	۴۰/۸		۵ – ۲	۱۵۷/۴۸	۵۳/۵
۴ – ۱۱	۱۴۹/۸۶	۴۳/۱		۵ – ۳	۱۶۰/۰۲	۵۶/۲
۵	۱۵۲/۴	۴۵/۳		۵ – ۴	۱۶۲/۵۶	۵۹/۰
۵ – ۱	۱۵۴/۹۴	۴۷/۶		۵ – ۵	۱۶۵/۱	۶۱/۷
۵ – ۲	۱۵۷/۴۸	۴۹/۹		۵ – ۶	۱۶۷/۶۴	۶۴/۴
۵ – ۳	۱۶۰/۰۲	۵۲/۲	هر اینچ = ۲/۵۴ سانتیمتر	۵ – ۷	۱۷۰/۱۸	۶۷/۱
۵ – ۴	۱۶۲/۵۶	۵۴/۴		۵ – ۸	۱۷۲/۷۲	۶۹/۸
۵ – ۵	۱۶۵/۱	۵۶/۷		۵ – ۹	۱۷۵/۲۶	۷۲/۶
۵ – ۶	۱۶۷/۶۴	۵۹/۰		۵ - ۱۰	۱۷۷/۸	۷۵/۲
۵ – ۷	۱۷۰/۱۸	۶۱/۲		۵ – ۱۱	۱۸۰/۳۴	۷۸/۰
۵ – ۸	۱۷۲/۷۲	۶۳/۵		۶	۱۸۲/۸۸	۸۰/۷
۵ – ۹	۱۷۵/۲۶	۶۵/۸		۶ – ۱	۱۸۵/۴۲	۸۳/۵
۵ – ۱۰	۱۷۷/۸	۶۸/۰		۶ – ۲	۱۸۷/۹۶	۸۶/۲
۵ - ۱۱	۱۸۰/۳۴	۷۰/۳		۶ - ۳	۱۹۰/۵	۸۸/۹

مردان: ۵۰ + ۲/۳ ضربدر (قد به اینچ) – ۶۰ زنان: ۴۵/۵ + ۲/۳ ضربدر (قد به اینچ) – ۶۰

تعیین VT: 6-8 ml/kg (based on ideal body weight)

تنظیم مد PSV: این مد حمایتی بوده و فقط قادر به حمایت از تنفس‌های خودبخودی بیمار است. بنابراین بیمار باید قادر به برقراری تنفس‌های موثر باشد. برای حمایت از تنفس بیمار باید pressure support، PEEP و FiO2 تنظیم شود. معمولا PS اولیه ۱۰ تا ۱۲، FiO2 بر مبنای اکسیژناسیون بیمار و PEEP هم در حد فیزیولژیک یا بر مبنای نیاز و شرایط بیمار در نظر گرفته شود.

PSV مدیست که برای وینینگ بیمار بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر بیماری دارید که شرایط همودینامیک و درایو تنفسی خوبی دارد، می‌توانید از PSV به عنوان یک پل بین مد SIMV و تعبیه T-piece استفاده کنید (در ادامه شرح داده خواهد شد).

تنظیم مد PCV: این مد عموما در کودکان مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل انتخاب این مد در کودکان فیزیولوژیک‌تر بودن این مد نسبت به مدهای حجمی است. برای تنظیم باید تعداد تنفس، فشار دمی، زمان دم، PEEP و FiO2 مشخص شود. معمولا فشار دمی در بزرگسالان را زیر CmH2O ۲۰، تعداد تنفس بین ۱۰ الی ۱۲، زمان دم بین ۱ الی ۲ ثانیه، PEEP در محدوده ۵ الی ۱۰ و FiO2 نیز از ۱۰۰٪ الی ۴۰٪ در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که VT

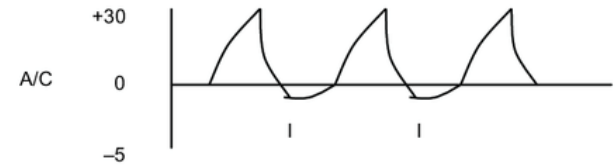
مورد انتظار حاصل شد، یعنی تنظیمات ما صحیح است. اما باید حتما میزان اکسیژناسیون خون و سطح PCO2 پایش شود.

جدول شماره (۳) - خلاصه مدهای ونتیلاتور و خصوصیات آن‌ها

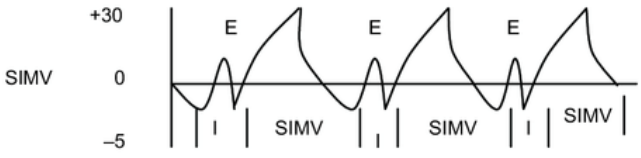
مد (mode)	شرح مد	چیدمان اصلی	پایش	توضیحات
VC (volume control)	دستگاه مقداری از هوا را مبادله می‌کند که دقیقا برای آن تعریف شده است.	RR, TV, PEEP, FIO2	Pressure (p peak – p plat)	ممکن است موجب بروز بارورترما (barotrauma) شود.
PC (pressure control)	هر تنفسی که مبادله می‌شود بر مبنای فشاری است که برای زمان دم تعریف شده است.	RR, IP, TI, Rise time, PEEP, FIO2	Volume (VT – MV)	ممکن است موجب بروز ولوتروما (volutrauma) یا هایپوونتیلاسیون شود.
SIMV (synchronous intermittent mandatory ventilation)	به تعداد مشخص با حجم ثابت، حجم منتقل شده و در صورت وجود تنفس بیمار، آن‌ها حمایت می‌شوند.	RR, TV, PEEP, FIO2	Pressure (p peak – p plat)	در روند weaning می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.
PS (pressure support)	بیمار نفس دارد و بر این مبنا تنفس بیمار حمایت می‌شود.	PS, PEEP, FiO2	Volume (VT – MV)	مد مطلوب برای weaning است چون خود بیمار تنفس را کنترل می‌کند ولی باید نظارت دقیق بر تهویه بیمار انجام شود.
APRV (airway pressure release ventilation)	تهویه برعکس، یعنی زمان دم بیش از بازدم است.	T High, T Low, P high, P low, FIO2	Volume and gas exchange (PaCO2 & EtCO2)	مصرف بلوک کننده جانکشن نوروماسکلار ممنوع است و حتما بیمار باید تنفس خودبخود داشته باشد.

