# الفصل الثاني والثلاثون

## آلة التخدير
## ANAESTHESIA MACHINE

### (٣٢,١) الحاجة إلى التخدير
**Need for Anaesthesia**

تتألف طرائق المعالجة الجراحية من عمليات تُجرى تحت شكل ما من التخدير. يخدم التخدير الوظيفتين التاليتين:

١- يضمن عدم شعور المريض بالألم ويُخفض انزعاج المريض إلى الحد الأدنى.

٢- يؤمن للجّراح شروط مناسبة للعمل.

عندما يُعطى التخدير بحيث إن المريض يفقد وعيه فإنه يُدعى "تخديراً عاماً". تُعطى المادة المخدرة إلى الجسم في التخدير العام بحيث تصل إلى الدماغ عن طريق مجرى الدم. إن التخدير بالاستنشاق هي الطريقة المعتادة والتي يتم فيها تقديم المواد المخدرة الغازية عن طريق الرئتين. الأمثلة على مثل هذه المواد المخدرة هي الأثير ثنائي الإيثيل والكلوروفورم والهالوثان والسيكلوبروبان وأكسيد النيتروس ($N_2O$ الغاز الضاحك).

لا يتم فقط خلال التخدير تقديم المادة المخدرة بالكمية المطلوبة، بل أيضاً الأكسجين. كما يتم أيضاً التخلص من أي زيادة في ثاني أكسيد الكربون. يمكن للمريض أن يتنفس ذاتياً، تنفس ذاتي، في المراحل السطحية من التخدير. وقد يكون من الضروري دعم المريض بتنفس اصطناعي، يُعرف بالتنفس المضبوط أو المُتحكم به، في التخدير الأعمق.

#### (٣٢,١,١) إعطاء التخدير Delivery of Anaesthesia

يتألف نظام إعطاء التخدير من آلة التخدير ودارة تنفس المريض وجهازَّي التنفس الاصطناعي ومجرى الهواء.

تتألف الآلة من مصدر غازات ووحدة إعطاء ومُبخر مادة التخدير.

تتألف دارة التنفس من أنابيب تنفس مغلقة الحلقة وتتضمن صَمامَي تنفس وحيدي الاتجاه وصمام تحديد الضغط قابل للتعديل (APL) وماص $CO_2$ ووسائل تصريف الغازات الفائضة (scavenging) ومُرطبة وكيس تخزين قابل للطي (Collapsible Reservoir Bag).



