٩٠

التخدير
Anesthesiology

Luis Melendez
Massachusetts General Hospital
Boston, MA

Raj Rane
Massachusetts General Hospital
Boston, MA

يتطلب استخدام التجهيزات في التخدير فهماً كبيراً وبالتساوي لكل من المكونات الإكلينيكية والتكنولوجية لهذا العمل وذلك ليتفوق المرء كمهندس إكلينيكي أو فني هندسة طبية حيوية داعمين. يُعَدُّ هذا تمييزاً مهماً يجب أن يواجهه أي شخص عندما يتعامل مع التخدير. تلتقي الفيزيولوجيا والتكنولوجيا حيث لا يمكن فصل الاثنين. فإذا كان المرء يعرف التكنولوجيا بشكل جيد ولكن لديه قدرة أقل على فهم المصطلحات الطبية والتشريح البشري والفيزيولوجيا فسوف يكون لديه صعوبة في اتخاذ القرارات الفعالة لتصحيح مشكلة ما قد تحدث في منتصف عملية جراحية أو لاختيار أفضل تكنولوجيا لاستخدامها في الـ ١٥ عاماً المقبلة. يُخصَّص هذا الفصل بشكل رئيسي للتكنولوجيا الموجودة والقائمة. ولم يناقش هذا الفصل أجهزة المستقبل بالتفصيل، لأنها ستكون محض تكهنات لما يمكن عمله.وتقتصر معظم المناقشات على المبادئ وليس على تفصيل محدد.

يتم تقديم هذا الفصل وتلخيصه بأفضل ما يمكن من خلال تقرير حالة. لقد وقعت أحداث مشابهة لتلك الموصوفة أدناه، وستحدث، في أكثر من مؤسسة. لنفترض أن هناك عملية استبدال لكامل مفصل الورك في غرفة عمليات (OR) حيث تُستخدَم أضواء الأشعة فوق البنفسجية وأنظمة التهوية ذات التدفق الصفائحي لإبقاء معدلات العدوى عند الحد الأدنى. يُطلب من المهندس الإكلينيكي (CE) في منتصف هذه العملية تشخيص سبب تسريب كبير نشأ في دارة التنفس أثناء العملية. إن الأطباء المقيمين والمعالجين قلقين إزاء مسار الأحداث، ويستطيع المهندس الإكلينيكي أن يشعر بالتوتر عند دخول الغرفة. فالإنذارات تقرع ويبدو أن الأطباء سوف يكون لديهم وقت عصيب لتهوية المريض. يشير جهاز المراقبة الفيزيولوجي إلى تشبع أكسجين ضعيف؛ كما يُخبر الجهازُ المهندسَ الإكلينيكي

بأن مخطط ثاني أكسيد الكربون (capnogram) يُظهِر شكل موجة سيئ. كما أن هناك عدداً من الإنذارات التي تومض في جهاز التنفس الاصطناعي. يطلب الطبيب المعالج جهاز تخدير جديد فوراً. يتم إخبار المهندس الإكلينيكي بأن المريض مشلول، وأنهم سوف يستخدمون كيس الآمبو(Ambu) (أي جهاز إنعاش يتم تشغيله يدوياً) بينما يقوم بإخراج الجهاز المُعطَّل من الغرفة.

يريد المهندس الإكلينيكي إجراء بضع تجارب على الجهاز ولكنه قلق من أن طلب الوقت للقيام بذلك سوف يزيد من التوتر. وبما أن المهندس الإكلينيكي يريد حل المشكلة بأسرع ما يمكن فإنه يقوم بما طُلب منه. يخرج المهندس الإكلينيكي بسرعة من الـ OR ويتوقف للعثور على جهاز آخر. في الوقت نفسه يتم فصل المريض عن الجهاز والبدء بالتهوية اليدوية وإعادة ترتيب الأمور في غرفة العمليات بحيث يستطيع المهندس الإكلينيكي دفع الجهاز الكبير إلى الخارج وإدخال آخر في مكانه. يعود المهندس الإكلينيكي ويترك الجهاز الجديد لوهلة خارج الغرفة ريثما يساعد الأطباء في نقل جميع المواد والأدوية من الجهاز الموجود ويفصل مراقبة المريض وخراطيم تغذية الغاز والتوصيلات الكهربائية. يدفع المهندس الإكلينيكي بالجهاز إلى خارج الغرفة (بحرص بحيث لا يلامس الطاولات العقيمة والأغطية الجراحية، وإلا سيكون هناك أشخاص مضطربين أكثر)، ومن ثم يحرِّك الجهاز الجديد إلى الداخل. يتم إعادة وصل الأشياء بقدر كبير من العناية وإعادة وضع كل التفاصيل في مكانها. بعد ذلك يتم تشغيل الجهاز الجديد ومن ثم جهاز التنفس الاصطناعي. لكن المشكلة لا تزال نفسها هنا، حيث لا يمتلئ المنفاخ (bellows) بشكل صحيح حتى عند معدل تدفق غاز جديد بمقدار عشر لترات في الدقيقة. يزداد التوتر، فقد فعل المهندس الإكلينيكي كل ما طُلب منه وليس هناك أي شيء آخر يمكن إن يفكر فيه. يتزايد اضطراب الأطباء أكثر. ويقرر المهندس الإكلينيكي أن الوقت قد حان للمغادرة وأنه لا يريد أن يبقى عثرة في الطريق.

يعود المهندس الإكلينيكي إلى قسم الهندسة الإكلينيكية ويجد زميله في العمل ويناقش معه الحدث الأخير. يُقنِع زميلُ العمل المهندسَ الإكلينيكي بأنه ينبغي أن يذهبا معاً إلى الـ OR. كان الجهاز الأول لا يزال في الردهة حيث قاموا بوصله وفتح أسطوانة الأكسجين. يشير الاختبار السريع لتسريب دارة التنفس والاختبار الوظيفي لجهاز التنفس الاصطناعي إلى عدم وجود أي خطأ في ذلك الجهاز. إن الجميع في الغرفة شبه مهتاجين لأنهم لا يستطيعون تهوية المريض بشكل كاف. يطلب زميل العمل من الأطباء إيقاف عمل جهاز التنفس الاصطناعي وتهوية المريض يدوياً. يجب عليهم استخدام مفتاح التدفق المباشر للأكسجين (oxygen-flush) وذلك فقط للمحافظة على أحجام كافية في دارة التنفس. يلاحظ المهندس الإكلينيكي بأن كيس دارة التنفس ينكمش في الواقع بين الأنفاس، ويستنتج أن هناك إلى حد ما فراغاً يسحب الهواء في دارة التنفس. يعرف المهندس الإكلينيكي أن هناك الآن جهاز طرد غازات فائضة مختلف وموصول بحيث لا يمكن أن يكون هو المشكلة. يتذكّر زميل العمل قطار الشفط الأنفي المعدي (الذي

يُستخدَم لتفريغ محتويات المعدة والمريء)، ويطلب سحب هذا القثطار قليلاً. يسحب الطبيب الأنبوب إلى الخلف، ويعود كل شيء إلى طبيعته. إن المهندس الإكلينيكي مذهول حيث إن الطبيب فقدَ سبب مثل هذا التسريب.

إن البشر يخطئون، والسلامة هي مسؤولية جميع المشاركين. يجب أن يكون هناك فوائض (redundancies) للمساعدة في منع عدد من الأحداث التي من شأنها أن تؤدي إلى نتائج عكسية. لقد كان لعوامل متعددة دور في هذه القضية. إن الرؤية النفقية (tunnel vision)، وانعدام القدرة على فهم تطبيق التكنولوجيا، واتباع الأوامر فقط من دون تفكير أو تواصل، والسعي إلى الانفراد في حل المشكلة، وعدم البحث عن المساعدة من الآخرين، كل ذلك ساهم في إرباك الكادر الإكلينيكي والفني معاً بالإضافة إلى وضع المريض في مخاطرة أكبر، وزيادة الاحتمال لعدوى خطيرة.

ما هو التخدير؟
What Is Anesthesia?

التقييم والخطة قبل العملية Pre-Operative Assessment and Plan

إن التخدير هو أكثر من العمل اليدوي والتكنولوجيا المشتركة في تخليص المرضى من الآلام التي قد تبقى بخلاف ذلك أثناء الجراحة. ولتحديد ما إذا كان المريض على استعداد للخضوع للتخدير، يجب على أطباء التخدير تقدير الحالة الراهنة للمريض بالفحص البدني، وتقييم النتائج المخبرية وغيرها من الاختبارات ذات الصلة (على سبيل المثال، الـ ECG ووظائف الكلى والرئتين) والتاريخ الطبي مع الأخذ بعين الاعتبار التفضيلات الشخصية وحتى المعتقدات الدينية في بعض الأحيان. يجب وضع خطة لإدارة ما قبل العملية. يناقش الطبيب والمريض خيارات ومخاطر التخدير الموضعي والمناطقي والعام، وكذلك الخطط الاحتياطية في حالة وقوع أحداث غير متوقعة. في القيام بذلك، يجب أن يأخذوا في الاعتبار أية مخاطر قد يتعرض لها المريض. إن الطفل حديث الولادة مع وظيفة ضعيفة للرئة، والبالغين الأصحاء، والمرضى المسنين غير المستقرين من ناحية ديناميك الدم يشكلون جميعاً تحديات مختلفة. يجب أن يقرر طبيب التخدير بين أشياء كثيرة، مثل مستوى المراقبة والقثطرة الوريدية (إعطاء السوائل وأخذ عينات غازات الدم) وإدارة مجرى التنفس وذلك من خلال توقع ما يمكن أن يحدث أثناء العملية الجراحية وما هو مستوى الصعوبة التي يمكن أن يشكّلها أي مريض فردي.

فقدان الذاكرة والإحساس Amnesia and Analgesia

إن التخدير هو حالة مُحرَّضة ومُتحكَم بها تجمع بين فقدان الذاكرة وفقدان الإحساس أثناء عمليات الجراحة والتوليد والعلاج والتشخيص. إن الطريقة الأكثر أمناً بشكل عام هي ترك المريض مكتفياً ذاتياً ما أمكن. إن المريض الذي تتم تهويته تلقائياً (تنفس بدون مساعدة) وتحت إدارة سليمة هو بشكل طبيعي في خطر أقل من المريض الذي

يتطلب تهوية ميكانيكية أو مُساعدة. يتم إجراء التخدير الموضعي بالنسبة للعمليات الصغرى، كما هو الحال عند استخدام تخدير الأعصاب المحيطية، بواسطة طبيب تخدير ومراقبته من قبل موظفين أقل تدريباً أثناء العملية. يُعرَف هذا باسم رعاية التخدير المُراقب (MAC) وغالباً ما يتضمن ممرضات ليس لديهن تدريب واسع على التخدير. وبالنسبة للحالات الأكثر جراحية، فإنه يمكن استخدام تخدير النخاع الشوكي وفوق الجافية (تخدير مناطقي)، مجتمعة مع التهدئة، لتنفيذ العديد من العمليات الجراحية، ولكن هناك مخاطر كبيرة متصلة بذلك. كثيراً ما يتطلب التخدير المناطقي توافراً فورياً لموظفين مدربين تدريباً مناسباً وتجهيزات تخدير عام كاحتياط. يمكن أن يُستخدَم تخدير فوق الجافية من أجل الاحتياجات الجراحية وإدارة الألم ما بعد العملية الجراحية.

كثيراً ما تُستخدم التهدئة الواعية في وحدات العناية المركزة. ويمكن استخدامها كوسيلة للحد من حركة المريض والمساعدة في الترويح عن النفس في الأوقات المُجهدة. كما أنها تُستخدَم لتصوير المرضى الأطفال أو الأشخاص الغاضبين. هناك خط ضبابي، ولكن دقيق، (كثيراً ما يُساء فهمه) حيث تنتهي التهدئة الواعية ويبدأ التخدير العام. يميل أطباء التخدير إلى أن يكون لديهم فهم واضح للحدود ولكن الآخرين الذين ليسوا من ذوي الخبرة في الممارسة ربما ليسوا كذلك.

يؤثر التخدير العام (GA) على كامل الجسم، بدلا من منطقة واحدة محددة. يغلق التخدير العام ردود فعل الجسم للتنبيهات الضارة وفي معظم الأحيان أيضاً تنطوي على الشلل. إن الحد الأدنى للتركيز السنخي (مُشار إليه أيضاً باسم MAC) هو الحد الأدنى من مادة التخدير لمنع ٥٠٪ من الناس من الحركة بسبب التنبيهات الضارة (أي شق). بحكم التعريف، فإن MAC واحد ليس كافياً لعلاج المرضى، حيث يستجيب النصف لشق ما. إن قيمة مقدارها ١,٣ MAC تمنع معظم المرضى من الحركة. يتغير الـ MAC الواحد بسبب الأدوية الوريدية واستنشاق المادة. إنه أداة قياس للتوحيد القياسي للمقارنات. على سبيل المثال، يتم إنجاز MAC واحد عند ١,٦٨٪ من الإيثران (ethrane) غير المستقر المخدِّر السائل وعند ١,١٥٪ من الفوران (forane) المخدِّر. بما أن التخدير العام يؤثر على كامل الجسم، فإن هناك فقداناً تاماً للوعي والقدرة على التواصل، مما يتطلب مراقبة فيزيولوجية لتحديد حالة المريض بشكل أفضل. غالباً ما يكون المريض أثناء التخدير العام مشلولاً إلى النقطة التي يكون فيها التحكم المستقل (autonomic control) للحجاب الحاجز متوقفاً، مما يتطلب استخدام التهوية ذات الضغط الموجب (الميكانيكية) والمراقبة ذات الصلة.