RR: respiratory rate, TV: tidal volume, PEEP: positive end expiratory pressure, IP: inspiratory pressure, TI: time inspiratory, T high/low: time high/low, P high/low: pressure high/low, EtCO2: end tidal CO2, FiO2: fractional inspired oxygen (%)

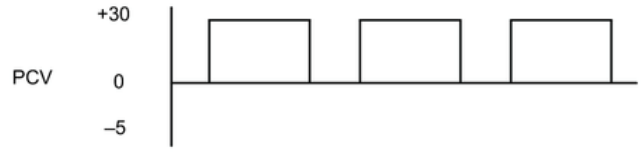
معیارهای تهویه: PH و PaCO2 (ABG) معیارهای اکسیژناسیون: SPO2، PaO2 و HCO3 (پالس اکسیمتری و ABG)



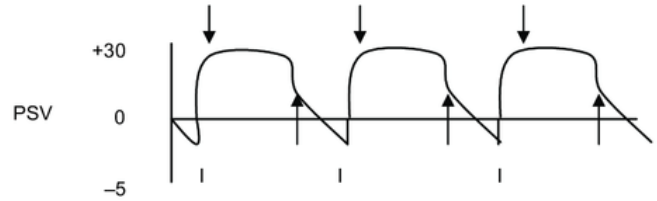
به فشار منفی دمی که موجب تحریک تنفس assist-control می‌شود توجه کنید.



به تنفس‌های خودبخودی مابین تنفس‌های SIMV توجه کنید. توجه کنید انحراف فشار منفی که توسط بیمار تشدید می‌شود شروع کننده تنفس SIMV است.



به فاصله زمانی منظم تنفس‌های مد فشاری کنترله دقت کنید.



توجه کنید فشار منفی دمی آغازگر تنفس PSV است. فلش رو به پایین نشاندهنده فشار plateau تنفس PSV است. فلش رو به بالا نشاندهنده ختم تنفس PSV است.

۸. پایش بیمار

مونیتورینگ یا پایش جزء مهمی از روند درمان بیماران طی تهویه مکانیکی است. با پایش صحیح و دقیق قادر به تشخیص مشکلات و عوارض پیش آمده طی درمان هستیم. لذا یک پایش مداوم و البته خوب می‌تواند منجر به مرگ و میر و ناخوشی کمتر برای بیماران بستری در بخش مراقبت‌های ویژه شود. ابزار مود نیاز برای این پایش در وحله اول پالس اکسیمتری (pulse oximetry; pulse rate + SPO2)، فشار دی-اکسید کربن انتهای بازدمی (end tidal CO2; EtCO2)، اندازه‌گیری گازهای شریانی (arterial blood gas; ABG) و اندازه‌گیری فشار خون به روش غیر تهاجمی (non invasive blood pressure; NIBP) و برونده ادراری (urine output) است. در صورت نیاز به پایش بیشتر در وحله دوم، اندازه‌گیری فشار ورید مرکزی (central vein pressure; CVP)، اندازه‌گیری فشار شریان ریوی (pulmonary artery pressure; PAP)، اندازه‌گیری تهاجمی فشار خون (invasive blood pressure; IBP) و غیره مدنظر قرار می‌گیرد.

- پالس اکسیمتری (pulse oximetry; pulse rate + SPO2): با این ابزار می‌توانیم سطح اشباع اکسیژن خون و ضربان نبض را بسنجیم. این ابزار از ۲ صفحه، یکی شامل LED تابنده نور و دیگری شامل حسگر دارد. با مقایسه میزان عبور نور از بافت نبض‌دار و بدون نبض مقادیر SPO2 به درصد محاسبه می‌شود. از طرفی تعداد ضربان نبض هم شمرده می‌شود. این بدان معنیست که پرفیوژن تا انتهای اندام برقرار است. البته لازم به ذکر است که عواملی مانند افت فشار خون، کم خونی شدید، رنگ لاک ناخن (مشکی، آبی تیره و بنفش)، مت هموگلوبینمیا (SPO2 حداکثر به ۸۵٪ می‌رسد)، هموگلوبینوپاتی‌ها، حرکت اندام بیمار و لرز (shivering)، انقباض شریان‌های کوچک ناشی از مصرف داروهای منقبض کننده عروق، سردی انتهای اندام و غیره می‌توانند موجب کمتر نشان داده شدن SPO2 شوند. بنابراین لحاظ کردن موارد فوق در بررسی بیمار و پایش تهویه کمک کننده است. محل مناسب قرارگیری صفحات دستگاه نوک انگشتان، لاله گوش و نوک بینی می‌باشد. باید توجه داشته باشیم که SPO2 می‌تواند نمایانگر اشباع اکسیژن شریانی باشد و در اندازه‌گیری اشباع اکسیژن خون شریانی به ABG ارجحیت ندارد.

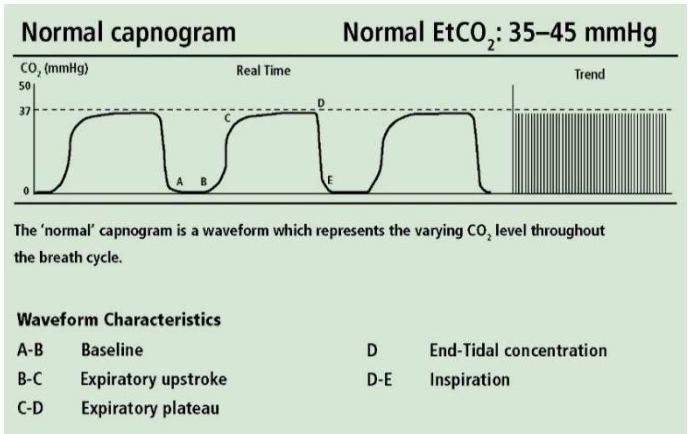
تصور کنید شما با بیماری مواجه هستید که علیرغم اینتوباسیون لوله تراشه و تهویه مکانیکی دچار افت SPO2 شده است. اولین اقدام شما چیست؟ ابتدا باید به فکر کنترل راه هوایی افتاد. آیا لوله تراشه همچنان در سر جای مناسب قرار دارد؟ برای پاسخ به این پرسش باید ۲ موضوع مدنظر قرار بگیرد. اول اینکه ممکن است لوله تراشه از گلوت خارج شده باشد و دوم اینکه شاید لوله تراشه وارد برونش راست شده و بیمار به اصطلاح one lung شده باشد. برای اصلاح مورد اول نیاز به اینتوباسیون مجدد و برای اصلاح مورد دوم نیاز به بیرون کشیدن لوله تراشه تا بالای ناحیه کاریناست. پرسش بعدی که مطرح می‌شود این است: آیا کاف لوله تراشه سالم است؟ در مواردی که دریچه هوای لوله (check valve) با دست فشرده شده و سپس با هوا خودبخود پر شود، به احتمال قوی کاف لوله تراشه سالم است. گاها مشاهده می‌شود پرسنل ICU در زمان تثبیت لوله تراشه با باند، اقدام به گرفتن همزمان لوله تراشه و کاتتر کاف می‌کنند. این امر قطعا پر یا خالی بودن کاف را مخفی خواهد کرد. راه دیگر مشاهده با لارنگوسکوپی مستقیم است. یعنی در بیمار تحت انتوباسیون تراشه، اگر کاف خارج از گلوت مشاهده شد یعنی دیگر در راه هوایی قرار ندارد. و یا مشاهده کاف روی تارهای صوتی می‌تواند به خوبی با لارنگوسکوپی مستقیم رویت شود. فشار کاف روی تارهای صوتی ممکن است باعث آسیب و نکروز شده و بیمار باید تا آخر عمر تحت تراکئوستومی زندگی کند.