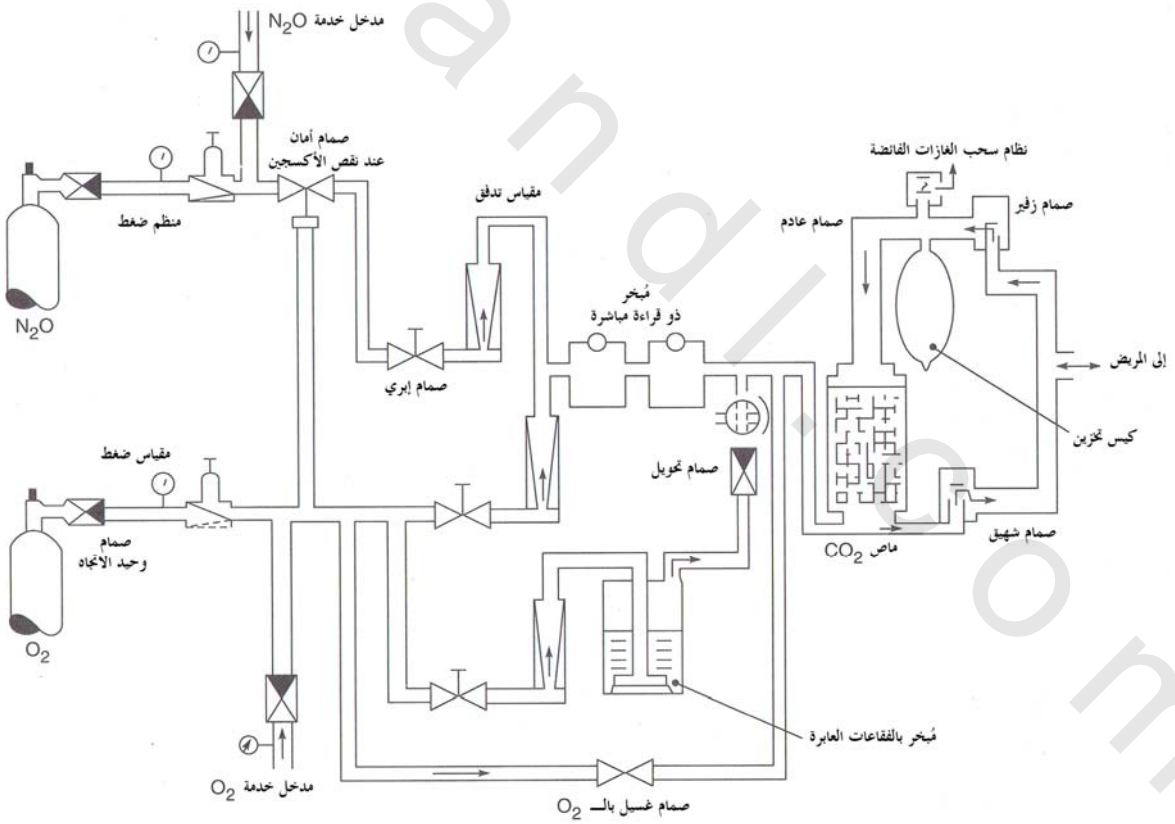
obeikandl.com

يُستخدم جهاز التنفس الاصطناعي الميكانيكي من أجل التهوية بالضغط الموجب.
تتضمن تجهيزات تنظيم مجرى الهواء على القناع والأنبوب داخل الرغامى الذي يربط المريض مع دارة التنفس.

## (٣٢,٢) آلة التخدير

**Anaesthesia Machine**

يُستخدم جهاز التخدير للإعطاء الدقيق لكمية معروفة ولكنها متغيرة من مزيج غازات، تتضمن غازات تخدير وغازات المحافظة على الحياة، إلى نظام تنفس المريض. يتم عموماً الحصول على مزيج ذو تركيز متغير من غازات الأكسجين وأكسيد النيتروس وبخار المادة المخدرة، مثل الأثير أو الهالوثان، من الآلة ويُجبَر على التدفق عبر دارة تنفس المريض. تتألف الآلة من نظامين جزئيين (الشكل رقم ٣٢,١): (١) وحدة تغذية وإعطاء الغاز وتتألف من أنابيب ومقاييس تدفق متصلة على التوازي، (٢) مُبخر مادة التخدير يُستخدم لإنتاج بخار مادة التخدير من سائل قابل للتطاير.




**الشكل رقم (٣٢,١). مخططاً توضيحياً لآلة التخدير ودارة تنفس المريض.**

### (٣٢,٢,١) نظام تغذية الغازات Gas Supply System

تُعطى الغازات إلى آلة التخدير إما من التغذية المركزية المضغوطة للمستشفى وإما من إسطوانات تخزين صغيرة متصلة مع الآلة.

**التغذية المركزية**: تتألف أنظمة التغذية المركزية من (١) مخزن بحجم كبير أو إسطوانات من أجل التغذية الرئيسية والاحتياطية، (٢) تجهيزات تحكم تتضمن صمامات ومنظمات ضغط، (٣) أنابيب توزيع، (٤) مآخذ تغذية عديدة. يُصمم ويُشغل النظام بحيث أن التغذية الضرورية للغازات (الأكسجين وأكسيد النيتروس) تكون متوفرة دائماً. يُنظم الغاز المُغذى من قِبَل المستشفى ليبقى على ضغط ٢٧٥-٣٤٥ كيلو باسكال (٤٠-٥٠ باوند/أنش مربع) عند المأخذ الجداري.

تُغذى الغازات من النظام المركزي إلى مدخل آلة التخدير بواسطة خرطوم مرن متصل إلى المأخذ الجداري لغرفة العمليات. تُستخدم توصيلات غير قابلية للتبادل عند كل طرف من أطراف الخرطوم لمنع توصيل مخرج التغذية المركزية الجداري مع المدخل الخاطئ لآلة التخدير، على سبيل المثال: توصيل أكسيد النيتروس بدلاً عن الأكسجين. إن نوعي التوصيلات غير القابلة للتبادل الأكثر استخداماً هما نظام الأمان ذو دالة القطر (DISS) ومقارنات الربط السريعة غير القابلة للتبديل. يشمل كل نوع التوصيلات على نهاية مُذكَّرة مُؤنَّثة مُصممة خصيصاً لكل نوع من الغازات. كما يُستخدم، إضافة إلى تصميم الموصلات، خراطيم مُرمزة باللون لكل غاز محدد.