الرعاية الحرجة Critical Care

إن العديد من أقسام التخدير عميقة الجذور ومشاركة في العمليات اليومية لوحدات العناية المركزة (ICUs). إن التدريب على التخدير هو أساس متين لإدارة المرضى ذوي الحالة الحرجة (Stoeling and Miller, 1994). إن رعاية

المريض أثناء الجراحة، بطرق كثيرة، مماثلة لتلك في مجالات الرعاية الحرجة الأخرى، ولكن التغييرات تحدث بلغة الدقائق أو الساعات وليس الأيام أو الأسابيع. يجب على أطباء التخدير، بسبب تخصصهم وخبرتهم، أن يعرفوا الإعطاء الوريدي للأدوية الفاعلة بسرعة والسوائل والتحكم بالحجم. تدعو الرعاية الحرجة إلى معرفة متعمقة بالتهوية الميكانيكية وإدارة مجرى التنفس والمراقبة القلبية الوعائية، بما في ذلك خطوط الضغط الجراحي للمرضى غير المستقرين من ناحية ديناميك الدم. إن أطباء التخدير مسؤولون أيضاً عن إنعاش القلب والرئتين (استجابة للكود) في الـ ORs وICUs.

إدارة الألم Pain Management

تُعدّ أقسام التخدير مسؤولة أيضاً عن إدارة الألم أثناء العمليات التشخيصية والعلاجية والتوليدية. تقوم وحدات الألم، التي يتم تشغيلها من قبل أطباء التخدير، في تشخيص وعلاج أعراض مؤلمة عندما يعاني المرضى من حالات مزمنة. وغالباً ما يكون أطباء التخدير موجودين في الطوابق التوليدية، للمساعدة في تقليل الألم المرافق للمخاض والولادة.

وبالأخذ في الاعتبار كل هذا، ينبغي ألا نبالغ في تقدير أطباء التخدير. إنهم ليسوا فوق مستوى البشر، ولن يستطيع أي شخص القيام بجميع هذه التخصصات الدقيقة بشكل ممتاز. وكما يدعم المهندس الإكلينيكي أو فني التجهيزات الطبية الحيوية (BMET) احتياجات قسمه أو كادره، فإنه يساعد على فهم اتساع نطاق مسؤوليات وتوقعات الأطباء ككل.

أين يتم تنفيذ التخدير؟
Where Is Anesthesia Performed?

بدأت غرف العمليات وغرف العلاج وأجنحة التدخل بالأشعة تبدو متشابهة أكثر من أي وقت مضى. تمتزج الوظائف التاريخية للمجالات المختلفة وتخصصات الأطباء، مما يجعل الخطوط الواضحة سابقاً ضبابية تماماً. يجب التخطيط بعناية لتدفق المرضى خلال وحدات الرعاية متعددة الأوجه في المستشفى. إن تحضير ومعافاة مريض جراحي من نوع الرعاية ليوم واحد (بدلاً من مريض من الجراحة العامة) يضع مطالب مختلفة اختلافاً كبيراً على أنظمة الدعم والتوظيف. لا يستطيع المستشفى تحمُّل الاختناقات التي تحدث نتيجة للتأخير غير الضروري في المناطق الجراحية أو مناطق التصوير أو غيرها من مناطق الرعاية العالية.

يُعرب الأطباء والمرضى على حد سواء عن رغبتهم في توفير التخدير في المواقع البعيدة (خارج غرفة العمليات) في المستشفى وذلك لأسباب مختلفة. يشكّل هذا مخاطر كبيرة وتحديات فريدة من نوعها على التخطيط والدعم والتحقيق الفعلي للمطالب. لم تكن هذه المواقع البعيدة في معظم الأحيان مُصمَّمة مع الأخذ في الاعتبار

متطلبات موقع تحذير في المنشأة. تمت مناقشة تفاصيل معايير المرفق في أماكن أخرى من هذا الكتاب المرجعي (انظر Smith et al.، الفصل ٨٩). إن الإمدادات الموثوق بها بالأكسجين والشفط، بالإضافة إلى الطاقة الكهربائية الكافية والإضاءة، هي مكونات رئيسية، وإن عدم وجود أي من هذه المكونات يمكن أن يلغي مناقشة مطوَّلة. إذا تم استيفاء متطلبات المرفق، إلاّ أن المساحة المادية مشكلة، فإن طبيب التخدير والجهاز والإمدادات غالباً ما تكون موضوعة بشكل مزدحم في ركن غير مريح. ومن وجهة نظر المستخدم، فإنهم بعيدون عن المساحة التي كانوا قد اعتادوا عليها. يجب أن يكون الناس أكثر حذراً عندما يكونون خارج مجالهم الطبيعي، حيث اللوازم وغيرها من الأمور ليست حيث من المتوقع أن تكون. الأهم من ذلك هو أن موظفي الدعم غير متاحين فوراً للمساعدة في الحالات الطارئة، كما هو الحال في غرفة العمليات. إن أحد الأمثلة هو ضرورة التصوير لمرضى قسم الأطفال، فالطفل الصغير لا يميل إلى البقاء هادئاً كفاية لتحقيق نتائج ملائمة، ومن ثم هناك حاجة إلى تهدئة. إن لوازم الأطفال لن تكون موجودة عادة في جميع أنحاء المستشفى، ما لم يكن مُخطَطاً لها بصورة مناسبة. يمكن أن تؤدي التأخيرات في شراء مواد الرعاية الحرجة إلى نتائج كارثية.

تطرح الاحتياجات الخاصة للتصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) ومعالجة الأورام بالإشعاع (على سبيل المثال، مسرعات حزمة البروتون) تحديات فريدة من نوعها لجميع المشاركين في استخدامها. والأكثر أهمية هي المغانط والقوى غير المرئية. يتضمن كلا النوعين من التكنولوجيا قوى شديدة لا يمكن رؤيتها، ويمكن أن تنتج أحداث كارثية إذا ما حدثت أخطاء. وهناك حاجة إلى تجهيزات متخصصة للكشف عن حقل الطاقة التي يولّدها كلا النوعين من الأجهزة.

يتطلب التصوير بالرنين المغناطيسي درجة عالية من التجهيزات المتخصصة: (١) يمكن استخدام المواد المغناطيسية غير الحديدية، (٢) تشكّل الـ CRTs مشكلة، (٣) بيئة حساسة للترددات الراديوية (RF)، (٤) أجهزة المراقبة الفيزيولوجية أقل من المثلى، (٥) ببساطة لا يتوفر نفس المستوى من المراقبة، (٦) ينتشر تطبيق التصوير بالرنين المغناطيسي ويتم استخدامه على نحو أكثر تواتراً أثناء الجراحة. تتطلب معالجة الأورام بالإشعاع ترك المرضى المُخدَّرين بأنفسهم، الأمر الذي لا تتقبله الناس بسهوله. يظل أطباء التخدير بحاجة إلى القدرة على مراقبة المريض والجهاز أثناء وجودهم خارج الغرفة

اعتبارات (هموم) السلامة
Safety Concerns

إن الفرق الوحيد والأهم في دعم تكنولوجيا التخدير، كما تم تمييزها عن أي وظيفة أخرى للهندسة الإكلينيكية، هو أن هناك مريضاً حساساً موصولاً إلى تجهيزات داعمة للحياة، ويتم إعطاؤه الأدوية التي تجعله

نسبياً قريباً من الموت. ويدرك أطباء التخدير هذا تماماً. وبشكل عام تزداد مستويات التوتر للناس في غرف العمليات لأن المريض يخضع لنوعين من الإصابة عندما يكون على طاولة الـ OR. فقد عانى من المرض أو الإصابة الأولية التي أتت به إلى الـ OR، ويجب أن يخضع لصدمة العملية الجراحية نفسها. قد يكون من الصعب الاعتقاد بأن المريض في كثير من الأحيان يجب عليه تجريب صدمة إضافية لكي يصبح أفضل.

إن سلامة المريض هي جهد فريق. فليس هناك قسم وحيد يتحمل المسؤولية عن سلامة المريض عموماً. يجب على الجميع تقييم مسؤولياتهم الفردية والبحث عن طرق لوقاية وتحسين بيئتهم، ومنع وقوع الحوادث المؤسفة. إن وضعية المريض هي مثال لمهمة دقيقة وبسيطة نسبياً ولكن في كثير من الأحيان معقدة بسبب عوامل مختلفة بالنسبة لفريق الـ OR، ولقد وقع عدد من الإصابات بسبب الوضعية. يجب أن تأخذ الأقسام المختلفة في الاعتبار احتياجاتها المستقبلية، فيجب أن يكون للجراحين صلاحية الدخول إلى مناطق محددة من أجل تحضيرات التعقيم والجراحة. ويجب على الممرضات التأكد من أن المواد التي هن مسؤولات عنها يمكن الوصول إليها ولا تسبب نقاط ضغط محتملة، بينما يحاول أطباء التخدير تجنب إصابات الأعصاب المحتملة. نظراً لأن المريض فاقد الوعي، فإنه غير قادر على إخبارهم بأن الوضعية غير مريحة، وأن البقاء على هذا النحو لمدة ست ساعات يمكن إن يؤذي.

كثيراً ما تتم مقارنة سلامة التخدير بعملية طيران طائرة. إن معظم المشكلات على الطائرات (ومعظم المخاطر) مرتبطة بالإقلاع والهبوط. وفي التخدير يكافئ هذا إجراء التخدير والإفاقة. إن لدى كليهما أنظمة متعددة تعمل بانسجام تام للحفاظ على الوظيفة. ففي الطائرة، يتم ضخ الوقود بدقة إلى المحركات التي يتم ربطها عن طريق أعضاء هيكلية لجسم الطائرة، مع طاقم يستخدم الترددات الراديوية للاتصالات والنظام العالمي لتحديد المواقع للتحرك بالطائرة من موقع إلى آخر. يتم مزج الأكسجين أثناء التخدير بعناية مع مادة استنشاق مُخدِّرة وتقديمها من خلال دارة تنفس يقودها جهاز تنفس اصطناعي يتحكم به طبيب يشاهد شاشة العرض لمراقبة التغيرات الكهربائية والفيزيائية للمريض الذي لا يمكنه التواصل. فكل شيء يبدو بسيطاً نسبياً ما دامت الأمور تسير على ما يرام.

لسوء الحظ ، فإن الأمور لا تسير دائماً كما يتم التخطيط لها. فهناك عدد من العوامل التي يمكن أن تسهم في أحداث غير مرغوب فيها أثناء التخدير، بما في ذلك الضجيج والتعب والملل (Weinger and Englund, 1990). لقد أظهرت الدراسات أن أطباء التخدير يمكن أن يكونوا خمولين بنسبة ٤٠٪ - ٧٠٪ من الوقت أثناء العملية الجراحية (Drui et al., 1973; Boquet et al., 1980)، الأمر الذي قد يؤثر على انتباههم لمسؤوليتهم الأساسية في مراقبة المريض والعملية والتجهيزات. وعندما يحدث شيء خارج الإطار المعتاد ويأخذ أطباء التخدير بعيداً عن مسارهم المُخطَّط له، فإنه يمكن أن يؤدي إلى لحظات عالية النشاط، حيث يجب إنجاز أشياء كثيرة في وقت قصير ويُحتمل أن تكون في حالة من القلق. وغالباً ما تترافق هذه الفترات بكثافة عالية للمهمات، حيث يعمل الناس بمعدل وسطي أقل على

المهام الفردية مقابل الوقت الذي يقضونه أثناء فترات ذات كثافة أقل للمهام (Herndon et al., 1991). يوجد في كل من الطيران والتخدير فترات تدريب مكثف طويلة وموظفون متعلمون تعليماً عالياً ومَهرَة. يعتمد كل مجال على شخص لديه عبء عمل متغير على نطاق واسع للحفاظ على النظام. لا يحتاج الأمر إلى وقت كثير لإشارة أو إشارتي تحذير إضافيتين يتم إغفالهما كي ينتج عن ذلك متطلبات كبيرة على عاتق الشخص الذي يمسك بزمام التحكم. وبالنسبة للطيار أو طبيب التخدير، فإن اليوم الجيد هو يوم بلا حوادث. فلا أحد يحب المفاجآت غير السارة على متن طائرة أوفي التخدير.

تساعد الأنظمة المُكرَّرة في منع المفاجآت. وتُظهِر الدراسات في مجال صناعة الطيران أن النتائج السلبية كثيراً ما تحدث عندما يقع عدد من الأحداث الصغيرة غير المُكتشفة، بما في ذلك عوامل مختلفة (على سبيل المثال، الخطأ البشري وفشل التجهيزات والحوادث المؤسفة للإمداد) تتراكم في نتيجة غير مرغوب فيها (Billings and Reynard, 1984). يجب أن يكون هناك دائماً موارد إضافية للناس للتحول إلى طلب المساعدة. قد يكون هذا صعباً بالنسبة للبعض، لأنهم قد يشعرون بأن طلب المساعدة يبيّن وجود ضعف وأنهم ينبغي أن يكونوا قادرين على فهم الأمور من تلقاء أنفسهم، خشية النظر إليهم أن قدرتهم غير كاملة. يجب أن تحاول بيئات رعاية المرضى تعزيز بيئة يتم البحث فيها عن مساعدة عندما يكون الشخص غير مرتاح تماماً مع شرط يشكّل خياراً محترماً تماماً وليس سبباً لاتخاذ إجراءات عقابية. يمكن أن تكون الحلول بسيطة نسبياً ولكنها غير مرئية عندما يكون الشخص مُركّزاً اهتمامه على شيء آخر. وقد تكون وجهة نظر أخرى هي كل ما هو مطلوب. كثيراً ما يكون لدى الأطباء ما يكفي ليكونوا قلقين بشأن الحل وربما لا يرونه دائماً؛ ويمكن أن يكون هذا النوع من المسائل أكثر انتشاراً في المؤسسات التعليمية. يستطيع المهندسون الإكلينيكيون دعم الأطباء من خلال فهم المطالب المفروضة عليهم وعلى البيئة الإكلينيكية.