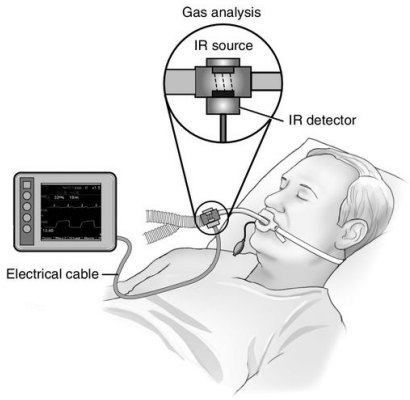
بعد از اطمینان از موارد بالا باید به فکر تداخل و یا چالش بین بیمار و ونتیلاتور افتاد. این مساله علت شایعی در عدم توفیق برای تهویه بیمار است. در این موارد ۲ مساله مدنظر است. اول اینکه شاید مد انتخابی برای بیمار مناسب نباشد و دوم اینکه شاید بیمار تحت سداسیون مناسب قرار نگرفته باشد و یا حتی نیاز به القای بلوک نوروماسکولار جانکشن داشته باشد. این مشکلات به علت پایش نامناسب تهویه عمدتا ناشی از عدم آگاهی پرسنل و یا کم توجهی ناشی از فشار کار پرسنل رخ می‌دهد. باز تاکید می‌شود مد CMV فقط در بیماران با GCS بسیار پایین و یا بیماران فلج شده با دارو قابل استفاده بوده و در سایر بیماران کاربرد ندارد.

عامل بعدی در افت SPO2 بروز حادثه‌ای در قفسه سینه است. در تهویه مکانیکی به خصوص با حجم و فشار بالا، امکان بروز پنوموتوراکس، آسیب آلوئولی و یا حتی آسیب راه هوایی وجود دارد. در چنین مواردی قاعدتا ارزیابی بیمار با Chest X-Ray راهگشا خواهد بود. به ویژه اینکه در مورد پنوموتوراکس همودینامیک هم مختل شده و از طرفی دیگر می‌تواند موجب کلاپس سیرکولاسیون هم شود. در آسیب آلوئولی تهویه بیمار بسیار دشوار بوده و معمولا نتیجه مطلوبی بدست نمی‌آید. در موارد آسیب به راه هوایی آمفیزم زیر جلدی مشهود بوده و نیاز به ارزیابی دقیق‌تر توسط جراح توراکس یا متخصص ENT دارد.

باید توجه داشت قضاوت بالینی شما بهترین عامل در کشف علت افت SPO2 بوده و تا زمانی که وارد چالش با بیمار خود نشوید، امکان فهم درست مشکلات بیمار میسر نیست.

- فشار دی-اکسید کربن انتهای بازدمی (end tidal CO2; EtCO2): این مولفه توسط دستگاه کاپنوگراف اندازه-گیری می‌شود. مقداری از CO2 که اندازه‌گیری می‌شود دقیقا مقداریست که در مجاورت آلوئول‌های ریوی قرار دارد. لذا با اختلاف ناچیزی (< 5 mmHg) نسبت به مقادیر CO2 موجود در شریان، معیار قابل اعتمادی است. در صورتی که این مقدار اختلاف بیش از ۵ mmHg باشد احتمال وجود شانت ریوی مطرح می‌شود. در تصویر سمت راست پایین طریقه اتصال سنسور کاپنوگراف به مسیر راه هوایی تعبیه شده و در تصویر سمت چپ پایین نمای یک کاپنوگرام نرمال نمایش داده شده است.





از این وسیله برای اطمینان از تهویه مناسب بیمار و البته جایگیری مناسب لوله تراشه در راه هوایی استفاده می‌شود. در احیای قلبی – ریوی، اگر مقادیر EtCO2 کمتر از ۱۰ mmHg باشد، یعنی متابولیسمی در بدن وجود ندارد.

بنابراین پرفیوژن بیمار دچار وقفه بوده و نیاز به انجام اقدام فوریست. در صورتی که مقادیر EtCO2 حوالی ۱۰ بوده و بهتر نشد، یعنی تلاش بیشتری در جهت برقراری سیرکولاسیون و تهویه بیمار مورد نیاز است.

- اندازه‌گیری گازهای شریانی (arterial blood gas; ABG):

Arterial Blood Gas (ABG)		
Sample:	Blood	
Date & Time:		
Patient ID:		
PH		7.35-7.45
PCO2	mmHg	35-45
PaO2	mmHg	75-100
HCO3	mmol/L	22-30
BE	mmol/L	-3.0-+3.0
SaO2	%	
Cl	mmol/L	95-110
Na	mmol/L	145-155
Ka	mmol/L	3.5-5.5
Lactate	mmol/L	0.2-1.8
Glucose	mmol/L	3.6-7.7
Ca	mmol/L	1.12-1.30
Hb	g/dl	12-16
HCT	%	35-45

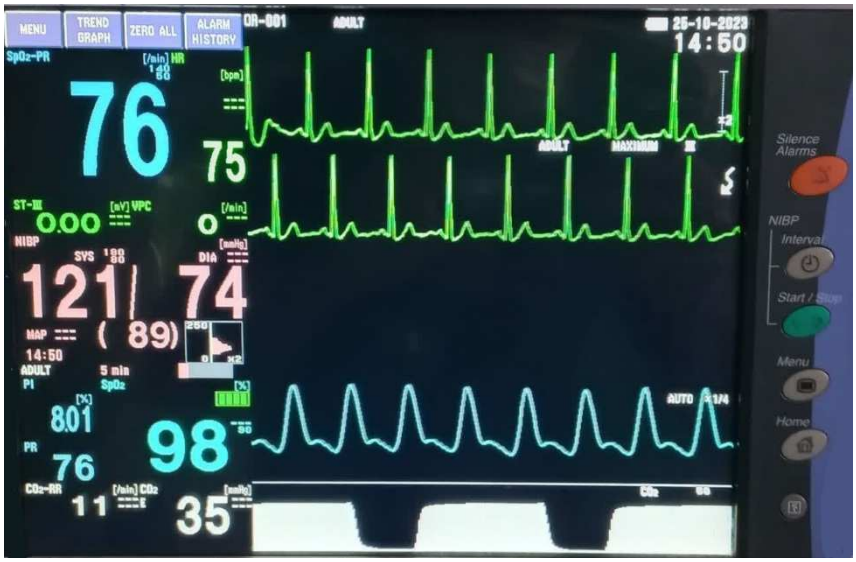
مولفه‌های متعددی توسط این روش اندازه‌گیری می‌شود. جهت پایش تهویه مکانیکی حتما نیاز به انجام ABG در فواصل زمانی مشخص داریم. در این روش علاوه بر گازهای خونی قادر به اندزه-گیری یون‌های موجود در خون (Cl، Na، K و Ca)، لاکتات، گلوکز، Hb و HCT هستیم. باید توجه داشته باشیم که نمونه‌گیری باید حتما از شریان (رادیال، اولنار، فمورال، تیبیال خلفی، دورسالیس پدیس و براکیال) بوده و سرنگی که جهت نمونه‌گیری استفاده می-شود با هپارین آغشته شده باشد. به دلیل اینکه نمونه وریدی اختلافاتی با نمونه شریانی داشته و ممکن است موجب خطا به ویژه در افراد تازه کار شود، لذا توصیه به دریافت نمونه از شریان می‌شود. در مواردی که نیاز به نمونه‌گیری مکرر باشد، بهتر است دسترسی شریانی برای بیمار برقرار شود. به یاد داشته باشیم، در بیماران با انسداد مزمن راه هوایی و یا سایر بیماری‌های قلبی – ریوی، میزان PCO2 در حالت عادی بیشتر از افراد طبیعی است. لذا این محدوده نرمال برای افراد با ریه سالم ذکر شده است.