**إسطوانات الغاز**: تُمثِل الإسطوانات مصدر تغذية غاز ثاني، وتتواجد في روابط (Yoks) متصلة مع آلة التخدير. يمكن أن يُستخدم هذا المصدر إما كمصدر رئيسي عندما لا يوجد تغذية مركزية للغاز وإما كمصدر احتياطي عندما تتوفر التغذية المركزية للغاز.

**الرابط**: إن لكل آلة تخدير رابط واحد على الأقل من أجل اسطوانة الأكسجين إلا أن معظم الآلات تكون مُزودة برابطين. إضافة إلى الأكسجين، تتضمن معظم تصاميم الآلات رابط لأكسيد النيتروس. يجب أن يدخل دبوسين موجودين في الرابط بشكل مُحكم في داخل ثقبين متوافقين معهما في رقبة الإسطوانة لمنع التوصيل غير الصحيح للإسطوانة إلى الرابط الخطأ. إن تَوَضُع هذه الدبابيس والثقوب المتوافقة معها هو فريد لكل غاز. وُضِعَت معايير لنظام تحديد الهوية هذا، والذي يُدعى "نظام الأمان ذو دالة الدبوس (PISS)"؛ لمنع التوصيل غير المقصود للإسطوانة الخاطئة إلى الرابط.

**مُنظِم الضغط**: يُخفض منظم ضغط الآلة ضغوط غازات الإسطوانات إلى ٢٧٥ كيلو باسكال (٤٠ باوند/أنش مربع) قبل تدفق الغاز عبر الآلة. إن للمنظم مدخل واحد عالي الضغط ومخرج واحد عالي الضغط ومخرجين اثنين منخفضي الضغط. يتصل مدخل الضغط العالي مع الإسطوانة عبر صمام عدم رجوع. يمنع صمام عدم الرجوع التدفق إلى داخل الاسطوانة الفارغة أو رجوعاً إلى نظام الأنابيب المركزي كما يُمكِّن من إزالة أو تبديل الإسطوانة عندما يتم تشغيل الإسطوانة الاحتياطية بدون توقف تغذية الغاز.

obeikandl.com

**مؤشر الضغط:** تتصل مؤشرات الضغط إلى الإسطوانات للدلالة على محتوى الغازات في الإسطوانات. إن مجال عمل المؤشر الأكسجين هو ٠-١٥٠ كيلوغرام/سنتمتر مربع. يجب أن يكون المؤشر أعلى من العلامة في أي وقت يتم فيه تحميل ووضع إسطوانة جديدة في خط العمل. تنخفض القراءة بشكل تدريجي مع الاستخدام التدريجي للغاز، ويجب إعادة تعبئة الإسطوانة عندما يُبين المؤشر أن الضغط قد انخفض دون المستوى الأدنى المقبول. إذا بَيَّن مؤشر الضغط، ولأي سببٍ ما، قراءة أعلى من ١٥٠ كيلوغرام/سنتمتر مربع خلال الاستخدام فيجب فصل الإسطوانة مباشرة واستبدلاها.

**نظام الأمان الوظيفي في حال العطل (Fail Safe System):** يتدفق الغاز من التغذية إلى مدخل آلة التخدير ويُوجَّه عبر نظام أمان الضغط (نظام الأمان الوظيفي في حال العطل) باتجاه وحدة إعطاء التدفق. لن يسمح "نظام الأمان الوظيفي في حال العطل" بتدفق أكسيد النيتروس إلا إذا تواجد ضغط تغذية الأكسجين في الآلة.

يتألف "نظام الأمان الوظيفي في حال العطل" من صمام مُنظم ضغط رئيسي موضوع في خط تغذية الأكسجين. يتم تزويد ضغط مرجعي، من المنظم الرئيسي، إلى الصمام التابع للمنظم الذي يتحكم بتدفق وضغط خط أكسيد النيتروس. يُمكِّن الضغط المرجعي فتح الصمام التابع للمنظم وتدفق أكسيد النيتروس عندما يتواجد ضغط أكسجين كافٍ بقيمة ٢٧٥ كيلو باسكال (٤٠ باوند/أنش مربع) عند المنظم الرئيسي. يمكن وبشكل غير مناسب إعطاء أكسيد نيتروس صافي بوجود ضغط تغذية أكسجين فقط حيث لا حاجة لتدفق أكسجين.

تتطلب القوانين حالياً حاميات (safeguards) لنسبة الأكسجين- أكسيد النيتروس، وهي بحاجة إلى حد أدنى من تدفق الأكسجين المنخفض والمستمر من ٢٠٠ إلى ٣٠٠ ميلليلتر/دقيقة كما يُشار إليه من قِبَل مقياس الجريان منخفض التدفق. تمنع الأجهزة الميكانيكية الحاذقة، الموجودة في الآلات المُصممة حديثاً، إعطاء مزيج غازات بتركيز أكسجين دون حد أدنى. تتغير نسب الأكسجين- أكسيد النيتروس من ٢٥ : ٧٥ إلى ٣٠ : ٧٠ اعتمادا على الشركة الصانعة.