نفذّت صناعة الطيران عملية فحص ما قبل الطيران وذلك للتقليل من احتمال فشل التجهيزات أثناء الاستخدام. وبالمثل فقد وضع أولئك الذين يهتمون بسلامة التخدير توصيات لاختبار جهاز التخدير وفقاً لإدارة الغذاء والدواء (FDA) في الولايات المتحدة (FDA, 1993). وقام فريق من الناس ذوي خلفيات واهتمامات متنوعة بإنشاء إجراء الـ FDA. يستطيع هذا الإجراء الشامل تحديد معظم المشاكل عندما يتم اتباعه بشكل صحيح. وعلى الرغم من أنه إجراء بسيط، فإنه يتطلب من المستخدم معرفة التقنية المناسبة. حيث يمكن ببساطة ارتكاب خطأ (على سبيل المثال، اختبار تسريب الضغط السالب عندما يكون الجهاز قيد التشغيل) ينتج عنه إيجابيات أو سلبيات غير صحيحة. يمكن لمعظم الأشخاص الذين لديهم فهم معقول بجهاز التخدير أن يقوموا بإجراء الاختبار، ويستطيع المهندس أو الفني ذو المعرفة المتعمقة بالعناصر التي يتم اختبارها فعلاً أن يستخدمه كأداة تحديد أعطال مفيدة للتعرف بسهولة على أعطال النظام داخل الجهاز.

لقد استخدمت صناعة الطيران أجهزة المحاكاة لسنوات. ويوسِّع الطب استعمالها لوضع الأطباء في مواقف عصبية دون وضع المرضى في خطر. إن الناس بحاجة إلى دراسة إدارة الأزمات. ويحتاج المرء إلى تصور وفهم كيفية العمل في فريق عندما يواجه حالات صعبة ومرهقة. لا يعمل العقل البشري بعقلانية عندما يكون في حالة من الذعر.

إن سلامة التخدير في المواقع الخارجية جديرة بالملاحظة. ولقد دفع عدد من الأحداث غير المرغوب فيها إلى إعادة النظر في التخدير القائم في العيادات. إن المخاطر المرتبطة مقابل التكلفة هي مثال للتحديات الكثيرة التي تتم مواجهتها في الرعاية الصحية وخصوصاً في المستشفيات التعليمية الكبيرة. وفي محاولة للبقاء في موقع المنافس من حيث السعر مع كامل الصناعة الطبية، يتم حالياً تنفيذ العمليات خارج غرفة العمليات وفي عيادات الأطباء. لا ينبغي لأحد أن يتجاهل الحقيقة بأن هناك أحداث نادرة مع نتائج كارثية محتملة الحدوث. يمكن أن تكون المكونات الرئيسية لوازم بسيطة ومناسبة وكافية، وموظفين إضافيين، وهواتف متاحة. وتعتمد المكونات الأخرى على العملية ومستوى التخدير الذي يتم القيام به. وعلى الرغم من أن بعض العمليات تبدو بسيطة نسبياً، فإن احتياجات التخدير يمكن أن تستدعي وجود جهاز تخدير في جميع الأوقات. إن الحاجة الطارئة للتهوية الميكانيكية للمريض واستخدام المواد الطيَّارة أمر محتمل تماماً. قد لا يتم استخدام هذه الأجهزة بكثرة، ولكنها تخضع لقدر أكبر من التلف لأنه يتم تحريكها بشكل متكرر أكثر من الأجهزة الموجودة في غرفة العمليات.

هناك مخاوف من الإمدادات كذلك. فالتخزين الإضافي ليس متاحاً بسهولة عندما لا يكون المستخدمون في منطقة التموين الرئيسية التي تكون عادة غرفة العمليات. إذا تم تخزين المواد على نحو مختلف، فإن الأشخاص خارج محيطهم الطبيعي، وهذا يؤدي إلى إرباك وصعوبة في تحديد موقع هذه المواد. يمكن أن يكون للتأخيرات في الإمدادات نتائج كارثية كذلك. فإذا لم يكن أنبوب داخل الرغامى الصحيح متاحاً بسهولة، فقد تصبح الدقائق ساعات عندما يكون هناك مشكلة في مجرى التنفس.

البنية التحتية
Infrastructure

وصف Smith et al. احتياجات البنية التحتية للمرافق (انظر الفصل ٨٩). لقد تضمن الكثير من تطور غرفة العمليات تطبيق التخدير وبعض محدداتها التاريخية. إن الأرضيات الناقلة، وغيرها من حمايات تفريغ الشحنة الكهروستاتيكية، والتوصيلات الكهربائية المقاومة للانفجار تم استخدامها بشكل مباشر وغير مباشر بسبب تكنولوجيا التخدير السابقة. هناك نقاش مستمر حالياً حول استمرارية استخدام التغذية بالطاقة المعزولة (IPS) في الأبنية الجديدة. يحقق استخدام قاطعات خطأ الأرضي (GFI) متطلبات الكود للأماكن الرطبة بتكلفة أقل من الطاقة المعزولة. تختار بعض المرافق الاستمرار في الخيار الأكثر تكلفة لأنه لا يقطع التغذية عن المآخذ عند الخطأ الأول. وإذا

تم فهم تطبيق الـ GFIs بشكل سيئ، فإنه يمكن أن تكون خطرة عند استخدام التجهيزات الداعمة للحياة مثل أجهزة التخدير أو المُجاوزة القلبية الرئوية. إن إغلاق جهاز داعم للحياة عندما يقوم شخص بوصل أحد الأجهزة المُعطلة إلى أحد المقابس في الدارة نفسها ليس بالخيار الحكيم.

فيما يلي عدد من الأنظمة الأخرى المطلوبة لدعم الاحتياجات الخاصة بالتخدير:

- نظام وصول فوري إلى صيدلية المستشفى ووسائل لضبط المواد المُخدِّرة مع إنتاجية عالية محتملة للمراكز النشطة.
- وسائل منظمة تنظيماً جيداً لشراء واستلام وتخزين اللوازم وحيدة الاستعمال.
- الخدمات والتوثيق المرتبط بها لإعادة تجهيز وتطهير وتعقيم الأجهزة متعددة الاستخدام.
- تخزين مركزي للتجهيزات التي لا تُستخدَم كل يوم ولكن يجب أن تكون متوفرة.
- منطقة لاختبار ما قبل القبول.
- مكان لإجراء مقابلة واختبار بسيط.

يحتاج المرضى والأطباء إلى التفاعل قبل الجراحة لتقييم الخطة والتخدير.

ويمكن أيضاً القيام بهذا في مناطق الرعاية العامة، إذا كان المريض قد تم قبوله في المستشفى.

توفر غرف التحضير (أو الانتظار) عدداً من المزايا والمساوئ. فهي تتطلب المزيد من حركة المريض وتجهيزات إضافية ولكن يمكنها التقليل من زمن إعادة التنظيم كما يمكنها زيادة الإنتاجية. إنها توفر بشكل رئيسي مكاناً للمساعدة في وضع قثاطر وريدية وتخدير فوق الجافية دون أن يأخذ ذلك وقتاً في غرفة العمليات نفسها. إنها لم تعد غرف تحضير حقيقية، وكذلك لم يعد التخدير يحدث فيها، ولكنها مناطق تحضير مفيدة.

يجب وصل أجهزة التخدير في غرف العمليات إلى البنية التحتية الموجودة لإمدادات الغاز. من المفيد أن يكون هناك توصيلات موحدة قياسياً بحيث يمكن استخدام الأجهزة في أي مكان بالبنية التحتية الملائمة. ربما يكون لفرق التخدير الجراحية الفردية احتياجات مختلفة وتفضيلات بالنسبة لتخطيط الجهاز والمراقبة، وذلك اعتماداً على الخدمة الجراحية التي تدعمها هذه الفرق. هناك أيضاً مواقع متخصصة مثل معالجة الأورام بالإشعاع والتصوير بالرنين المغناطيسي تتطلب أن يكون الجهاز مُصمَّماً خصيصاً لتلبية احتياجاتها.

لقد وضعت وحدات العناية بعد التخدير (PACUs) متطلبات الموظفين الإكلينيكيين لمرضى الطوارئ (ASA, 1994). يمكن أن يكون المرضى غير مستقرين؛ وهكذا يجب أن تتوفر رعاية حرجة فورية، وتدبير علاجي لمجرى التنفس، ومن المحتمل جهاز تخدير. يتفاوت حجم عمل الـ PACUs. ففي إحدى اللحظات، يمكن استخدام المكان بشكل رئيسي للانتظار لما قبل العملية؛ وفي أوقات أخرى، يمكن أن تكون الأمور هادئة نسبياً. بعد ذلك،

وفجأة، تنتهي ثلاث أو أربع عمليات دفعة واحدة. إن الـ PACU هي وحدة عناية مركزة، ويجب أن يكون لديها متطلبات مراقبة مماثلة مع إنذارات مركزية. يجب تجهيزها بمتطلبات مختلفة فيما يتعلق بالنقالات المُستخدمة في نقل المرضى.

أدوات إدارة مجرى التنفس
Airway Management Tools

إن إحدى أهم المهام الحرجة في رعاية المريض الذي تتم تهويته هي تأمين مجرى تنفس. إذا لم يكن هناك وسائل موثوقة لإدخال الغازات إلى الرئتين وإخراجها منها، فإن إنعاشاً قلبياً يلي توقف التنفس. ومن بين العديد من الأدوات المتاحة لأطباء التخدير، ليس هناك ما هو أكثر أهمية من الشفط بالنسبة لإدارة مجرى التنفس. تُعدُّ المصادر الموثوقة والكافية للأكسجين والشفط حيوية. ولا يمكن للتخدير أن يتم بأمان بدونهما معاً. إن قثاطر Yankaur هي الأجهزة الأكثر شيوعاً المُستخدَمة لشفط المجاري الهوائية. وتُستخدَم الأنابيب الأنفية المعوية لتفريغ محتويات المعدة التي يمكن بخلاف ذلك أن تتداخل مع مجرى التنفس.

ربما يكون الجهاز المألوف لدى معظم الناس هو قناع الوجه. إن الأقنعة هي أجهزة بسيطة نسبياً تأتي في أحجام عديدة، سواء التي تُستخدم لمرة واحدة أو القابلة لإعادة الاستخدام. ويمكنها أن تسرِّب إذا كانت غير مجهزة بشكل صحيح، كما تتطلب يداً أو حمالة لتثبيتها في مكانها. وأكبر سيئة فيها هي أنها لا تمنع الشفط المحتمل لمحتويات المعدة. فهي ليست الخيار الأفضل للحالات الطويلة ويمكن أن يسبب الضغط الزائد الأذى الجسدي للمريض.

إن استخدام أية أداة أخرى لإدارة مجرى التنفس يتطلب رؤية مباشرة بمنظار الحنجرة. هناك تصنيفات قياسية لمجرى التنفس تعتمد على تشريح المريض. تتوفر مناظير الحنجرة بأشكال مختلفة لتلبيةٍ أفضل لاحتياجات التشريح المختلف لمجرى التنفس. إن الشفرات الشائعة التي تُستخدَم للحصول على رؤية مباشرة للحبال الصوتية هي المستقيمة (Jackson-Wisconsin)، أو المستقيمة مع الرأس المنحني (Miller)، أو المنحنية (Macintosh). وعندما يكون التشريح أو إصابة المريض مثل الحالة التي يكون فيها استخدم منظار الحنجرة صعباً أو مستحيلاً، فإنه يتم استخدام منظار ذي ألياف بصرية للمساعدة في تنبيب المريض. إن الخدمتين اللتين غالباً ما تتطلبان هذه الأدوات هما جراحة الصدر والجراحة التجميلية. تستخدم فرق جراحة الصدر المناظير ذات الألياف البصرية لتصوير مجاري التنفس بسهولة أكبر، وتقييم موضع الأنبوب، وشفط الإفرازات. تتطلب الجراحة التجميلية الترميمية استخدام المناظير ذات الألياف البصرية، لأن نسبة كبيرة من هؤلاء المرضى لديهم تشوهات أو صدمات غيَّرت شكل التشريح الطبيعي. يمكن أن تساعد أجهزة الفيديو في تدريس استخدام هذه المناظير على نحو ملائم من خلال تمكين شخصين من مشاهدة نفس الصورة في آن واحد.