تصور کنید در ارزیابی ABG یک بیمار تحت تهویه مکانیکی که سداسیون کافی دریافت می‌کند و مشکل خاصی در ریه‌ها ندارد، میزان PCO2 افزایش نشان می‌دهد. برای کاهش PCO2 چه کاری می‌توانید انجام دهید؟ در گام نخست بهترین تصمیم افزودن VT است. در گام بعدی باید به سراغ افزودن بر تعداد تنفس و سپس نسبت زمان دم به بازدم (I:E) برویم. ذکر این نکته ضروریست که در صورت کوتاه شدن بیش از اندازه نسبت زمان دم به بازدم، با افت اکسیژناسیون بیمار مواجه خواهیم بود.

حال تصور کنید در ارزیابی روزانه بیماری دیگر متوجه کاهش اکسیژناسیون بیمار می‌شوید. راهکار شما برای نرمال کردن این وضعیت چیست؟ در گام نخست باید flow یا جریان هوا افزوده شود. علاوه بر این با افزودن درصد اکسیژن دمی اکسیژناسیون بهبود می‌یابد. در گام دیگر با افزودن PEEP، اکسیژناسیون بیمار کیفیت بهتری پیدا می‌کند.

همواره به یاد داشته باشید: حتما در اولین زمان ممکن اقدام به کاهش FiO2 کنید. معمولا این کار با کاهش ۱۰ درصدی و پایش اکسیژناسیون بیمار انجام می‌شود. اگر این کاهش هم جواب نداد می‌توان با کاهش ۵ درصدی و با حفظ مدت زمان بیشتر FiO2 را تا ۴۰ درصد کاهش داد. مقادیر کمتر از ۴۰ درصد هم (FiO2 هوای اتاق: ٪۲۱) با تعبیه T-piece، ماسک و کانول بینی حاصل می‌شود. زمانی که با افزایش و یا کاهش PCO2 مواجه می‌شویم باید بدون سردرگمی اقدام به تفسیر ABG کنیم. انجام کورکورانه تنظیمات کمکی به بیمار نکرده و بیشتر موجب سردرگمی خواهد شد. همواره باید روند تغییرات ABG تحت پایش قرار بگیرد.

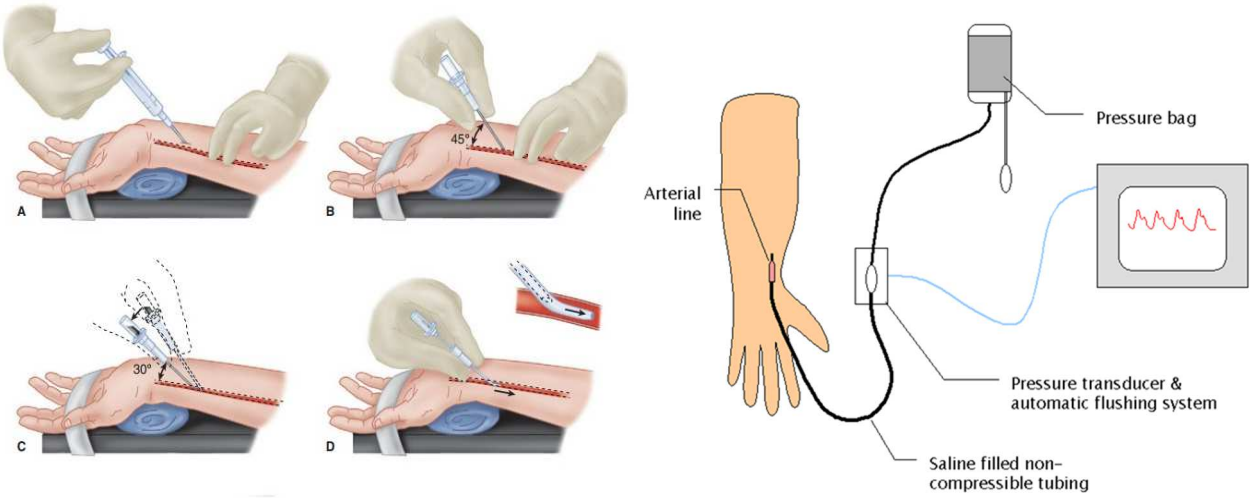
- اندازه‌گیری فشار خون به روش غیر تهاجمی (non invasive blood pressure; NIBP): این تکنیک با استفاده از یک کاف و درجه سنجش می‌شود. کاف باید مناسب اندازه بازوی بیمار بوده و به درستی کار کند. هرگونه نقص در کاف و یا نامناسب بودن آن برای بیمار به نمایش اشتباه فشار خون منتهی می‌شود. رایج‌ترین روش سنجش فشار خون در بخش مراقبت ویژه NIBP است.



در تصویر کناری مونیتورینگ روتین یک بیمار را مشاهده می‌کنید. در اینجا NIBP، Pulse Oximetry (سنجش SPO2)، کاپنوگرافی (EtCO2) و ECG (لید II و V5) اندازه‌گیری می‌شود.

بهتر است بجای HR که از لید ECG سنجیده می‌شود، از PR که قابل رویت توسط پالس اکسیمتری است استفاده گردد.

- اندازه‌گیری تهاجمی فشار خون (invasive blood pressure; IBP): این روش جهت سنجش مستقیم فشار خون استفاده می‌شود. برای این کار نیاز به تعبیه کاتتر در شریان (رادیال، اولنار، فمور، دورسالیس پدیس، تیبیال خلفی) است. سپس با رابط این کاتتر به ترانسدیوسر متصل شده و به مانیتور اتصال می‌یابد. کاربرد این تکنیک در امکان نمونه‌گیری مکرر شریانی جهت ارزیابی ABG و اندازه‌گیری فشار خون است. به مانند NIBP از ۳ جزء اصلی فشار خون سیستولی (SBP)، فشار خون دیاستولی (DBP) و فشار متوسط شریانی (MAP) تشکیل شده است.