**وحدات إعطاء الغازات:** يُوجَّه الغاز من "نظام الأمان الوظيفي في حال العطل" إلى وحدة إعطاء التدفق. استُخدِمَت طريقتين لتحقيق إعطاء وضبط مزيج الغازات: تناسب الغازات ومزج الغازات.

يتبع التركيز المُعطى لكل عنصر غازي في نظام تناسب الغازات إلى نسبة تناسبية مضبوطة بدقة ومُحددة مسبقاً ومستقلة عن التدفق الكلي للغاز. على سبيل المثال، من أجل مزيج مرغوب ذي ٧٠٪ أكسيد نيتروس و٣٠٪ أوكسجين تبقى النسبة المُقاسة للإعطاء الكلي دائماً ٧ : ٣ بغض النظر عن معدل التدفق الكلي. إن التركيز تابع فقط لعلاقة التناسب بين العناصر ولا يعتمد على وضعيات تدفقات الغازات المنفردة. يقوم بهذه الوظيفة مُنزِف (bleeder) أكسجين - أكسيد نيتروس يُستخدم بطريقة مشابهة لمازجات الأكسجين-الهواء المستخدمة عادة في أجهزة التنفس الاصطناعية الميكانيكية.

تستخدم معظم آلات التخدير الحالية مزج الغازات. في هذه التقنية، يتم ضبط وقياس تدفق كل عنصر بشكل مستقل من قِبَل وحدة الإعطاء التي تتألف من صمام إبري ومقياس جريان. يعمل الصمام الإبري كمُتَحَكِم بالتدفق

ووسيلة توليف لتوقيف أو إعطاء الغاز. مقياس الجريان هو مقياس تدفق متغير الفتحة يتألف من أنبوب شفاف بقطر داخلي مُتَضَيِّق ومؤشر تدفق ذو بكرة عائمة.

قد يكون من الضروري، خلال إعطاء التخدير، ملئ دارة تنفس المريض بالأكسجين بمعدل أعلى مما يمكن أن تقدمه وحدة إعطاء الغاز. تتواجد هذه الحالة، على سبيل المثال، في أي وقت يكون فيه المريض مفصولاً عن دارة التنفس. تتم تغذية تدفق الأكسجين العالي هذا من خلال صمام وخط الغسل بالأكسجين (Oxygen flush valve and line). يؤمن نظام الغسل بالأكسجين تدفق عالي يتراوح من ٣٥ إلى ٧٥ لتر/دقيقة عند ضغط عالي (٢٠-٤٥ باوند/أنش مربع ، ٢٧٠-٥٩٠ كيلو باسكال). مباشرة داخل دارة تنفس المريض.

إن لكل غاز وحدة إعطاء خاصة. تتصل هذه الوحدات على التوازي وتَصُب في مُجَمِّع مشترك قبل أن تُغادر الآلة. إن كلاً من التركيز والتدفق الكلي النهائيين، والمُحدَدَين بمزج تدفقات المُركبات، هما تابعان يعتمدان على دقة تجهيزات القياس والتحكم.

## (٣٢,٢,٢) إعطاء البخار Vapour Delivery

تُعتبر الموائع المختلفة، والتي تمتلك خصائص تخديرية، قوية جداً لكي تُستخدم كبخار نقي. وبالتالي يتم تخفيفها بغاز حامل مثل الهواء و/أو الأكسجين وأكسيد النيتروس والأكسجين. يُدعى الجهاز الذي يسمح بتبخير مادة التخدير المائعة وامتزاجها اللاحق بالغاز الحامل من أجل تقديمها للمريض بالمُبَخِر. وبالتالي فإن المبخرات تُنتج تركيز غازي صحيح من مُخدر مائع متطاير. يمكن عندئذ إضافة بخار المادة المُخدرة بشكل آمن إلى الأكسجين وأكسيد النيتروس المقاس مسبقاً مع مغادرة المزيج لمُجَمِّع المزج.