إن أنابيب داخل الرغامى (ET) هي أكثر العناصر المُستخدَمة عموماً للحفاظ على مجرى التنفس. فهي متوفرة في أحجام عديدة وفي أشكال مُكَفَّفة (cuffed) (الشكل رقم ٩٠,١) وغير مُكَفَّفة، مع العلم أن الأنابيب المُكَفَّفة هي أكثر شيوعاً. تحتوي هذه الأنابيب على جزء خارجي يشبه البالون عند الرأس البعيد للأنبوب. ينتفخ هذا البالون حتى يغطي الجدران الداخلية للرغامى لمنع تسريب واستنشاق محتويات المعدة أو الإفرازات الأخرى. تُستخدَم هذه الأنابيب دائماً تقريباً مع البالغين، وتسبب مشاكل محتملة أخرى إذا تم تنبيب المريض لفترات أكثر من ٤٨ ساعة. لا تضع الأنابيب غير المُكَفَّفة ضغطاً على باطن الرغامى الذي يمكن أن يكون أكثر إثارة للمشاكل مع المرضى الأطفال ولكن يمكن أن يساهم في تسرب الهواء. إن المشكلة الأكثر تكراراً والمرتبطة بالتنبيب هي التهاب الحلق نتيجة الضغوط التي يتم تطبيقها على الغشاء المخاطي الداخلي للرغامى. هناك أنابيب ET متخصصة ذات تجويفين تُستخدَم في معظم الأحيان خلال جراحة الرئة، مما يمكّن من تهوية رئة واحدة أوكليهما. نظراً لأن هذه الأنابيب تقع في المنطقة الجراحية القريبة، فإنها تخضع لقدر كبير من القوى الخارجية وغالباً ما تكون معززة. هناك خيار آخر هو القناع الحنجري لمجرى التنفس (LMA) (laryngeal mask airway). إن استخدامه محدود على ضغوط تهوية بحوالي ٢٠ سم ماء وذلك بسبب تصميمه المُحكم الإغلاق، كما أنه لا يمنع شفط محتويات المعدة. إن الـ LMA أكثر فعالية في البيئات التي تكون فيها العملية الجراحية قصيرة عادة، وهو أداة مفيدة لتلبية الاحتياجات الطارئة.

الشكل رقم (٩٠,١). أنبوب مُكَفَّف لتنبيب داخل الرُّغامى.

إن الخدمات التي تشكل تحديات فريدة من نوعها هي جراحة الأطفال والفم. إن صغر حجم الأطفال قد يجعل المهام أكثر تحدياً. يمكن أن يكون طرد الغازات الفائضة في جراحة الفم أمراً صعباً لأن الجراحة تجري في المنطقة المجاورة لتدفق الغازات.

أجهزة التخدير
Anesthesia Machines

تتكون أجهزة التخدير (انظر الشكل رقم ٩٠.٢) من عدد من الأنظمة يتم تجميعها في جهاز واحد. وهناك معايير وضعتها الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM) (ASTM, 1989) بالنسبة لكثير من التجميعات الثانوية المُستخدمة في الأجهزة أوعليها. يمكن تقسيم أنظمتها الرئيسية إلى نظام إعطاء الغاز (كثيراً ما يشار إليه على أنه "الجهاز" في حد ذاته)، والمبخِّر (المبخرات)، ودارة التنفس، وجهاز التنفس الاصطناعي (بما في ذلك المراقبة ذات الصلة) وأجهزة المراقبة الفيزيولوجية ومراقبة CO_2 والمواد. إن معياراً واحداً لا يغطي جميع جوانب الجهاز ؛ على سبيل المثال، هناك معايير للجهاز، وجهاز التنفس الاصطناعي، وجهاز مراقبة الأكسجين، ودارة التنفس. ولسوء الحظ، يمكن أن تكون هذه الأجهزة غامضة ويتم تفسيرها بطرق مختلفة، مما يجعلها نوعاً ما صعبة القراءة والفهم.

الشكل رقم (٩٠,٢). جهاز التخدير.

إمدادات الغاز Gas Supplies

إن الوظيفة الرئيسية للجهاز هي تخفيض ضغوط خط إمداد الغاز ومزج عدد من الغازات (عادة ما تكون الأكسجين وأكسيد النيتروجين والهواء)، وتقديم خرج مُتحكم به إلى دارة التنفس. تُغذّي إمدادات الغاز الرئيسية الجهاز بضغط ٥٠ باوناً على الإنش المربع (psi). ويفتح صمام تحرير ضغط عندما تزيد قيمة الضغط عن ٧٥ باوناً على الإنش المربع في حالة فشل نظام البنية التحتية. يحتاج الفنيون والمهندسون إلى معرفة عدد من وحدات قياس الضغط. إن الوحدات الأكثر شيوعاً هي: باوند على الإنش المربع (psi)، وميلي متر زئبقي(mmHg)، وسنتمتر ماء (cmH2o). والمكافئ التقريبي هو أن باوناً واحداً على الإنش المربع يساوي حوالي ٥٠ ميلي متر زئبقي، وحوالي ٧٠ سنتمتر ماء. يحتاج جهاز التخدير، في نفس وحدات القياس، إلى تغذيته بضغط ٣٥٠٠ سنتمتر ماء من أجل خفض الغازات والتحكم بها بشكل آمن ومن ثم تغذيتها إلى دارة التنفس التي تعمل بشكل طبيعي عند حوالي ٣٥ سنتمتر ماء. وبعبارة أخرى، فإن ضغوط التغذية الرئيسية تساوي ١٠٠ ضعف من ضغط دارة التنفس. يتم تركيب الأجهزة مع جهة للضغط العالي وجهة للضغط المنخفض. إن جهة الضغط العالي هي التغذية الرئيسية بشكل أساسي، أما جهة الضغط المنخفض فهي أي جزء يعمل بالقرب من ضغط دارة التنفس.

هناك عدد من البنود غير المتوافقة من حيث التصميم في أجهزة التخدير. تتوفر وصلات خط أنابيب تغذية الغاز في أشكال مختلفة قليلاً. إن نظام السلامة ذا دالة القطر (DISS) هو شكل مشترك. تختلف خطوط الأنابيب والأقطار الداخلية لمنع التوصيلات غير المقصودة إلى التغذية الخاطئة. تستخدم جميع الأجهزة عملياً أسطوانات من القياس E كتغذية احتياطية. يُعدُّ الأكسجين الاحتياطي أمراً حيوياً لسلامة المرضى ويجب أن يكون متاحاً دائماً. تستخدم الأسطوانات نظام السلامة ذي دالة الوتد (PISS) لمنع التوصيلات الخاطئة. يتم وصل ثقوب الأسطوانات بالأوتاد (pin) في الروابط (Yoke) على جهاز التخدير. يتم تثبيت موقع وتد واحد من أجل إعطاء غازات التخدير (الأكسجين وأكسيد النيتروجين والهواء)، ويختلف الآخر اعتماداً على نوع الغاز. إن إحدى نقاط الضعف الكامنة في هذا النظام هي أنه إذا تم سحب الوتد الخاطئ أو كسره، فإنه يمكن أن يؤدي إلى خطأ في التوصيل.

نظام الكشف عن ضغط الأكسجين وتوزيعه Oxygen Pressure Detecting System and Distribution

للكشف عن وجود ضغط الأكسجين هناك صمام مُتحكم به بالضغط، مغلق في الحالة الطبيعية، يُسمّى صمام "الفشل الآمن"، يهدف إلى حماية المريض من المزيج ذي الأكسجين الناقص. تكمن وظيفته في قطع الغازات الثانوية والأساسية في حالة فقدان الأكسجين. إن الاسم مغلوط لأن الجهاز يفشل. وهذا الصمام غير فعال عندما يتم تقديم الغازات الأخرى في أنبوب الأكسجين أو عندما تكون صمامات التحكم بالتدفق أو أنظمة تشابك المزيج ذي الأكسجين الناقص خارج مجال الضبط. تضم الأجهزة أيضاً إنذاراً يتحسس بالضغط يعمل عندما ينخفض ضغط التغذية إلى ما دون عتبة محددة لإبلاغ المستخدم للقيام بعملٍ مراوغ (مثلاً، تشغيل أسطوانة التغذية).

يتم وصل تغذية أنبوب الأكسجين إلى ما لا يقل عن خمسة مواقع عند ضغط كامل داخل الجهاز. يكون صمام التدفق المباشر للأكسجين دائماً فعالاً وقادراً على إعطاء ٥٠-٦٥ لتراً في الدقيقة. ويتضمن هذا الصمام تحرير ضغط السلامة عند حوالي ١٢٠ ميلي متر زئبقي لحالات الفشل الكارثية الذي يتجاوز بكثير ضغوط دارة التنفس الطبيعي. يشكّل صمام التدفق المباشر خطراً على المريض في يد المستخدم الذي يجهل استعماله. إن تفعيل التدفق المباشر لثانية واحدة سيزيد من الحجم المدّي المُقدَّم بحدود لتر واحد، وهو ما يكفي بسهولة لإحداث إصابة ضغطية للمريض الحساس. تتطلب إنذارات التحسس بالضغط والفشل الآمن، على النحو الموصوف آنفاً، إلى خط ضغط لتعمل بشكل صحيح. تغذّي مقاييس التدفق بالاشتراك مع صمامات التحكم بتدفق الأكسجين للمريض من خلال المبخِّر (المبخرات) ودارة التنفس. وهي واجهات الربط بين جهتي الضغط العالي والمنخفض للجهاز. تحتاج أجهزة التنفس الاصطناعي إلى غاز تشغيل، وقد اتفقت الولايات المتحدة على استخدام الأكسجين، ولكن قد تستخدم الأجزاء الأخرى من العالم الهواء. يتم تغذية مقياس تدفق مساعد ومنافذ أخرى للطاقة من توصيلات مُلحَقَة.

يحتوي جهاز التخدير على اثنين من المحددات لمعدل تدفق الأكسجين الأدنى. أحدهما مُثبَّت وموضوع على الحد الأدنى المطلق القابل للإعطاء، في حين أن الآخر يختلف بالنسبة إلى وضع معدل تدفق أكسيد النيتروجين. إن معظم الأجهزة مُصمَّمة من أجل حد أدنى قيمته ٢٠٠ ميلي لتر، ولكن البعض منها ينخفض إلى ٥٠ ميلي لتر. يهدف هذا إلى التقليل من احتمال وجود مزيج ذو أكسجين ناقص لأنه تتم التغذية دائماً بالحد الأدنى من متطلبات امتصاص المريض. يقوم الشخص المتوسط البالغ باستقلاب حوالي ٢-٣٠٠ ميلي لتر/دقيقة من الأكسجين.

يرتبط التحكم بتدفق أكسيد النيتروجين بشكل مباشر أو غير مباشر بتدفق الأكسجين، ويمنع إعطاء مزيج ذي أكسجين ناقص أيضاً. ويضع هذا تكاليف تركيب وتعقيد كبيرين مرتبطين بذلك. عندما تتطور التكنولوجيا والممارسة، فإن الناس يتساءلون عن الاستخدام طويل الأجل لأكسيد النيتروجين وعما إذا كان ينبغي أن يظل متاحاً في جميع الأجهزة. وللتعويض عن التغيرات المحتملة في ضغوط التغذية التي يمكن أن تغيّر إعدادات التدفق من جهاز إلى آخر موصول إلى خط التغذية المشترك، يستخدم بعض المُصنِّعين تخفيض الضغط على مرحلتين للتقليل من آثار تلك التغيرات إلى الحد الأدنى.

مزج الغازات
Gas Mixing

تستخدم الأجهزة المُركَّبة بشكل تقليدي (الميكانيكية) صماماً إبرياً متحداً مع مقياس جريان دوَّار (rotameter) لكل غاز تغذية للتحكم بالتدفق. وتغذي جميع مقاييس الجريان الدوَّارة الخرج المشترك، ومن ثم تنظّم مكونات

الغاز المُقدَّم إلى المبخِّر. وبعد المزج مع مادة الاستنشاق المُقدَّمة عن طريق المبخِّر، يُسمّى المزيج المتحد "تدفق الغاز الجديد" (FGF)، ويُقدَّم إلى المنفذ العام للغاز. يتضمن بعض الأجهزة الإلكترونية إعدادات لإجمالي تدفق الغاز ونسبة الأكسجين التي تتحكم في معدلات تدفق الغاز على نحو مستقل.

هناك صمام اختبار مُركَّب ضمن مأخذ الغاز المشترك على أجهزة Datex-Ohmeda لمنع ضغوط دارة التنفس من العودة والضغط على المبخِّر. يتطلب هذا الصمام ضغطاً سلبياً لكي يفتح وينجز بشكل صحيح اختبار تسريب في نظام الضغط المنخفض. إذا تم تنفيذ اختبار ضغط موجب، فإن هذا الصمام لن يفتح، ولن يتم اختبار الجهاز بشكل صحيح. ولا يوجد في أجهزة Drager صمام الاختبار هذا.

تصميم المكان والجهاز Machine and Space Layout

يتكون الكثير من الأجهزة ببساطة من رف، وبشكل أساسي من مكان مناسب لتخزين تجهيزات المراقبة واللوازم المطلوبة عند تنفيذ التخدير. يشكّل سطح العمل وسطح الطاولة موقعاً مهماً لوضع الأدوية وغيرها من المواد اللازمة ضمن متناول أيدي الطبيب. وهناك أيضاً خزانة ذات أدراج لتخزين اللوازم وغيرها من المواد اللازمة للاستخدام مع هذا الجهاز.