در تصویر بالا نحوه برقراری دسترسی شریانی (تصویر چپ) و ابزار متعلق به آن (تصویر راست) نمایش داده شده است.

۹. سداسیون بیمار طی تهویه مکانیکی

داروهای متعددی برای انجام سداسیون بیمار طی تهویه مکانیکی وجود دارد. این داروها از خانواده بنزودیازپین‌ها،

جدول شماره (۵) – داروهای مورد استفاده در سداسیون بیماران تحت تهویه مکانیکی

دارو	خانواده	کاربرد	دوز القا و انفوزیون	عوارض جانبی
میدازولام Midazolam	بنزودیازپین	جهت سداسیون و البته صرع پایدار کاربرد دارد.	10-50 mcg/kg (0.5-4 mg) 20-100 mcg/kg/h	کاهش تعداد تنفس، آپنه، تهوع و استفراغ، سرفه، درد در محل تزریق، سردرد، دلیریوم، یوفوریا
فنتانیل fentanyl	مخدر	آنالژزی، مورد استفاده در بیهوشی عمومی balanced، کاهش رفلکس راه هوایی، مورد استفاده در اینتوباسیون تراشه.	1-2 mcg/kg 1-2 mcg/kg/h (25-200mcg/h)	دپرسیون تنفسی، کند شدن حرکات دستگاه گوارش، خارش، تهوع و استفراغ، ریجیدیتی عضلانی، دپرسیون قلبی در دوزهای بسیار بالا
سوفنتانیل sufentanil			1-2 mcg/kg	دپرسیون تنفسی، کند شدن حرکات دستگاه گوارش، خارش، تهوع و استفراغ، ریجیدیتی عضلانی، دپرسیون قلبی در دوزهای بالا
رمی فنتانیل remifentanil			0.5-1 mcg/kg/min 0.2-0.5 mcg/kg/min	دپرسیون تنفسی کم، برادی کاردی در انفوزیون با دوز بالا
دکس مدتومیدین dexmedetomidine	آلفا-۲ آگونیست	عامل هیپنوتیک و آنالژزیک بوده و در سداسیون بیماران در اتاق عمل و بخش مراقبت ویژه کاربرد دارد.	1 mcg/kg 0.2-0.7 mcg/kg/h	با حفظ تنفس خودبخودی موجب بیهوشی و آنالژزی می‌شود. در دوز بولوس موجب تاکی کاردی گذرا می‌شود. از عوارض آن افزایش فشار خون و افت ضربان قلب است.
پروپوفول propofol	آلکیل فنول	خاصیت هیپنوتیک و آنالژزیک داشته و در جراحی و سداسیون بیماران اینتوبه کاربرد دارد.	0.005 mg/kg 0.005-0.05 mg/kg/h	افت فشار خون، دپرسیون میوکارد، سندروم انفوزیون پروپوفول (اسیدوز متابولیک، برادی کاردی مقاوم و رابدومیلیز)
تیوپنتال سدیم Thiopental sodium	باربیتورات	خاصیت هیپنوتیک و داشته و در بیهوشی عمومی و انجام اینتوباسیون بیمار کاربرد دارد.	3-5 mg/kg	انفوزیون مداوم برای بیماران توصیه نمی‌شود مگر در استاتوس اپیلپتیکوس که البته داروی انتخابی نیست.
کتامین ketamine	فن سیکلیدین	خاصیت هیپنوتیک و آنالژزیک داشته و در جراحی و سداسیون بیماران اینتوبه کاربرد دارد.	1-2 mg/kg 0.1-0.5 mg/min	بیهوشی با این دارو علاوه بر حفظ تنفس خودبخودی همراه با چشمان باز و نیستاگموس است. به علت محرک بودن موجب افزایش فشار خون و ضربان قلب می‌شود. ترشحات راه هوایی را افزایش می‌دهد.
آتراکوریوم atracurium	بلوک کننده جانکشن عصب – عضله	خاصیت شل کنندگی عضلات اسکلتی که در انجام انتوباسیون و برقراری شلی پایدار کاربرد دارد.	0.4-0.5 mg/kg 0.005-0.01 kg/min	متابولیسم پلاسمایی (پدیده هافمن)، افت فشار خون و تاکی کاردی (رهاسازی هیستامین) و واکنش آلرژیک

رنگ قرمز: دوز بولوس (loading) و رنگ سبز: دوز نگهدارنده (maintenance)

هیپنوتیک: هوشبر، آنالژزیک: ضد درد، پدیده هافمن: بدون دخالت آنزیم دارو در پلاسما متابولیزه می‌شود و این فرآیند وابسته به دما و PH است، رهاسازی هیستامین: بدنبال مصرف برخی داروها رخ داده و موجب بروز تاکی کاردی و افت فشار خون و دیگر واکنش‌های آلرژیک می‌شود.

توجه داشته باشید دوز داروها در افراد سالمند بین ۵۰ تا ۷۰ درصد کاهش داده شود، به خصوص در مورد هوشبرها.

مخدرهای طبیعی و صناعی، هوشبرهای وریدی (آلکیل فنول‌ها، آلفا آدرنرژیک‌ها، باربیتورات‌ها) و بلوک‌کننده‌های جانکشن عصب – عضله (بلوک‌کننده‌های نان دپلاریزان) هستند.

هدف از برقراری سداسیون تحمل لوله تراشه توسط بیمار، کاهش رفلکس‌های راه هوایی و کاهش تداخل بین بیمار و ونتیلاتور است. به یاد داشته باشیم عمدتا داروهای مورد استفاده کوتاه اثر و متوسط اثر بوده و بهتر است از داروهای طولانی اثر استفاده نشود. انتخاب نوع دارو با توجه به شرایط هر بیمار (همودینامیک و بیماری زمینه‌ای) متفاوت خواهد بود. استفاده از داروهایی با خاصیت تجمع دارویی می‌تواند نتایج تهویه مکانیکی و جدا کردن بیمار از ونتیلاتور، همودینامیک و بهبودی بیمار را به خطر بیاندازد. در جدول شماره ۵ داروهای مورد استفاده در سداسیون بیمار تحت تهویه مکانیکی آورده شده است.

۱۰. آلارم ونتیلاتور طی تهویه مکانیکی

ماشین ونتیلاتور مجهز به حسگرهایی است که قادر هستند تغییرات در تهویه را تشخیص داده و با توجه به تنظیماتی که کاربر ایجاد کرده است، هشدار لازم را اعلام کند. این هشدارها از خرابی و ایراد در ماشین گرفته تا مشکلات مربوط به تهویه و شرایط ریه بیمار را شامل می‌شود. به یاد داشته باشید هشدار با رنگ قرمز یعنی شرایط تهدیدکننده حیات و رنگ زرد یعنی شرایطی که اگر اصلاح نشود ممکن است تهدیدکننده حیات باشد.