تتوفر المُبخرات بأحد تصميمين أساسيين: إما مضبوط بمقياس تدفق أو مُعايَر التركيز. في أي من هذين الجهازين، تُلتقط أبخرة مادة التخدير من المُبخر بواسطة غاز حامل يتألف إما من أكسجين نقي أو مزيج أكسجين-أكسيد نيتروس والذي يمر عبر المائع على شكل فقاقيع أو على سطح المائع. تُصمم مساحة سطح الاتصال بين المائع والغاز بحيث تضمن أكبر فعالية لعملية التبخير.

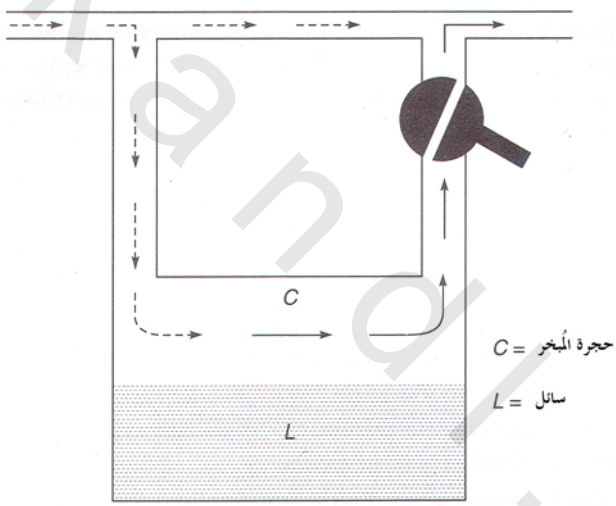
ينتج عن التبخير انخفاض في درجة حرارة المائع. ينشأ تدرج حراري بين المائع والمحيط نتيجة لانخفاض درجة حرارة المائع. يؤدي ذلك إلى انخفاض في كمية البخار الناتج. يتم من خلال إضافة مصدر حراري تقليل هبوط الحرارة إلى الحد الأدنى أو يُمنَع من أجل المحافظة على أداء المُبخر. يتحقق ذلك باستخدام حوض مائي أو بإحاطة المائع المُتَبَخِر بعنصر تسخين. كما يمكن لهذه الأجهزة أن تضبط أيضاً درجة حرارة الغاز الحامل الداخل إلى المبخر.

يجب أن تكون المواد المختارة لبناء المُبخر ذات حرارة نوعية عالية وناقلية حرارة عالية. تُغير المواد ذات الحرارة النوعية العالية درجة حرارتها بشكل أبطأ وتُحافظ على عطالة حرارية مناسبة. كلما ارتفعت الناقلية الحرارية ارتفع نقل الحرارة من المحيط. لقد كان النحاس من المواد الأكثر استخداماً؛ بسبب توفره وانخفاض كلفته. ورغم أن

النحاس مادة غير مثالية، فإن له حرارة نوعية معتدلة وناقلية حرارية عالية. وبناءً عليه فقد تم تسمية المُبخرات القديمة "بالغلاية النحاسية".

تتضمن المبخرات، من أجل أن تؤمن تركيز مستقر ومعروف لبخار مادة تخدير، على طريقة مناسبة للحصول على تخفيف مُعَايَر من البخار لتفادي تقديم مواد تخدير متطايرة قوية إلى المريض. يتم ذلك بوسائل متعددة وتُصنف المبخرات بناءاً عليه إلى عدة تصنيفات مشروحة أدناه.

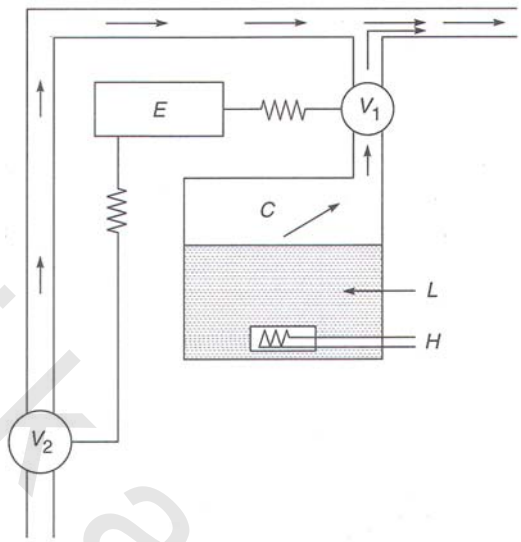
**المُبخر مُتغير التحويلة:** في هذه الحالة يتجزأ تدفق الغاز الحامل من مقياس التدفق إلى مجريين بنسبة معروفة: يُدعى المجرى الأول "بتدفق الحجرة" ويتدفق فوق المادة المائعة بينما يذهب المجرى الآخر عبر مسار التحويلة ولا يدخل حجرة التبخير. يمكن ضبط التركيز النهائي بتغيير نسبة التجزئة بين غاز المُبخر وغاز التحويلة باستخدام صمام تعديل (الشكل رقم ٣٢,٢).