يقوم الناس بتعديل ترتيب أي شيء تقريباً يستخدمونه بشكل منتظم. يصبح الناس متعودين على ما لديهم، ويكبرون ليحبّوا المكان الموضوعة فيه الأشياء. إذا تغيرت الأمور التي يرتبط معها الشخص بشكل جذري، فإن ذلك يؤثر على مستوى راحة الشخص. يمكن أن يرتكب المرء الأخطاء من خلال تشغيل الزر الخطأ، مما يؤدي إلى ارتباك إضافي بسبب طقوس وعادات البحث عن الأشياء في مكان واحد. كما أن للثبات، وخصوصاً في المؤسسات الكبيرة، مزاياه الحسنة وعيوبه.

يمكن لتخطيط المساحة المادية والطريقة التي يتم بها وضع الجهاز في الغرفة أن يكون مهماً. إذا كان المستخدِم مرغماً، بسبب التوجيه المحرِج للجهاز، على استخدام يده اليمنى لتثبيت القناع، ويده اليسرى للتهوية اليدوية، فإنه من الصعب جداً التكيف مع هذا الوضع. وللمساعدة في فهم هذا، لا يحتاج المرء إلا لمحاولة تنظيف الأسنان بالفرشاة باليد غير المتعود عليها. يمكن القيام بذلك، ولكن هل يرغب المرء في أن تكون حياة شخص في يد شخص عندما يفعل ذلك للمرات القليلة الأولى؟ يؤثر توجيه المريض على الوصول إلى أنبوب داخل الرغامى وسهولة تفقد القثاطر الوريدية والمساري والإلكترودات الكهربائية. ويمكن للمريض أن يكون مُحضَّراً ومُغطى بالأغطية الجراحية بحيث يكون من الصعب جداً الوصول إلى أي شيء تقريباً.

المبخرات
Vaporizers

تضيف المبخرات (الشكل رقم ٩٠,٣) وتتحكم بتركيز مادة الاستنشاق المُخدِّرة الطيَّارة في الغاز المُقدَّم إلى منفذ الغاز المشترك للجهاز. ومن أجل فهم الطريقة التي يعمل فيها المُبخِّر، يجب أن يكون القارئ أولاً على دراية ببعض شروط ومبادئ ديناميك السوائل. إن السائل هو أي شيء (سائل وغاز أوكليهما) يأخذ شكل الوعاء الموضوع فيه. إن للمواد ثلاث مراحل: غازية وسائلة وصلبة. إن البخار هو المرحلة الغازية من السائل عند درجة حرارة الغرفة والضغط الجوي. إن الضغط والحجم ودرجة الحرارة ذات صلة بهذه الحالات. يكون الغاز مشبعاً تماماً عندما يحتوي على الكمية العظمى من البخار المحتمل دون التحول إلى الحالة السائلة. إذا تم مزج اثنين أو أكثر من الغازات في حاوية واحدة، فإن الضغط المُطبَّق يتألف من مجموع الضغوط الجزئية التي تم أنشاؤها بواسطة كل غاز على حدة.

الشكل رقم (٩٠,٣). المبخر.

الضغط الجزئي Partial Pressure

هناك حاجة إلى فهم الضغط الجزئي، لدعم تكنولوجيا التخدير بشكل فعال. إن الضغوط الجزئية هي قياس مُطلق يحدد العدد الكلي للجزيئات حيث تُؤخذ النسب المئوية لمجموع مزيج الغاز. يُستخدم الضغط الجزئي ويُطبَّق في عدد من التكنولوجيات ضمن التخدير (على سبيل المثال، التبخير والتهوية ومراقبة غازات التنفس). إن الهواء الجاف (مقابل الرطب) هو أحد الأمثلة للمساعدة في توضيح هذا التعبير. يتكون الهواء من ٢١٪ من الأكسجين. وما تبقى هو في الغالب النيتروجين والغازات القليلة المقدار (مهملة الضغط الجزئي بالنسبة لهذا المثال). يبلغ الضغط الجوي ٧٦٠ ميلي متر زئبقي تقريباً. وفي يوم حار وجاف (٩٨ درجة فهرنهايت أو٣٧ درجة مئوية) ورطوبة نسبية تساوي صفراً بالمائة، فإن ضغط الأكسجين الجزئي هو٢١٪ من ٧٦٠ (٧٦٠×٠,٢١)، أو١٥٩,٦ ميلي متر زئبقي يجب أن يكون الضغط المتبقي من النيتروجين (٧٦٠-١٥٩,٦)، أو٦٠٠,٤ ميلي متر زئبقي. بعد ذلك، وفي اليوم التالي، تبقى درجة الحرارة والضغط الجوي نفسهما كما في اليوم السابق، ولكن الرطوبة النسبية ١٠٠٪ (الهواء مشبع تماما ببخار الماء، ولا يمكن أن يحتوي أكثر من دون أن يمطر). إن ضغط البخار المُشبع بالماء هو٤٧ ميلي متر زئبقي عند ٣٧ درجة مئوية. يحتوي الضغط الجوي في اليوم الثاني على ثلاثة غازات (النيتروجين والأكسجين وبخار الماء). يبقى تركيز الأكسجين ثابتاً عند ٢١٪ ولكن ضغطه الجزئي تابع للغازات الثلاثة [٠,٢١×(٧٦٠-٤٧)] أو١٤٩,٧ ميلي متر زئبقي. إن الضغط الجزئي للنيتروجين هو٠,٧٩×(٧٦٠-٤٧) ميلي متر زئبقي أو٥٦٣,٣ ميلي متر زئبقي.

تُصنَع المبخرات الحديثة وفقاً لمادة تخدير محددة وذلك لأن مواد الاستنشاق الطيَّارة لديها ضغوط جزئية مختلفة تؤثر على تركيز الخرج. إن أكثر المواد المُخدِّرة شيوعاً والمستخدمة حالياً هي فوران (forane) وأولتان (ultane) وسوبران (suprane) (الأسماء التجارية للمُصنِّع إيزوفلوران (isoflurane) وسيفوفلوران (sevoflurane) وديسفلوران (desflurane). تتوفر المبخرات إما على شكل مبخرات تُعبأ عبر قمع أو عبر مفتاح مرمَّز. يمكن أن تكون المبخرات التي تُعبأ عبر قمع أكثر ملاءمة وتقلل من إمكانية إغلاق البخار عند الامتلاء، ولكنها عرضة لملئها بمادة التخدير الخاطئة. إن المبخرات التي تُعبأ عبر مفتاح مرمَّز هي أكثر تعقيداً وتتطلب استخدام مرشِّح، لكنها تتخلص فعلياً من إمكانية انتقال التلوث لأن المادة لا تُصَب مباشرة في المبخر كما هو في حالة الوحدات التي تُعبأ عبر قمع.

مبادئ التشغيل
Operation Principles

الجريان الجانبي Side-Stream

يتدفق جميع الغاز الممزوج من خلال الجزء الداخلي لمبخر ذي جريان جانبي. يتضمن الجريان الرئيسي لهذا الغاز (عندما يتدفق من خلال المبخر فإنه يُعرف أيضاً باسم "الغاز الحامل") جزء مُحوَّل إلى مجموعة الفتيل/الحوض.

يتم التحكم بكمية تدفق هذا الجريان الجانبي المُحوَّل إلى مجموعة الفتيل من خلال ضبط مفتاح خرج المبخر. وكلما كان ضبط الخرج أعلى، كانت الكمية المُحوَّلة أكبر. يصبح تدفق الجريان الجانبي هذا مُشبعاً تماماً بالبخار المُخدِّر في مجموعة الفتيل ومن ثم يعود إلى الجريان الرئيسي متحكماً في خرج تركيز المادة في تدفق الغاز الجديد.

هناك مبدءان فيزيائيان يبرِّدان هذا النوع من المبخرات، يتطلبان تعويضاً لدرجات الحرارة. يقوم كل من الحمل الحراري القسري (تدفق الغاز) والحرارة الكامنة للتبخير (الطاقة اللازمة لتبخير السائل) بتبريد المبخر أثناء استخدامه. يقلِّل التبريد ومادة التخدير من الضغط الجزئي للمبخر، وهذا بدوره يقلِّل من خرجه. وللتعويض عن هذا التبريد يتضمن المبخر مُحوِّلاً حساساً لدرجة الحرارة ثنائي المعدن يضبط كمية التدفق المُقدَّمة للجريان الجانبي من الغاز الحامل الرئيسي. عندما تنخفض درجة الحرارة، يزداد الجريان الجانبي للغاز للحفاظ على خرج مستمر على مجال درجة الحرارة المتغيرة أثناء التشغيل العادي. إن مبخرات الجريان الجانبي، البسيطة نسبياً من حيث التصميم، هي الأكثر استخداماً بشكل عام ومتاحة بالنسبة لجميع مواد التخدير المُستخدمة حالياً، باستثناء مادة الـ Suprane.

الحقن بالجريان الرئيسي Mainstream Injection

إن الـ Suprane هو مادة تخدير طيَّارة ذات ضغط جزئي عالٍ يجعل من الصعب إعطاءها بواسطة المبخر التقليدي ذي الجريان الجانبي. ويمكن إعطاؤها فقط باستخدام مبخر الحقن ذي الجريان الرئيسي. يتم تسخين مبخرات الـ Suprane وضغطها للتحكم على نحو أكثر دقة بالبيئة التي يتم حفظه فيها عند استعماله. تتحكم مبخرات الجريان الرئيسي بالخرج من خلال حقن كميات مُحددة من التخدير مباشرة إلى المجرى الرئيسي لحامل الغاز.

قد تتضمن أجهزة المستقبل تصميمات جديدة تكون ذات صلة وثيقة أكثر بمبخرات الجريان الرئيسي من أجل مواد تخدير أخرى. ويُستخدَم المبخر أيضاً في آلات القلب-الرئة للتحكم بمادة التخدير المُقدَّمة من خلال المؤكسِّج أثناء جراحة المجاوزة القلبية الرئوية.

دارات التنفس
Breathing Circuits

إن دارات التنفس هي بمثابة واجهة الربط بين المريض والجهاز. وهناك حاجة إلى واجهة ربط بين الشخص وجهاز التخدير لأن الناس يتنفسون في تدفق حجمي ودورات ضغط وأجهزة التخدير تعطي جرياناً أحادي الاتجاه للغاز (عند تركيز أكسجين محدد ومادة مُخدِّرة مُتحكم بها). تحوِّل دارات التنفس الخرج الثابت لغاز الجهاز إلى دورة ضغط وتدفق ثابتة مع دورة تنفس الإنسان.

وبالمطابقة مع قانون الغاز المثالي، $PV=nRT$، للحفاظ على ضغط ثابت لخط الأساس، يجب على المرء أيضاً الحفاظ على حجم ثابت لخط الأساس. إذا كان هناك حجم زائد (أو متنامٍ) في نظام مغلق، فإن الضغط سوف يزداد.

يُقاس ضغط خط الأساس للتنفس عند نهاية الزفير المَدِّي عندما لا يبقى هناك تدفق كبير. يُعرف هذا القياس باسم "الضغط الموجب بنهاية الزفير المَدِّي" (PEEP). وهناك مؤشر تهوية ثاني هو "ضغط ذروة الشهيق" (PIP)، وهو الضغط الأعظمي الذي يتم الحصول عليه أثناء دورة الشهيق.

عندما يكون المريض مشلولاً لدرجة أنه لم يعد بالإمكان تهويته تلقائياً، تُستخدَم التهوية بالضغط الموجب. يتضمن هذا إعطاء أحجام مدِّية مضغوطة من الغاز إلى رئتي المريض من أجل امتصاص الأكسجين داعماً عملية الاستقلاب المطلوبة لدى المريض. إن لدى خرج غاز جهاز التخدير في ظل الظروف العادية (أي بدون تسريب)، مكانين ليذهب إليهما: الامتصاص من قبل المريض أو نظام طرد الغازات الخاص بالجهاز.

إن الأنابيب وأشكالها بالنسبة إلى المريض هي عنصر رئيسي لدارات التنفس. تعتمد بعض دارات التنفس على معدلات تدفق عالية للغاز الجديد لمنع إعادة تنفس غازات التنفس بينما تتضمن الأخرى مواد ماصَّة لجعل ثاني أكسيد الكربون المطروح في الزفير حيادياً. إن مناقشة مستفيضة لجميع خيارات دارات التنفس (المفتوحة وشبه المفتوحة وشبه المغلقة والمغلقة) هي كبيرة جداً بالنسبة لهذا النص. ويتم فيما يلي وصف الدارتين الأكثر استخداماً عموماً في الولايات المتحدة وهما: دارة باين (Bain) والنظام الدائري.

دارة Bain Bain Circuit

إن دارة Bain هي دارة تنفس شبه مفتوحة لا تعيد تدوير غازات التنفس وتعتمد على معدلات تدفق عالية للغاز الجديد لمنع إعادة التنفس. تُستخدَم هذه الدارة في أغلب الأحيان للأطفال حديثي الولادة والتطبيقات الصدرية. إن مزاياها العظيمة هي أنها تُنشئ مساحة صغيرة ميتة وهي خفيفة الوزن ويمكن طرد الغازات منها بسهولة. أما أهم عيوب هذه الدارة فهي أنها تتطلب تدفقاً عالياً للغاز الجديد (إعطاء غازات باردة وجافة للمريض) ويمكن أن تكون باهظة التكلفة مع مواد طيَّارة مكلفة.