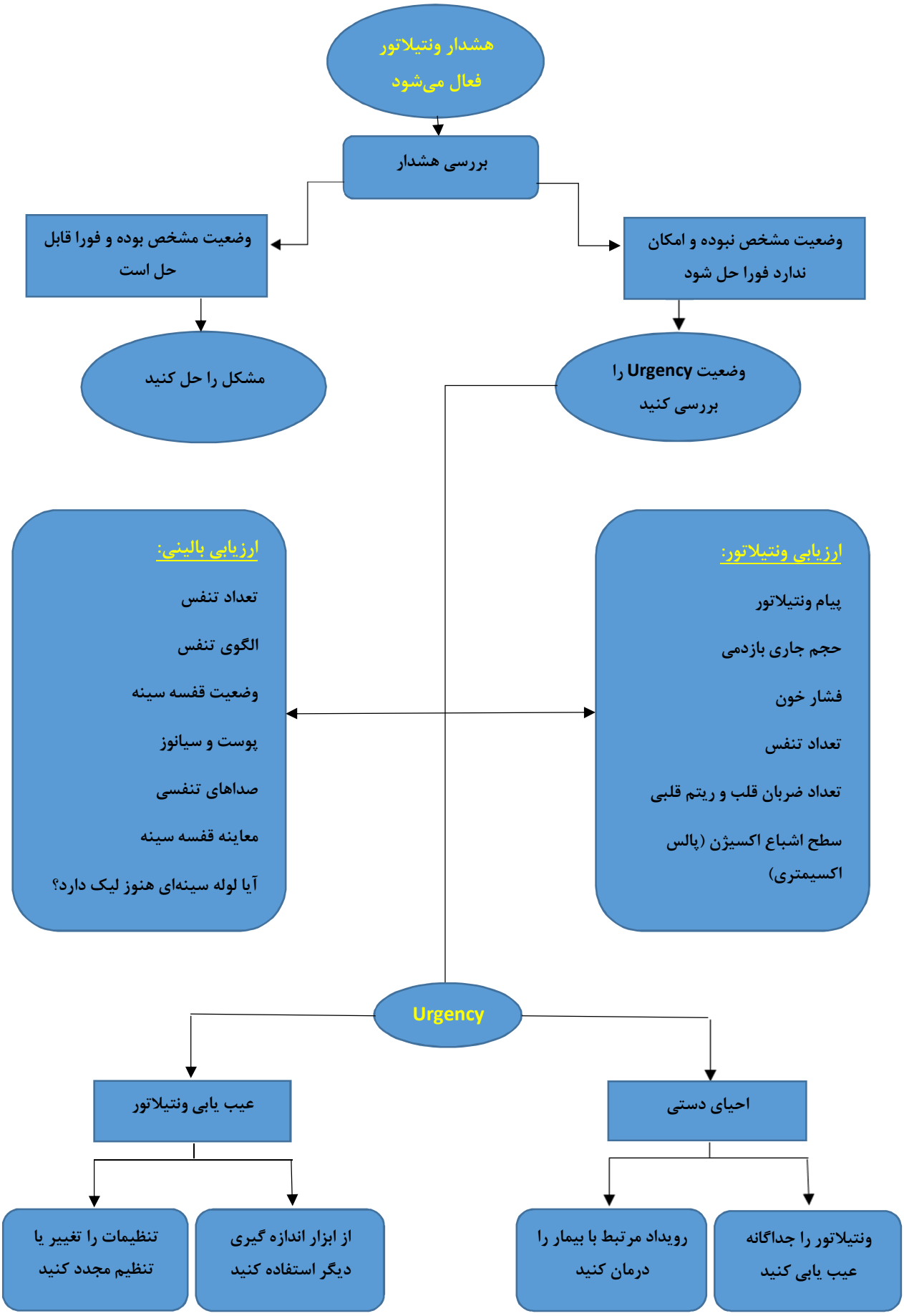
جدول شماره (۶) – سطح Urgency آلارم (هشدار) ونتیلاتور

سطح	اولویت	نوع رویداد	مثال
۱	بالاترین	تهدیدکننده آنی حیات	نارسایی در سامانه الکتریکی فقدان قدرت پنوماتیک نارسایی دریچه بازدمی
۲	بالا	اگر مساله به زودی حل نشود تهدید کننده حیات خواهد شد	فشار بالای راه هوایی حجم جاری بالا تهویه دقیقه‌ای بازدمی پایین حجم بازدمی پایین نسبت زمان دم به زمان بازدم (I:E) معکوس
۳	پایین	تهدیدکننده حیات نیست	دوره کوتاه افزایش تعداد تنفس (RR) افزایش یکباره فشار راه هوایی

رنگ زرد آلارم: بروز رویداد خطرناک که در صورت ادامه یافتن می‌تواند تهدید کننده حیات باشد.
رنگ قرمز: بروز رویداد خطرناک و تهدید کننده حیات که باید سریعا برطرف شود.

تنظیم سطح آلارم در ونتیلاتور از مبدا انجام شده است، ولی باید توجه داشته باشیم ممکن است بر اساس شرایط هر بیمار این سطوح فرق کند. یکی از آلارم‌های ونتیلاتور، آلارم آپنه است که روی ۲۰ ثانیه تنظیم شده است (جدول شماره ۷). فرض کنید برای ساکشن ترشحات بیماری که تحت تهویه با مد PSV است اقدام به قطع لوله رابط از لوله تراشه می‌کنید. اگر این قطع بیش از این ۲۰ ثانیه طول بکشد، ونتیلاتور با این ظن که بیمار دچار آپنه شده اقدام به تهویه ایشان با مد back up می‌کند. این مد می‌تواند CMV یا SIMV باشد. درست است که دستگاه آلارم قطع تنفس را به شما اعلام می‌کند ولی خودش به طور خودکار مد back up را پس از ۲۰ ثانیه فعال می‌نماید. نتیجه این فعال‌سازی بر هم خوردن فرآیند weaning و اکستوباسیون خواهد بود. برای حل این مساله دکمه reset اگر فشرده شود مجددا ونتیلاتور به حالت قبل باز می‌گردد.

الگوریتم مواجهه با آلارم (هشدار) ونتیلاتور را در زیر مشاهده می‌کنید.