**الشكل رقم (٣٢,٢). مخططاً توضيحياً للمبخر متغير التحويلة. يمكن تدوير صمام تجزئة التدفق لتغيير الأقطار النسبية لقنوات المُبخر والتحويلة.**

تعتمد نسبة تجزئة التدفُقَين على نسبة مقاومات تدفقاتهما والتي تُضبط بقرص ضبط التركيز وصمام تعويض درجة الحرارة الآلي. يُصبح عادة ٢٠٪ من الغاز غني ومُشبع بالبخار بينما يمر ٨٠٪ منه عبر التحويلة ثم يلتقي الجزأين عند مخرج المُبخر. إن خرج المُبخرات ذات التحويلة المتغيرة الحالية ثابت نسبياً في مجال تدفقات الغاز الجديد من ٢٥٠ ميلليلتر/دقيقة إلى ١٥ لتر/دقيقة تقريباً. إن خرج المُبخرات خطي عند درجة حرارة المحيطة (٢-٣٥ درجة مئوية) بسبب أجهزة تعويض درجة الحرارة الآلية التي تزيد تدفق الغاز الحامل مع انخفاض درجة حرارة المادة المائعة الطيارة. تُزَوَد صمامات عدم الرجوع لمنع مفعول الضغط الراجع على المبخر من دارة التنفس بسبب التهوية بالضغط الموجب.

**المُبخرات مُقاسة التدفق**: تُسخن مادة التخدير في هذه الأجهزة إلى درجة حرارة أعلى من نقطة الغليان (بحيث تتصرف كغاز) وعندئذ تُقاس في تدفق الغاز الجديد (الشكل رقم ٣٢,٣).




**الشكل رقم (٣٢,٣). مخططاً توضيحياً للمبخر مقاس التدفق.**

تمتلك مواد التخدير المختلفة فعاليات وخصائص فيزيائية مختلفة لذلك فهي تتطلب مُبخرات مُصممة خصيصاً لكل مادة. وبالتالي فإن المبخرات هي ذات "نوعية تابعة لمادة التخدير". تُعاير المُبخرات من أجل غاز واحد عادة باستخدام مُرشحات مُرمزة (keyed filters) تُخفض احتمال تعبئة المُبخر بالمادة الخطأ.

تُزَوَد المُبخرات بعدة أقفال تشابكية تتعلق بالأمان وتضمن:

١- تشغيل مُبخر واحد فقط.

٢- أن الغاز يدخل فقط إلى المُبخر الذي يعمل.

٣- تخفيض خرج البخار إلى الحد الأدنى عندما يكون المُبخر متوقفاً عن العمل.

٤- تشابك المُبخرات في دارة الغاز مما يضمن توضعها السليم.

٥- متابعة ميزات الأمان الأخرى والتي تتضمن المُرشحات المرمزة والتثبيت المُحكم لتخفيض الميلان والذي قد يعيق عمل الصمامات.

## (٣٢,٢,٣) نظام الإعطاء Delivery System

**نظام تنفس المريض**: إن وظيفة نظام تنفس المريض هو إعطاء المُخدر وغازات التنفس إلى ومن المريض. يصف هذا النظام كلاً من نمط العمل والجهاز الذي يتم فيه إعطاء مواد الشهيق إلى المريض. قد يكون نظام التنفس:

obeikandl.com

١- من نوع إعادة تنفس: حيث تتم إعادة تنفس بعض أو كل غازات الزفير السابقة بما فيها ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء (بعد مرورها على ماص $CO_2$)[١].

٢- من نوع بدون إعادة تنفس: يتم فيه إعطاء تغذية غاز جديد إلى المريض وتُمنع إعادة تنفس غازات الزفير السابقة.

تُطبق في الناحية العملية عادة الأنظمة من نوع إعادة[٢] تنفس. يتحقق ذلك باستخدام:

- صمام إعادة تنفس أحادي الاتجاه.
- نظام امتصاص ثاني أكسيد الكربون ويشمل:
  - نظام أحادي الاتجاه (دائرة)
  - نظام ثنائي الاتجاه (إلى و من)

يبين الشكل رقم (٣٢,٤) مبدأ نظام بدون إعادة تنفس يستخدم صمام بدون إعادة تنفس أحادي الاتجاه. إما أن يُشفط الغاز الجديد الداخل إلى جزء الشهيق بتأثير الجهد الشهيقي للمريض أو أن يُنفخ خلال التهوية المُتحكم بها. يُصمم الصمام (بدون إعادة تنفس) بحيث أنه يتقبل غاز الشهيق عندما يكون مفتوحاً ولا يسمح بالتدفق من جزء الزفير بالمرور عبره. يحدث العكس عندما يزفر المريض حيث يُغلق صمام الشهيق ويفتح صمام الزفير ليسمح بانطلاق غازات الزفير. يتضمن نظام الشهيق عادة كيس مطاطي بسعة لترين يعمل كخزان للغاز الجديد.