النظام الدائري Circle System

إن الدارة الأكثر شيوعاً بكل تأكيد هي النظام الدائري، حيث تتحرك غازات التنفس من خلال علبة تتضمن صمامات أحادية الاتجاه لإعادة تدوير الغازات والتقليل من الفائض إلى الحد الأدنى وزيادة الدفء والرطوبة إلى أقصى حد في الدارة. إن أكبر عيب في هذا النظام هو مستوى تعقيده. ومع ذلك، فإن جميع أجهزة التخدير تقريباً مُصمَّمة لتعمل مع النظام الدائري.

أجهزة امتصاص ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide Absorbers

تتطلب إعادة تدوير غازات دارة التنفس إزالة ثاني أكسيد الكربون (CO_2) من زفير المريض لمنع فرط ثاني أكسيد الكربون في الدم. ويتم إنجاز هذا بواسطة مادة ماصَّة لـ CO_2 موضوعة في علبة تُدعى "جهاز الامتصاص".

يجب أن يسمح جهاز امتصاص دارة التنفس باستخدام كل من التهوية الآلية (جهاز التنفس الاصطناعي) والتهوية اليدوية (كيس دارة التنفس). إن معظم أجهزة الامتصاص الحالية هي عبارة عن تجميعات فرعية ذاتية الوقوف يتم ربطها إلى الوظائف ذات الصلة بجهاز التخدير. إنها وحدة مستقلة (modular) ويمكن استبدالها بسهولة إذا لزم الأمر. وهي الاتحاد بين المريض والجهاز وتوجد حيث تمتزج غازات التنفس مع تدفق الغازات الجديدة من الجهاز. يُقاس تركيز الأكسجين المُقدَّم في فرع الشهيق لجهاز الامتصاص الموجود بجانب المريض تقريباً وفي مكان آمن نسبياً بحيث يكون من غير المحتمل إلحاق الضرر به أو فصله. إن إحدى مزايا أجهزة الامتصاص الحديثة هي أنها تقيس الـ PIP بعد صمام اختبار الشهيق. تتطلب أنواع أجهزة الامتصاص القديمة استخدام مقياس ثانٍ عندما يتم استخدام صمام الـ PEEP لأسباب سريرية (تُناقش فيما يلي). تعرض المقاييس على التصاميم القديمة الضغط الداخلي فقط لأجهزة الامتصاص. وعندما يُغلق صمام اختبار الشهيق، فإنها لا تعرض الضغط الحقيقي لمجرى التنفس ولا تُظهِر الـ PEEP.

وفي محاولة لمعالجة بعض التقييدات في أجهزة التنفس الاصطناعي البسيطة نسبياً وذات الدورة الزمنية والمُتحكم بها بالحجم الموجودة عادة في التخدير، أدخل المُصنِّعين جيلاً جديداً من أجهزة الامتصاص مندمجة تماماً تقريباً في الجهاز. تتضمن طريقة التصميم هذه مزايا حسنة وسيئات. يمكن تعقيم التصميمات الجديدة. ويطالب أعضاءٌ من المجموعة الأوروبية بأنه ينبغي تعقيم مكونات دارة التنفس بين المرضى في حين أن ذلك غير مطلوب في الولايات المتحدة.

هناك نقطة واحدة مهمة للأخذ في الاعتبار هي أن أجهزة الامتصاص تتطلب خدمة يومية يكون لها احتمالات أكبر للمشاكل مثل التسريب. وعلى الرغم من أنها مُصمَّمة مع أخذ ذلك في الاعتبار، فإن الموظفين غير المدربين تدريباً فنياً قد يقومون بتفكيك أجهزة الامتصاص جزئياً. يخضع النظام لاستبدالات متكررة لأنابيب دارة التنفس ذات الاستعمال لمرة واحدة وانسكاب السوائل والتنظيف اليومي وتغيرات المادة الماصَّة، وهو بطريقة أو بأخرى مُعرَّض لبيئة متطلِّبة.

المادة الماصَّة Absorbent

تُستخدَم مواد ماصَّة مختلفة متاحة تجارياً لامتصاص ثاني أكسيد الكربون. وبالنسبة للأغراض العملية، يجب على المهندس الإكلينيكي (CE) وفني التجهيزات الطبية الحيوية (BMET) أن يكونا مدركَين ومهتمَين بالتطبيق المنهجي للمادة الماصَّة واستخدامها. إن المنتجات الثانوية للتفاعلات الكيميائية بين المادة الماصَّة وCO_2 مفيدة بالنسبة للمريض والوظيفة الصحيحة لجهاز الامتصاص. ومع ذلك، فقد يشكِّل أحد التفاعلات عائقاً إضافياً. إن إزالة ثاني أكسيد الكربون مفيد بشكل واضح وهو وظيفة رئيسية للمادة الماصَّة. يُنتِج التفاعل الكيميائي في هذه العملية تغييراً في لون المادة الماصَّة، ويعمل هذا التغيير كمؤشر مرئي لنشاط المادة الماصَّة. يتغير لون المادة الماصَّة من اللون الأبيض المُطفأ

إلى اللون البنفسجي كما تنخفض قدرتها على امتصاص ثاني أكسيد الكربون. وفي ظل ظروف معينة، ولكنها نادرة، يعود تغير اللون إلى اللون الأصلي. وثمة مشكلة شائعة كثيراً هي أن المستخدمين يغفلون عن تغير اللون أو ينسون أن يلاحظوه. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتغير الخصائص البصرية للعلبة الموجودة فيها المادة، مما يجعل من الصعب رؤية تغير اللون. يحدث التوجيه عندما تأخذ غازات التنفس المسار الأقل مقاومة وتُرسل من خلال مقطع عرضي ضيق نسبياً. ويمكن أن يؤدي هذا إلى وجود ثاني أكسيد الكربون غير المرغوب فيه في الشهيق.

إن الحرارة والماء هما من المنتجات الثانوية لامتصاص CO_2. إن الحرارة المتولدة ليست مفرطة وهي مفيدة للمريض لأنها تساعد في تدفئة غازات التغذية الباردة التي يمكن أن تُهَيِّج بطانة الرئتين. إن المياه التي يتم إنتاجها مفيدة أيضاً لأن غازات التغذية جافة والرطوبة المُضافة تقلل من تَهيُّج الرئة. إذا كان إنتاج الماء مهمل، فإنه سيتجمع إلى نقطة يمكن أن يساهم عندها في مشاكل في دارة التنفس. إن أكثر المشاكل التي لوحظت بشكل متكرر هي توقف صمامات اختبار الزفير بسبب التوتر السطحي بين قرص الصمام والغلاف، وتجمُّع الماء في أنابيب وخراطيم جهاز التنفس الاصطناعي، مؤثراً على الوظيفة الصحيحة من خلال منع التحسس الصحيح للضغط وتدفق الغاز.

أجهزة طرد الغازات Gas Scavengers

عندما يكون الجهاز مضبوطاً على معدل FGF لأي شيء أعلى من امتصاص المريض (عادة ٢٠٠-٣٠٠ ميلي متر من الأكسجين في الدقيقة بالنسبة لمعظم البالغين)، فإنه يجب إزالة أي زيادة لتجنب تراكم الحجم كما تمت مناقشته آنفاً. على الرغم من أن PEEP يُستخدم من أجل مؤشرات إكلينيكية معينة، إلاّ أن تطبيقه غير المضبوط كارثي بالنسبة للمريض. يلعب نظام طرد الغازات دوراً حيوياً بالتعاون مع دارة التنفس في منع ذلك من الحدوث. يفتح صمام التمرير للمنفاخ (pop-off valve) أثناء التهوية الآلية عند نهاية الزفير المدِّي لتحويل الحجم الزائد إلى نظام طرد الغازات الفائضة. ويجب على المستخدم أثناء التهوية اليدوية فتح وإغلاق صمام تحديد الضغط القابل للضبط (APL) (عند الضرورة) لوضع الحد الأعلى لضغوط دارة التنفس. إذا تم فتح صمام الـ APL، أو تسبب أي ضغط في تجاوز إعداداته، فإن الغاز يتدفق إلى جهاز طرد الغازات. يختلف التركيب الفيزيائي لأجهزة طرد الغازات المُستخدَمة في الآلات ويمكن أن يتطلب تفاعل المُستخدِم. تقدِّم التصاميم المختلفة مخاطرها ومنافعها الخاصة بها، ويضع بعضها مطالب كبيرة على البنية التحتية للمستشفيات (مضخات تخلية)، في حين أن بعضها الآخر يحتاج إلى المستخدم لإدخال تعديلات وفقاً لمعدل الـ FGF.

صمامات الضغط الموجب بنهاية الزفير PEEP Valves (PEEP)

يحافظ الجسم أثناء التهوية التلقائية على حجم متبقٍ في رئتيه لمنعهما من الانخماص. وأثناء التهوية بالضغط الموجب، يحافظ جهاز التنفس الاصطناعي على PEEP خفيف (٢-٣ سنتمتر ماء) لتحقيق الأمر ذاته. تُستخدَم

المؤشرات السريرية (على سبيل المثال، متلازمة الضائقة التنفسية للبالغين [ARDS])، وصمامات الـ PEEP لزيادة المقاومة التي يواجهها المريض أثناء الزفير، وزيادة الحجم المتبقي في الرئتين. يمكن وبشكل دائم تركيب النماذج المختلفة من صمامات الـ PEEP إما في الجهاز/جهاز الامتصاص أو مؤقتاً على فرع الزفير. وبالنسبة لهذا الأخير، فإن التصميم هو عبارة عن تغيير في صمام الاختبار، مما يجعله خطراً إذا تم تركيبه بالاتجاه الراجع أوفي فرع الشهيق، لأنه قد يؤدي إلى تدفق غاز قليل وعدم كفاية الأكسجة (الشكل رقم ٩٠,٤).

الشكل رقم (٩٠,٤). مثال لصمام PEEP.

الترطيب Humidification

إن غازات التغذية جافة، كما تمت المناقشة سابقاً، ويمكن أن تهيِّج بطانة الرئتين، وخصوصاً مع المرضى الحساسين الذين يبقون على الجهاز لفترات طويلة. وعلى الرغم من أن استخدام المرطبات الفعالة قد انخفض على مر السنين، فإنها لا تزال تُستخدَم لبعض المرضى. هناك تقنيتان مستخدمتان للحفاظ على الرطوبة في الغاز الذي يتنفسه المريض: المرطب الفعّال المُسخَّن والمبادل الحراري الرطب (HME).

عادة ما تكون الوحدات الفعّالة المُسخَّنة أكثر فعالية في إضافة كل من الرطوبة والحرارة إلى دارة التنفس. يجب على المُشغِّل ربط الوحدة إلى مصدر طاقة كهربائية، ويجب عليه مراقبة درجة حرارتها، كما يجب عليه تنظيفها وملؤها. يتضمن العديد من الوحدات اختبار الصمامات لمنع الإعطاء غير المقصود للسوائل إلى المريض إذا كانت مُركَّبة بشكل غير صحيح. يمكن أن يؤدي التركيب باتجاه عكسي إلى الحد من التدفق بشكل كبير وأكسجة غير كافية. يتم تركيب هذه الوحدات في فرع الشهيق ولها "دخل" و"خرج" محددان مسبقاً.

إن المبادلات الحرارية الرطبة (HMEs) هي وحدات وحيدة الاستعمال وتُستعمل لمرة واحدة فقط. تكون هذه الوحدات موصولة إلى النهاية البعيدة لأنابيب دارة التنفس التي تكون الأقرب إلى أنبوب داخل الرغامى. إن وظيفتها الرئيسية هي الحفاظ على أكبر قدر ممكن من الحرارة والرطوبة للمريض بينما تمنع الحرارة والرطوبة من الدخول إلى جهاز الامتصاص. تُعرف المبادلات الحرارية الرطبة أحياناً باسم "الأنوف الاصطناعية".

أجهزة التنفس الاصطناعي
Ventilators

تُحرِّر أجهزة التنفس الاصطناعي (الشكل رقم ٩٠,٥) أيدي المستخدمين بحيث يكونوا قادرين على القيام بمهام أخرى. إنها وسيلة لتطبيق ضغط دوري على المكافئ لكيس دارة التنفس بمعدل وتردد مُتحكم بهما. يُغلَق صمام الزفير داخل جهاز التنفس الاصطناعي خلال دورة الشهيق لتوجيه غاز الدفع إلى علبة المنفاخ، مما يُحدِثُ ضغطاً موجباً يجبر غازات دارة التنفس على التدفق. يفتح صمام الزفير في نهاية دورة الشهيق، محرِّراً غاز الدفع من غلاف المنفاخ، ويعود المريض إلى الضغط الجوي. يختلف الغاز العامل الذي يُستخدَم لدفع المنفاخ تبعاً لكل بلد، كما تمت مناقشته سابقاً. إن عناصر المقارنة بين التهوية اليدوية والآلية هي الكيس والمنفاخ وصمام الـ APL وصمام التمرير للمنفاخ. يوفر الكيس والمنفاخ وسيلة لتخزين حجم ما عندما تتحرك الغازات في دارة التنفس. ويتحكم صمام الـ APL وصمام التمرير للمنفاخ بإزالة الفائض من الغاز من دارة التنفس إلى نظام طرد الغازات، كما تمت مناقشته سابقاً. يتطلب كلا الصمامين كمية صغيرة من الـ PEEP من أجل تدفق أولي إلى المنفاخ (بدلاً من جهاز طرد الغازات)، ولكن يتم ضبط صمام التحرير للمنفاخ على قيمة أعلى بجزء بسيط، في حوالي ٢–٣ سنتمتر ماء.