جدول شماره (۷) – گایدلاین برای مدیریت آلارم ونتیلاتور					
پارامترهای آلارم	فشار دمی Inspiratory pressure	حجم دقیقه‌ای (MV) Minute volume	حجم جاری (VT) Tidal volume	تعداد تنفس (RR) Respiratory rate	زمان آپنه Apnea time
پایین (low)	همه ونتیلاتورها این آلارم را دارند. تنظیم فشار پایین بر اساس مد مورد استفاده است.	MV زیر ۴-۶ L/min اندازه‌گیری شده. در صورت عدم تاثیر، حد MV را کاهش ندهید.	۲۰۰ میلی‌لیتر بالای VT اندازه‌گیری شده	ممکن است برخی ونتیلاتورها گزینه تنظیم RR نداشته باشند یا بسته به نوع مد مورد استفاده موجود باشد. تنظیم این مورد بر اساس قضاوت بالینی است.	۲۰ ثانیه مگر به وسیله پزشک تغییر یابد.
بالا (high)	۱۵-۲۰ cmH2O بالای فشار پیک در نظر گرفته شده. نهایتا تا ۵۵ cmH2O	MV بالای ۴-۶ L/min اندازه‌گیری شده.	۲۰۰ میلی‌لیتر بالای VT اندازه‌گیری شده	۱۵ تا ۲۰ تنفس در دقیقه بالای RR اندازه‌گیری شده	
توجه کنید همیشه قضاوت بالینی در تنظیم آلارم دستگاه بهترین گزینه است. زیرا بر اساس شرایط بیمار شخصی‌سازی می‌شود.					

توضیحات گایدلاین:

هر سطح با تون یا حجم آلارم صوتی یا اطلاعات بصری یا هر دو مشخص می‌شود.

توانایی جداسازی آلارم‌های ونتیلاتور ضروریست. همه آلارم‌ها به ۳ نوع بر اساس اینکه مربوط به نارسایی ونتیلاتور (۱)، مشکل تداخل بین بیمار – ونتیلاتور باشد (۲) یا رویدادی مربوط به بیمار باشد (۳) طبقه بندی می‌شوند.

ونتیلاتورهای نسل جدید از طریق عملکرد ترکیبی بین میکروپروسسور مبتنی بر سیستم الکترومکانیکال و سیستم پنوماتیک کار می‌کنند، لذا نارسایی ونتیلاتور می‌تواند ناشی از اختلال عملکرد در سیستم الکتریکی یا پنوماتیک باشد.

آلارم‌های نشاندهنده مشکلات مربوط به بیمار هماهنگ با آلارم‌های مونیتورینگ هستند. این آلارم‌ها برای آشکارسازی تغییرات در موقعیت فیزیولوژیک زمینه‌ای طراحی شده‌اند.

هر آلارم ونتیلاتور برای آشکارسازی یک ناهنجاری حاد معین طراحی شده است. اما بسیاری از آلارم‌ها با موقعیت‌های زمینه‌ای همپوشانی دارند. برای مثال در صورت جدا شدن بیمار از ونتیلاتور، چندین آلارم با هم روشن می‌شوند.

آلارم‌های زودرس موارد زیر را کنترل می‌کنند:

low inspiratory pressure ،low exhaled tidal volume ،low positive end-expiratory pressure (PEEP)

آلارم‌های دیررس موارد زیر را کنترل می‌کنند: low expired minute ventilation و Apnea

در ادامه به جدول شماره ۸ (صفحه بعدی) توجه کنید. یادگیری این جدول بسیار در مدیریت ونتیلاتور مفید است.

جدول شماره (۸) - شایع‌ترین آلارم‌های ونتیلاتور		
نام آلارم	تظاهرات	پیشگیری از
High inspiratory pressure limit	افزایش حاد در فشار پیک راه هوایی	باروتروما
Low inspiratory pressure	لیک بزرگ هوا	انتقال ناکافی حجم جاری
	بیمار از ونتیلاتور جدا شده است	هایپوونتیلاسیون، هایپوکسی
	پاسخ ناکافی ونتیلاتور به نیازهای تنفسی بیمار	ناخوشی بیمار
		تلاش فزاینده تنفسی
Low PEEP or CPAP pressure	لیک مختصر در سیستم	فقدان فشار انتهای بازدمی
		کاهش PaO2
High end-expiratory pressure	مقاومت در برابر بازدم	انسداد نسبی یا کامل چرخه تنفس بازدمی
Low exhaled tidal volume	لیک هوا	حمایت ناکافی ونتیلاتور
Low inspired tidal volume	کاهش حجم‌های جاری خودبخودی	هایپوونتیلاسیون
High exhaled tidal volume, High inspired tidal volume, Low respiratory rate, Low exhaled minute ventilation	بهبود کامپلیانس ریه، افزایش نیاز دمی، سداسیون زیاد، درایو تنفسی کاهش یافته، کاهش حجم‌های خودبخودی یا مکانیکال	ولوتروما، باروتروما، هوای بیش از اندازه آلوئول و آسیب ریوی ناشی از ونتیلاتور (VALI)، تداخل بین بیمار و ونتیلاتور، آپنه، هایپرکپنی، حمایت ناکافی ونتیلاتور
	کاهش کامپلیانس ریوی	هایپوونتیلاسیون
	شروع خستگی عضلات تنفسی	مخاطره تنفسی
High exhaled minute ventilation	افزایش کامپلیانس ریوی، تهویه فزاینده	هایپرونتیلاسیون، پرهوایی دینامیک
		آلکالوز تنفسی حاد
High respiratory rate	دیسترس تنفسی، شامل درد و خشم (anxiety)	پرهوایی دینامیک، مخاطره تنفسی
	ونتیلاتور خودکار	ناخوشی بیمار
	شروع خستگی عضلات تنفسی	هایپرونتیلاسیون، آلکالوز تنفسی حاد
Inverted inspiratory-to-expiratory ratio (I:E)	ونتیلاتور خودکار، زمان بازدمی ناکافی	هایپرونتیلاسیون، پرهوایی دینامیک
	Inadvertent inspiratory pause	
Apnea	ارست تنفسی	هایپوونتیلاسیون با هایپرکپنی
		هایپوکسمی
Low oxygen-air inlet pressure	قطع اکسیژن یا کاهش منبع هوا	هایپوکسمی
	سقوط فشار هوا یا اکسیژن به کمتر از سطوح حداقلی	فشار ناکافی برای توان بخشیدن به سیستم پنوماتیک ونتیلاتور
Power disconnect	نارسایی قدرت الکتریکی، قطع ونتیلاتور به اشتباه	نارسایی همه اجزای ونتیلاتور که نیازمند توان الکتریکی جهت کار کردن است
Low or high Fio2	اختلاف بین FiO2 تنظیم شده و FiO2 آنالیز شده	هایپوکسمی، مسمومیت با اکسیژن، خطا در قضاوت بالین به دلیل FiO2 نادرست
Ventilator inoperative	اختلال عملکرد در ونتیلاتور که برای استفاده ناایمن در بیمار کافیست	همه اثرات بالقوه مضر ونتیلاتور روی بیمار، حمایت ناکافی ونتیلاتور برای تنفس

۱۱. جدا کردن بیمار از ونتیلاتور (weaning)

۵ گام اساسی جهت جدا کردن بیمار از ونتیلاتور وجود دارد: اول؛ آمادگی بیمار (وضعیت قلبی و ریوی ، تعادل مایعات و اسید و باز)، دوم؛ ارزیابی (مانند تلاش خودبخودی تنفس یا SBT)، سوم؛ کاهش یا قطع حمایت تهویه مکانیکی، چهارم؛ خارج کردن لوله تراشه، پنجم؛ مراقبت پس از اکستوباسیون.