تُعاد تعبئة كيس التخزين بالغاز الجديد خلال طور الزفير كما يمكن ضغطه طبيعياً لتزويد تهوية مُساعدة أو مُتحكم بها. يتصل مصدر الغاز الجديد إلى خرطوم تنفس متموج طويل (طول لا يقل عن ١٠ سنتمتر وحجم داخلي ٥٥٠ ميليلتر). يمثل هذا الحجم حجماً أكبر قليلاً من الحجم المدي للمريض البالغ المُخدر الذي يتنفس ذاتياً. يتصل هذا الخرطوم بدوره مع صمام مُتغير التوتر ذو قلب مُحمل بنابض من أجل طرد غازات الزفير. يقع هذا الصمام أقرب ما يمكن إلى المريض ويدعى بصمام APL (تحديد تعديل الضغط). يعمل صمام الـ APL كصمام تمرير (pop-off) لضمان عدم تعرض المريض إلى الاندفاعات في تغذية الغاز. عندما يواجه الغاز مقاومة من المريض يتم طرد (pops-out) الغاز الفائض.

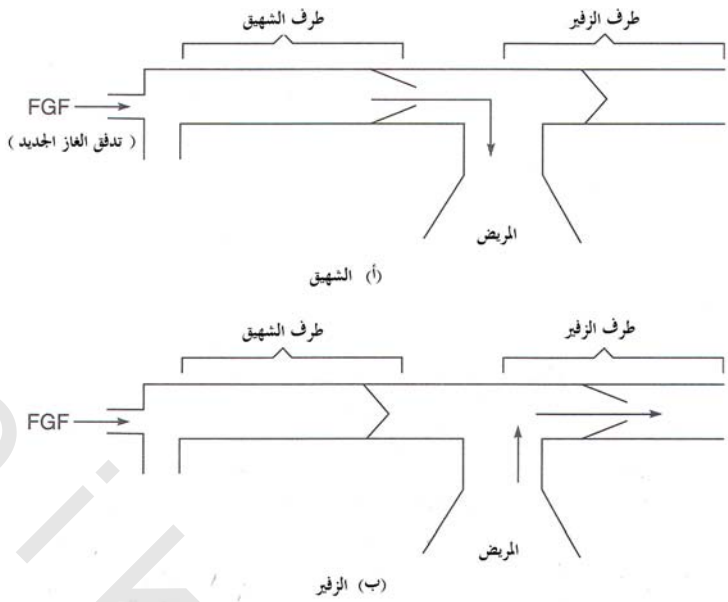
يبين الشكل رقم (٣٢,٥) هذا النظام. يتحقق في هذا النظام التخلص من ثاني أكسيد الكربون بفعل الشطف للغاز الجديد المُقدم مع نظام التنفس بدلاً من الفصل. ومن الواضح أن هذا النظام يحتفظ باحتمال إعادة تنفس ثاني أكسيد الكربون عندما تنخفض معدلات تدفق الغاز الجديد.

---

(١) الجملة بين قوسين إضافة من المترجم لزوم التوضيح.

(٢) تم حذف -non من النص الانكليزي لزوم النظام.

obeikandi.com




**الشكل رقم (٣٢,٤). صمام بدون إعادة تنفس.**

**الشكل رقم (٣٢,٥). نظام التنفس (Mapleson) المُستخدم في التنفس الذاتي (تدفق الغاز الجديد FGF)، صمام APL (تحديد تعديل الضغط)، RB (كيس التخزين).**

**نظام الدائرة:** تُعتبر الدائرة أكثر دارات التنفس شهرة وهي حلقة مغلقة من أنابيب ذات تجويف كبير وضغط منخفض مجزأة إلى طرف شهيقي وطرف زفيري. تشتمل الحلقة بداخلها على صمامين أحاديي الاتجاه وماص $CO_2$ وطرد لغاز الدارة (تصريف) وصمام تحديد تعديل الضغط وكيس تخزين وتجهيزات تنظيم مجرى الهواء تتضمن على الأقنعة والأنابيب داخل الرغامى. يتصل المريض إلى الماص بخرطومين متموجين أحدهما شهيقي والآخر زفيري.