الشكل رقم (٩٠,٥). جهاز التنفس الاصطناعي طراز Siemens-Elema 900C.

الضغط مقابل الحجم المُتحكم به Pressure versus Volume-Controlled

لقد كانت أجهزة التنفس الاصطناعي الخاصة بالتخدير، تاريخياً، بسيطة نسبياً وذات دورة زمنية (time-cycled) وتحكم بالحجم (volume-controlled)، الأمر الذي قد يلبي بيئة الرعاية الصحية المتغيرة أو لا يلبيها. يمكن تصنيف رعاية المرضى على أنها حادة أو غير حرجة. إن عدد مرضى الرعاية الحادة في المستشفيات التعليمية الكبيرة في تزايد، حيث إنه يتم نقل المرضى الأشد مرضاً من مستشفيات المجتمع الصغيرة من قبل منظمات إدارة الصحة الحديثة. يمثل هذا العدد من المرضى تحدياً من أجل إدارته ويتطلب تجهيزات أكثر تطوراً. ينبغي أن تكون أجهزة الرعاية غير الحرجة سهلة الاستخدام، مع تعقيد طفيف نسبياً لواجهة الربط مع المستخدم.

إن أحد الأمثلة على تقييدات أجهزة التنفس الاصطناعي الخاصة بالتخدير البسيطة التقليدية هو في وظيفة صمام التمرير للمنفاخ. إنه يغلق تماماً خلال الشهيق بحيث يمتزج الـ FGF مباشرة مع الحجم المدِّي المضبوط المُعطى. تؤثر التغيرات في الـ FGF على الحجم الفعلي المُعطى كتابع لزمن الشهيق، وكلما زاد التدفق، كان الحجم المدِّي أكبر من دون إحداث أي تغيير في الإعدادات. واستجابة للسوق المتنامي لمرضى الرعاية الحادة الذين تتم تهويتهم، فقد بدأ المصنِّعون بدمج أجهزة تنفس اصطناعي ذات تحكم بالضغط/مدعومة بالضغط أكثر تعقيداً في أجهزة التخدير التي يُصنِّعونها.

مراقبة ضغط مجرى التنفس Airway Pressure Monitoring

إن معظم أجهزة التنفس الاصطناعي ذات التحكم بالحجم محدودة الضغط وسوف لن توفر الإعدادات المطلوبة إذا تم قدح حد الضغط. إن لدى بعض هذه الأجهزة حد ضغط قابل للضبط، والبعض الآخر حداً مضبوطاً مسبقاً. يُوضع المبدل الذي يتحسس لضغوط دارة تنفس المريض بشكل طبيعي في جهاز التنفس الاصطناعي المُغذَّى من أنبوب مُثبَّت إلى دارة التنفس. وكما ذُكر آنفاً، ينبغي أن يكون هذا في فرع الشهيق بعد صمام الاختبار، ولكن موقعه يمكن أن يتغير تبعاً لعمر الجهاز (الشكل رقم ٩٠.٥).

تركيز الأكسجين Oxygen Concentration

تفرض معايير الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM) قياس تركيز الأكسجين في فرع الشهيق الذي يعمل مع الجهاز ويحتوي على بطارية احتياطية. تستخدم الأكثرية تكنولوجيا خلية الوقود الغلفانية، التي تتضمن تفاعلاً كيميائياً بين الكهروليت وقطبين (المصعد والمهبط)، المماثلة لتلك التي في البطارية. يؤدي التفاعل إلى توليد جهد كهربائي متناسب مع تركيز الأكسجين الذي يتم قياسه وإظهاره. إن الثابت الزمني لهذا التفاعل طويل نسبياً ولا يمكنه توفير تركيز الأكسجين نَفَسٍ بنَفَسْ.

يتم إدراج تكنولوجيا الانجذاب إلى الحقل المغناطيسي في بعض أجهزة مراقبة الـ CO_2 والمواد. إن استجابة هذه التكنولوجيا سريعة بما يكفي للتغلب على عجز تكنولوجيا خلايا الوقود الغلفانية ولكنها أغلى من حيث الثمن.

وباستخدام حقل مغناطيسي موجود، فإن هذه التكنولوجيا تستغل الخواص المغناطيسية الطبيعية للأكسجين لإنشاء فرق ضغط بين جريانات الغاز (غاز العينة والغاز المرجعي) الذي يتم كشفه وعرضه كتركيز (Ehrenwerth and Eisenkraft, 1993).

قياسات الحجم Volume Measurements

إن قياس الحجم هو الوسيلة المُستخدَمة حالياً والأكثر دقة لتزويد المستخدِمين بالتغذية الراجعة لما أعطاه الحجم المدِّي والحجم بالدقيقة بالفعل للمريض وذلك نظراً لتقييدات أجهزة التنفس ذات التحكم بالحجم البسيطة نسبياً. إن القياس دقيق ولكنه ليس بالضبط بسبب تمدد الغاز، وأنابيب دارة والتنفس، والمساحة الإضافية الميتة في الدارة. يقيس مقياس سرعة ريح ذو ريشة حجم الغاز عن طريق مراقبة الدوران الميكانيكي لريشة أو شفرة. ويمكن أن تكون هذه الأجهزة إما تشابهية (analog) أو رقمية (digital). تتضمن التكنولوجيا في الأجهزة الأحدث الأمواج فوق الصوتية باستخدام خصائص دوبلر الصوتية بين نقطتين لقياس تدفق الغاز. تقيس الأنظمة ذات السلك الحار متطلبات وتغيرات الطاقة في سلك مُسخَّن ضمن غلاف عندما يقوم حجم الغاز بتبريد السطح. ويُستخدَم أيضاً لقياس التدفق أنابيب Pitot في اتجاهات معاكسة تعمل بالترابط مع محولات ضغط تفاضلية.

الإنذارات المرافقة Associated Alarms

إن العديد من هذه القياسات هو بشكل رئيسي عبارة عن وسيلة لإبلاغ المستخدم عن احتمال وجود مشكلة، مثل عملية فصل أو تسريب. تتعرف أجهزة مراقبة الأكسجين على المزيج ذي الأكسجين الناقص المحتمل والأحداث الكارثية التي لا يمكن ضبطها بأقل من ١٨٪ من دون إنذار. يمكن استخدام إنذارات الضغط للإشارة إلى تغيرات كبيرة في حالة المريض أو إعاقات في مجرى التنفس. وتشير إنذارات الضغط تحت الجوي إلى إمكانية حدوث تخلية فعالة في مجرى التنفس، أو ما إذا كان المريض يسحب ضغطاً سالباً من خلال مقاومة جهاز التنفس الاصطناعي.

المراقبة
Monitoring

لقد وضعت الجمعية الأميركية لأطباء التخدير (ASA) (ASA, 1998) الحد الأدنى لمتطلبات المراقبة أثناء التخدير. واعتماداً على خطورة المريض وغيرها من العوامل، مثل العملية الجراحية وخطة التخدير، فإن مستوى المراقبة الذي يختارها طبيب التخدير يمكن أن يتجاوز الحد الأدنى من المتطلبات ليشمل قياس الضغوط الجراحية (للشرايين، والشريان الرئوي، والأوردة المركزية)، والحصار العصبي العضلي، والوعي.

إن المتطلب الأول لمعيار المراقبة وفقاً لـ ASA هو "موظفو تخدير مؤهلون...". إن مُقدِّم الرعاية هو في النهاية المراقب الأكثر أهمية ويجب أن يكون قادراً على التركيز على المريض من دون شرود كبير. تحدد المعايير بشكل ثانوي، ولكن ليس أقل بشكل كبير، المراقبة للأكسجين، والتهوية، والدوران، ودرجة الحرارة. تُستخدم المراقبة الفيزيولوجية المستمرة أثناء التخدير، وذلك باستخدام أجهزة تخطيط التحجم (plethysmographs)، وأجهزة تخطيط إشارة كهربية القلب، وأجهزة رواسم الإشارة. يبين الشكل رقم (٩٠,٦) مقياس تأكسج نبضي يُستعمَل لمراقبة تشبع الدم الشرياني للمريض بالأكسجين، Sa_4O_2.

الشكل رقم (٩٠,٦). مقياس تأكسج نبضي من Ohmeda Biox طراز 3740.

لقد أظهرت الدراسات أنه بالرغم من أن نسبة كبيرة من الحوادث المؤسفة أثناء التخدير كانت بسبب الخطأ البشري، فإن عدداً كبيراً كان ذا صلة بأعطال التجهيزات المتعلقة بالتسريبات، وسوء التوصيلات، وأخطاء التحكم بتدفق الغاز، وعمليات فصل الدارة (Cooper et al., 1984). ولقد تم سابقاً مناقشة اثنين من أجهزة مراقبة التهوية (الأكسجين، والحجم). يتطلب معيار ASA أن يكون هناك جهاز للكشف عن فصل دارة التنفس، وأنه يجب أن يكون هناك إنذار مسموع. وإلى جانب استخدام قياس التأكسج النبضي، تحدد ASA بأن يكون هناك إضاءة وكشف كافيين لتقييم لون المريض والأكسجة السليمة. إن هذا بمثابة تذكير بأن المرء لا يستطيع الاعتماد فقط على أجهزة المراقبة. إن رعاية المريض هي في النهاية مسؤولية مُقدِّم الرعاية وليس المراقب.

قياس ثاني أكسيد الكربون وتحليل المادة
Capnometry and Agent Analysis

تنص معايير ASA أصلاً بأن تُستخدَم مقاييس ثاني أكسيد الكربون (capnometers) للتحقق من وجود غاز ثاني أكسيد الكربون لضمان تنبيب الرغامى، ومقابل المريء. ويحدد التعديل الأخير لهذه المعايير القياس المستمر لـ CO_2. هناك دلالات سريرية يمكن اكتشافها باستخدام مقاييس ثاني أكسيد الكربون. يمكن اكتشاف توقف التنفس

الناتج عن عمليات الفصل، وفشل جهاز التنفس الاصطناعي، والانسداد الكامل في دارة التنفس أو نظام طرد الغازات الفائضة، وذلك ربما في وقت مبكر كفاية قبل أن يحدث تشبع الدم الشرياني بالأكسجين. تُظهِر أشكال موجة الـ CO_2 أثناء التهوية المُتحكم بها الخصائص التي تساعد الطبيب في تحديد المسائل المحتملة للتدبير العلاجي للمريض. يمكن أن يشير الارتفاع البطيء غير الطبيعي إلى إعاقة في مجرى التنفس أو التواء في أنبوب داخل الرغامى، في حين أن انحراف خط الأساس يمكن أن يشير إلى خلل في صمام فرع الزفير، أو استهلاك المادة الماصَّة لـ CO_2، أو توجيه عبر قناة معينة. ينبغي أن يتعلم المهندس الإكلينيكي والـ BMETs مخططات ثاني أكسيد الكربون النموذجية وغير النموذجية وأسبابها. وتساعد هذه المعرفة في مجال تحديد الأعطال وحل المشاكل، والاتصالات، وخصوصاً عندما يصرِّح الطبيب بأن شكل موجة الـ CO_2 يبدو غريباً.

يمكن تقسيم أجهزة المراقبة إلى فئتين: أجهزة قياس الجريان الجانبي أو أجهزة قياس الجريان الرئيسي. تأخذ أجهزة المراقبة ذات الجريان الجانبي عينة صغيرة من غازات دارة التنفس وتوصلها إلى حجرة القياس. يمكن طرد الفائض عبر نظام طرد الغازات أو إعادته إلى فرع الزفير لإعادة تدويره. تقيس أجهزة المراقبة ذات الجريان الرئيسي تركيز ثاني أكسيد الكربون في الزفير للمريض من خلال النافذة الضوئية في أنبوب متصل بدارة التنفس، وغالباً ما يكون عند نهاية أنبوب داخل الرغامى.

هناك عدد من التكنولوجيات المختلفة المُستخدَمة في أجهزة المراقبة ذات الجريان الجانبي، بما في ذلك قياس طيف الكتلة، وأجهزة تحليل الأشعة تحت الحمراء(IR) (أحادية وثنائية الشعاع)، وقياس طيف Raman (رامان). تكمن مزايا جهاز المراقبة ذي الجريان الجانبي في بساطة المواد الموصولة إلى دارة التنفس والقدرة على قراءة غازات متعددة. لا تحتاج المواد المساعدة إلى إعادة معالجة، وهي للاستخدام مرة واحدة فقط (وهي تقلل من مخاطر انتقال التلوث)، ولا تحتاج إلى خصائص بصرية أو نظافة، ومن ثم فهي أسهل للاستخدام على أساس يومي. إن المكونات المُضافة إلى دارة التنفس أصغر فيزيائياً، وهذه ميزة إضافية عند العمل مع وصول محدود وأغطية جراحية عقيمة. ويكمن أكبر عيب في هذه الأجهزة في العمل مع وجود ماء في الزفير. يمكن لأنبوب أخذ العينات أن يُكثِّف بخار الماء، وإذا كان جهاز المراقبة غير قادر على إزالة القطرات من تلقاء نفسه، فإنه يتطلب تدخُّل المُستخدِم. يتضمن العديد من أجهزة المراقبة مصيدة ماء يجب إفراغها في بعض الأحيان، ومرشحات للماء يمكن انسدادها.