گام نخست: یکی از عمده‌ترین دلایل شکست در weaning و اکستوباسیون، نارسایی در پمپ قلبی – ریوی است. بررسی وضعیت قلب با استفاده از داده‌های همودینامیک (NIBP در حد نرمال بدون وابستگی به وازوپرسورها، برونده ادراری مناسب، عدم وجود ادم و ...) و بررسی اکوکاردیوگرافیک (EF، اطلاعات از قلب راست و چپ، دریچه‌ها و PAP) است. در صورت تهویه مطلوب و قابل قبول بودن ABG و سطح مناسب اکسیژناسیون و نرمال بودن گرافی اخیر قفسه سینه، می‌توان از آمادگی ریه بیمار برای کاهش حمایت تهویه مکانیکی اطمینان حاصل کرد. از طرفی عدم وجود

ترشحات فراوان و یا ترشحات چسبنده در راه هوایی از مواردیست که می‌تواند پزشک را از آمادگی بیمار برای weaning و اکستوباسیون باخبر کند.

گام دوم: در این مرحله باید تنفس خود بیمار (spontaneous breathing trial; SBT) مورد ارزیابی قرار بگیرد. اگر VT بیمار (به لیتر) در حد قابل قبولی باشد و تعداد تنفس بالایی نداشته باشد می‌توان گفت بیمار از تلاش تنفسی خوبی برای weaningبرخوردار است. برای ارزیابی دقیق باید سداسیون بیمار کاهش یا قطع شود. با بهتر شدن سطح هوشیاری معمولا تنفس‌ها بهتر خواهد شد. SBT بهتر است در موارد PSV یا T-piece انجام شود. می‌توان پس از یک SBT موفق بیمار را اکستوبه کرد ولی توصیه می‌شود عجله در کار نباشد. شکست در اکستوباسیون موارد بعدی اکستوباسیون را دشوارتر و شانس شکست را بالا می‌برد.

گام سوم: کاهش حمایت یعنی از مدی مثل SIMV به سمت مدی مثل PSV برویم. با این کار تنفس‌های بیمار مورد حمایت قرار گرفته و ایشان در شرایط فیزیولوژیک‌تر قرار می‌گیرد. پس از اطمینان از تحمل بیمار باید به سمت T-piece و یا جریان متناوب PSV و T-piece برویم. در مورد استفاده از T-piece هم باید از آخرین FiO2 مورد استفاده در PSV استفاده کرد (مراجعه به درسنامه مدیریت راه هوایی).

گام چهارم: پس از طی موارد بالا، اکستوباسیون با شروطی قابل انجام خواهد بود: ۱. عدم وابستگی فشار خون بیمار به وازوپرسورها؛ ۲. SBT در محدوده قابل قبول؛ ۳. ABG قابل قبول؛ ۴. کم بودن ترشحات راه هوایی بیمار؛ ۵. وجود رفلکس gag؛ ۶. هوشیاری کامل بیمار. بیمار را در وضعیت نشسته قرار داده و پس از توضیح در مورد اکستوباسیون و ساکشن ترشحات دهان، اقدام به خالی کردن کاف و خروج لوله تراشه نمایید. بهتر است اندکی قبل از خروج مقداری لیدوکائین وریدی (1-1.5 mg/kg) جهت کاهش رفلکس راه هوایی تزریق شود. پس از اکستوباسیون بیمار در وضعیت semi sitting قرار گرفته و ساکشن منظم دهان صورت بگیرد.

گام پنجم: پس از اکستوباسیون پایش مداوم همودینامیک و وضعیت تهویه بیمار ضروریست. حتما ۲۴ الی ۴۸ ساعت بیمار را در ICU نگه داشته و با نظارت دقیق موارد ذکر شده را پایش کنید.

مطالبی که در این مجموعه جمع آوری شده بر اساس متون علمی رشته بیهوشی و مراقبت‌های ویژه و نیز تجربیات شخصی اینجانب است. هدف این مجموعه درگیر شدن کادر درمان در باب تهویه مکانیکی و جرقه‌ای برای مطالعه بیشتر است. امیدوارم با دقت و تلاش بیشتر بتوانیم مراقبت بهتری از بیماران خود انجام دهیم.

خداوند یاور همه ما باشد

۱۴. منابع برای مطالعه بیشتر

1. Eduardo Mireles-Cabodevila, Matthew T Siuba, and Robert L Chatburn. A Taxonomy for Patient-Ventilator Interactions and a Method to Read Ventilator Waveforms. RESPIRATORY CARE ; 2022: 67(1), 129-148.

2. Eduardo Mireles-Cabodevila, Umur Hatipog˘lu, and Robert L Chatburn. A Rational Framework for Selecting Modes of Ventilation. RESPIRATORY CARE FEBRUARY; 2013: 58(2), 348-366.

3. Brian K Walsh and Jonathan B Waugh. Alarm Strategies and Surveillance for Mechanical Ventilation. RESPIRATORY CARE; 2020: 65(6), 820-831.

4. Robert M Kacmarek. The Mechanical Ventilator: Past, Present, and Future. RESPIRATORY CARE; 2011: 56(8), 1170-1180.

5. Michael J. Frazer and Paul N. Lanken. Ventilator Alarm Situations. Anesthesia KeyFastest Anesthesia & Intensive Care & Emergency Medicine. Chapter 47.

6. Benjamin D. Singer, MD and Thomas C. Corbridge. Pressure Modes of Invasive Mechanical Ventilation. Southern Medical Journal; 2011: 104(10), 701-709.

7. Brian K Walsh and Jonathan B Waugh. Alarm Strategies and Surveillance for Mechanical Ventilation. RESPIRATORY CARE; 2020: 65(6), 820-831.

8. Robert M Kacmarek. The Mechanical Ventilator: Past, Present, and Future. RESPIRATORY CARE; 2011: 56(8), 1170-1180.

9. Hamed, Hisham G. Ibrahim, Yehia H. Khater, Ezzat S. Aziz. Ventilation and ventilators in the ICU: What every intensivist must know. Current Anaesthesia & Critical Care; 2006: 17(1–2), 77-83.

10. Lluı´s Blanch, Ana Villagra, Bernat Sales and et.al . Asynchronies during mechanical ventilation are associated with mortality. Intensive Care Med; 2015: 41, 633–641.

11. Stokes J.E, Manzoor S.H and Cvack M.M. Ventilator alarms: Challenges and opportunities improvements. Biomedical and instrumentations technologies; 2017: 390-396.

12. Allon Amitai, MD; Chief Editor: Zab Mosenifar. Ventilator Management. www.medscape.com: Updated: Apr 07, 2020.

13. Maria M. Cvach, Jacqueline E. Stokes and Sajid H. Manzoor. Ventilator Alarms in Intensive Care Units: Frequency, Duration, Priority, and Relationship to Ventilator Parameters. Critical Care and Resuscitation. January 2020 • Volume 130 • Number 1.