إن عدم التماثل الجزيئي مطلوب لامتصاص ضوء الأشعة تحت الحمراء، مما يؤدي إلى اهتزاز أو دوران الروابط ثنائية القطبية. لا تمتص الجزيئات غير القطبية، مثل الأكسجين والنتروجين، طاقة الأشعة تحت الحمراء ولا يمكن قياسها من خلال قياس طيف الأشعة تحت الحمراء. يرتبط الامتصاص بعدد الجزيئات، ولذلك فهو قياس مطلق وليس نسبي. يمتص ثاني أكسيد الكربون ضوء الأشعة تحت الحمراء عند حوالي ٤,٣ نانومتر، وأكسيد

النتروجين (N_2O) عند حوالي ٤,٥ نانومتر، ومواد التخدير الطيَّارة تمتد من ٩-١٢ نانومتراً. ونظراً لأن CO_2 وN_2O يمتصان الأشعة تحت الحمراء بقيم متقاربة لبعضهما، فإن هناك إشارة ممزوجة بين الاثنين. نتيجة لذلك، تحتاج بعض أجهزة مراقبة الـ CO_2 إلى تعويض N_2O عند معايرتها. تمر عينة غاز المريض المأخوذة في جهاز المراقبة عبر أنابيب نفوذه للماء لتجفيف العينة الرطبة قبل تقديمها إلى منصة القياس. يمتص بخار الماء الأشعة تحت الحمراء عند نفس الطيف، فهو عبارة عن ملوِّث لقياسات CO_2. ولقياس غازات مختلفة، تستخدم أجهزة قياس الطيف بالأشعة تحت الحمراء ثنائية الشعاع دولاب فتل مع مرشحات تمرير حزمة لتوليف طيفها على طيف الغاز الخاص ذي الأهمية للحصول على أعظم قيمة للإشارة والمرجع. إن قيمة المرجع صفر أو نقطة الاستجابة الدنيا التي تتم مقارنة القياس معها. يتم كشف الامتصاص وإظهاره على شكل موجة وقيمة عددية.

يمكن قياس مواد التخدير الطيَّارة باستخدام قياس طيف الأشعة تحت الحمراء ولها علامات فردية عند أطوال أمواج مختلفة. تتطلب بعض أجهزة المراقبة تحديثات بسيطة للبرامج لقراءة المواد الأحدث، بينما يحتاج البعض الآخر إلى استبدال شامل للبيئة الصلبة (hardware). ولسوء الحظ هناك أيضاً نماذج تتطلب تكاليف باهظة للتحديث.

تتضمن معايرة المُستخدِم النهائي لأجهزة المراقبة ذات الجريان الجانبي ضبط الصفر والمجال. وتتضمن أجهزة المراقبة حديثة النوع تصفيراً تلقائياً حيث يتم أخذ عينة من هواء الغرفة داخلياً. تحتاج أجهزة المراقبة القديمة إلى الشخص الذي يقوم بالمعايرة لإزالة قناة أخذ العينات من دارة التنفس، ومن ثم لاستكمال سلسلة من الإجراءات (أي تدوير أزرار أو تفعيل مفاتيح). يتطلب ضبط المجال من الشخص الذي يقوم بالمعايرة استخدام غاز معايرة معروف يمكن أن يكون خاص بالنسبة إلى جهاز المراقبة. يتم رش غاز المعايرة إلى داخل منفذ أخذ العينات، ويتم وضع مجال القياس الأعلى إما عن طريق برنامج أو ضبط مقياس الجهد فيزيائياً.

إن أجهزة المراقبة ذات الجريان الرئيسي هي أكثر شيوعاً للاستخدام خارج مجال التخدير بسبب قيود التكنولوجيا كما أنها تقتصر على قياس غاز واحد فقط. وهي كثيراً ما توجد كخيارات على أجهزة المراقبة الفيزيولوجية.

درجة الحرارة Temperature

إن درجة الحرارة هي البارامتر الفيزيولوجي الأخير المذكور في معيار المراقبة وفقاً لـ ASA. وكثيراً ما يعاني المرضى الذين يخضعون للتخدير من انخفاض درجة الحرارة التي تسببها آليات التخدير وتعرُّض الجلد للبيئة الباردة في غرفة العمليات. يكبت تحريض التخدير قدرة الجسم على تنظيم درجة الحرارة الأساسية في الحالة الأكثر أساسية. وسيقوم الشخص المستيقظ بتغيرات سلوكية (على شكل لباس أو ارتجاف، على سبيل المثال) عندما يتحسس لتغيُّر في درجة الحرارة البيئية. يستجيب ما تحت المهاد (الهيبوتلاموس، hypothalamus) لتغيرات درجة الحرارة ويحرِّض

على توسع الأوعية أو تضيقها حسب اللزوم للتحكم بحجم الدم وإعادة توزيعه منظماً بذلك درجات حرارة نواة الجسم والأطراف. تقوم معظم المواد الطيّارة بإضعاف تقبُّض الأوعية، وربما تغيِّر توزُّع حجم الدم. إن زيادة حجم الدم في الأطراف يزيد من فقدان الحرارة، مخفِّضاً بذلك درجة حرارة نواة الجسم. وفيما عدا ذلك تمنع مُرْخِيات العضلات والتخدير بوضوح الارتجاف وتخفِّض إنتاج الحرارة من خلال إراحة العضلات (Morley-Forster, 1986).

ليس من الشائع في الولايات المتحدة ارتفاع درجة الحرارة المفاجئ أثناء التخدير، حيث إن جميع غرف العمليات تقريباً ذات هواء مُكيَّف. إن ارتفاع درجة الحرارة في غرف العمليات من دون تكييف الهواء هو أكثر شيوعاً في المناخات الاستوائية. يمكن كشف ارتفاع درجة الحرارة الضار من خلال مراقبة درجة حرارة المريض، إلاّ أن زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون في الزفير مؤشر مبكر.

تُستخدَم الثرمستورات بشكل عام لقياس درجة حرارة المريض. ويشكِّل استخدامها خطراً صغيراً على المريض؛ إنها موثوقة وسهلة الاستخدام نسبياً، كما أنها توفِّر قياساً دقيقاً عندما تُستخدَم بشكل صحيح. إن موقع القياس الأكثر شيوعاً هو المنطقة الأنفية البلعومية. كما أن أكثر المشاكل شيوعاً هي التبريد من غازات التنفس بسبب التسريب والموضع الخاطئ. تتألف هذه الأجهزة عموماً من المجسات التي تتصل بجهاز التحسس لدرجة الحرارة، والذي يكون إما صندوقاً قائماً بذاته أو مدموجاً في جهاز المراقبة القلبي الوعائي. تُستخدَم أيضاً في قثاطر الشريان الرئوي، التي تُستخدَم لمراقبة الضغط الباضع وتوفر قياس درجة حرارة نواة الجسم.

يمكن أن يوفر قياس غشاء طبلة الأذن بالأشعة تحت الحمراء قياساً دقيقاً لدرجة حرارة نواة الجسم ولكنه عرضة لخطأ المُستخدِم. يتم إدخال جهاز مسح بالأشعة تحت الحمراء مع غطاء واقٍ من النوع الذي يُستخدَم لمرة واحدة في قناة الأذن، حيث يتم قياس الطاقة المُشعَّة من طبلة الأذن وتحويلها وإظهارها على شكل درجة حرارة.

تتوفر ثرمستورات الكريستال السائل لقياس درجة حرارة الجلد. ومع ذلك، فإن استخدامها ليس عملياً في التخدير لأن درجة حرارة الجلد لا تتطابق جيداً مع درجة حرارة نواة الجسم.

منبِّهات الأعصاب المحيطية Peripheral Nerve Stimulators

تُستخدَم منبِّهات الأعصاب المحيطية لتوفير مؤشر للحصار العصبي العضلي أو بخلاف ذلك الشلل العام. وكثيراً ما تُستخدم مُرْخِيات العضلات أثناء التخدير لتخفيف توتر العضلات الطبيعي من أجل تسهيل التنبيب والجراحة. ويمكن استخدام مُرْخِيات العضلات في وحدة العناية المركزة للمساعدة في استخدام التهوية الميكانيكية. تُوصف الأدوية المُستخدَمة بأنها مزيلة للاستقطاب أو غير مزيلة للاستقطاب. فهي تعمل من خلال منع الانتقال العصبي العضلي، وبذلك تقلل من قدرة العضلات على الانقباض، وتشلّ المريض. يمكن أن يتم الشلل أيضاً عند

جرعات عالية من مواد التخدير الطيَّارة. إن أحد التمييزات الهامة هي أن المريض يمكن أن يُصاب بالشلل ولكن قد لا يكون بالضرورة مُخدَّراً. يؤدي الفشل بعدم جعل المريض فاقداً للوعي إلى وضع غير مرغوب فيه تقريباً يمكن للمريض أن يعيش فيه تجربة الألم المبرح للجراحة أيضاً، حيث يكون غير قادر على الصراخ أو بخلاف ذلك الإشارة إلى الجرَّاح.

إن منبِّهات الأعصاب المحيطية (المعروفة أيضاً باسم " أجهزة مراقبة الانتفاض") هي عبارة عن مولدات نبضات بسيطة نسبياً. إن معظم المنبِّهات هي أجهزة تعمل بالبطاريات وتتصل بالمريض عن طريق كابل وإلكترودات. وتكون الإلكترودات في معظم الأحيان تقريباً مماثلة لتلك التي تُستخدَم في مراقبة الـ ECG ولكنها يمكن أن تكون خاصة بهذا التطبيق. توفر معظم أجهزة المراقبة المعلومات للطبيب عن طريق المراقبة الصرفة. ويجب أن يشعر المُستخدِم برد فعل المريض على التنبيهات الكهربائية ويراقبه. وهناك وحدات متاحة يمكنها أن تراقب رد فعل المريض كهربائياً و/ أو ميكانيكياً كما يمكنها أن تعرض خصائص المريض (على مسجلات الرسم البياني الإلكترونية أو الورقية). وغالباً ما تُستخدَم هذه الوحدات بشكل أقل انتظاماً لأغراض تعليمية.

يتم وضع الإلكترودات في معظم الأحيان تقريباً فوق العصب الزندي بالقرب من المعصم. إن أفضلية الموقع مرتبطة بشكل أساسي بأعصاب العضلات. يغذّي العصب الزندي العضلة مُقَرِّبَة الإبهام فقط بالأعصاب. ويقلِّل تنبيه العصب الزندي من إمكانية التداخل مع العضلات الأخرى إلى الحد الأدنى، مما يتيح للمُستخدِم مراقبة استجابة إبهام المريض فقط. وبشكل أقل تواتراً، يمكن وضع الإلكترودات على أعصاب الوجه إذا كان الوصول إلى الأطراف أمراً صعباً.

تولِّد أجهزة مراقبة الانتفاض نبضة تيار مستمر (DC) أحادية الطور تكون عادة لمدة محددة وبتيار قابل للضبط. وتتوفر وحدات مُبَرْمَجَة مسبقاً تعطي نبضات في مجموعات لمساعدة الطبيب على تحديد حالة الحصار العصبي العضلي. إن مجموعات النبضات الأكثر شيوعاً هي :

- نَفْضَة وحيدة- عند الطلب أوكل عشر ثوان أو واحدة بكل ثانية.
- قطار من أربع نبضات- مجموعة من أربع نبضات بفواصل زمنية مقدارها نصف ثانية أو يمكن ضبطها لتتكرر كل اثنتي عشرة ثانية.
- اندفاع مزدوج- مجموعة من ثلاثة نبضات، ٢٠ ميلي ثانية مستقلة، يليها اندفاع آخر مماثل ٧٥٠ ميلي ثانية في وقت لاحق.
- التَكَزُّز (Tetanus)- نبضات وحيدة متكررة بتردد ٥٠ هرتز أو أكبر.

المراجع

References

ASA. Standards for Basic Anesthetic Monitoring. Park Ridge, IL, American Society of Anesthesiologists, 1998.

ASA. Standards for Postanesthesia Care. Park Ridge, IL, American Society of Anesthesiologists, 1994.

ASTM. Minimum Performance and Safety Requirements for Components and Systems of Anesthesia Gas Machines, F1161-88. Philadelphia, PA, American Society for Testing and Materials, 1989.

Billings C, Reynard W. Human Factors in Aircraft Incidents: Results of a Seven-Year Study, Aviat Space Environ Med 55:960-965, 1984.

Boquet G, Bushman JA, Davenport HT. The Anesthesia Machine: A Study of Function and Design, Br J Anaesth 52:61-67, 1980.

Cooper JB, Newbower RS, Kitz RJ. An Analysis of Major Errors and Equipment Failures in Anesthesia Management: Considerations for Prevention and Detection. Anesthesiology 60:34-42, 1984.

Drui AB, Behm RJ, Martin WE. Predesign Investigation of the Anesthesia Operational Environment. Anesth Analg 52:584-591, 1973.

Ehrenwerth J, Eisenkraft J, eds. Anesthesia Equipment Principles and Applications. St. Louis, MO, Mosby, 1993.

FDA. Anesthesia Apparatus Check-Out Recommendations. Rockville, MD, United States Food and Drug Administration, 1993.

Herndon O, Weinger M, Paulus M, et al. Analysis of the Task of Administering Anesthesia: Additional Objective Measures. Anesthesiology 75:A487, 1991.

Morley-Forster PK. Unintentional Hypothermia in the Operating Room, Can Anaesth Soc J 33:515-527, 1986.