يُقدم الغاز الجديد قبل صمام التنفس الشهيقي وحيد الاتجاه. يتحرك الغاز خلال الشهيق عبر الماص، إما من كيس التخزين أو من منفاخ جهاز التنفس الاصطناعي، ثم الصمام الشهيقي إلى الطرف الشهيقي من الدارة. يُحافِظ فرق الضغط بين الطرف الشهيقي والطرف الزفيري على الصمام الزفيري أحادي الاتجاه مغلقاً. ينعكس فرق الضغط هذا خلال الزفير حيث يُغلَق الصمام الشهيقي ويُفتَح الصمام الزفيري مما يسمح لغاز الزفير بالتدفق إلى كيس

التخزين أو منفاخ جهاز التنفس الاصطناعي والماص. يُمكِّن صمام الـ APL اختصاصي التخدير من أن يضبط حجم وضغط الدارة من خلال تنظيم تصريف الغاز من الدارة. إما أن يُنقَل عادم الدارة إلى داخل الغرفة أو أن يُجمَّع في نظام تصريف (تنظيف) الغاز.

تتوفر صمامات التنفس وحيدة الاتجاه بعدة تصاميم. الصمام الأكثر استخداماً في الأنظمة الحديثة هو الصمام ذو القرص. يتألف هذا الصمام من جزء متحرك واحد وهو القرص المسطح. يُصنَّع القرص إما من البلاستيك أو من المعدن ويُحمَّل مقابل مقعد الصمام إما بالجاذبية أو بنابض ميكانيكي. توضع الصمامات في تجهيزات شفافة بحيث يمكن مراقبة عملها.

يُصمم الـ APL لتنظيم الضغوط من خلال التعديل اليدوي لتوتر النابض مقابل القرص. عندما يتغلب ضغط الدارة على مقاومة الصمام يرتفع القرص عن مقعده ويتدفق الغاز ليُطرد من الدارة. تُراقب حجوم وضغوط الدارة خلال كامل فترة إعطاء التخدير بحيث يُعَدَّل صمام الـ APL بشكل مناسب.

يتضمن الماص على مادة ماصة للـ $CO_2$ (كلس الصودا) في حاوية مغلقة. يُستخدم كلس الصودا على شكل حبيبات بحيث يكون لها حجم كبير ومساحة سطح كبيرة. وبذلك، يبقى هواء الزفير على اتصال مع كلس الصودا لفترة زمنية طويلة نسبياً مما يزيد فعالية الامتصاص. يتم اختيار الحجم الأفضل للحبيبات بالأخذ بعين الاعتبار أن الحبيبات ذات الحجم الكبير جداً تؤدي إلى ضعف اتصال ورداءة في الامتصاص بينما يُسبب الحجم الصغير جداً للحبيبات إلى انسداد كلس الصودا ومقاومة تدفق الغاز. يُجبر غاز الزفير على التدفق خلال الماص حيث يُزال الـ $CO_2$. يُمزج الغاز المتبقي مع الغاز الجديد المُتدفق من الآلة ويُعاد تنفسه خلال الطرف الشهيقي. يتغير لون كلس الصودا من القرنفلي إلى المُصفَّر عندما يُستهلك.

إن كيس التنفس أو الخزان ذو مطاوعة عالية وحجم سهل التوسع. يسمح الكيس بتجميع الغاز خلال الزفير بحيث يتوفر خزان غاز من أجل الشهيق التالي. يؤمن هذا الكيس وسيلة المراقبة المرئية لنمط التنفس الذاتي للمريض كما يحمي من الزيادة في ضغط دارة التنفس. يؤمن الكيس أيضاً وسيلة يمكن أن تُستخدم لتهوية المريض يدوياً. يُوظَّف إما نظام تصريف سلبي أو فعال من أجل إزالة عادم الدارة. يتم تصريف فضلات غازات التخدير في نظام التصريف السلبي مباشرة داخل أنظمة تهوية الغرفة المتوفرة. تُوصِل الأنابيب جهاز التنفس الاصطناعي أو مخرج عادم صمام الـ APL التابع لدارة التنفس إلى نظام تهوية المستشفى. تتصل دارة التخدير في الطرائق الفعالة مباشرة مع نظام شفط عالي التدفق من خلال رابط مناسب.

### (٣٢,٢,٤) الترطيب Humidification

قد تُسبب الغازات الجافة المُزَوَدة من آلة التخدير تجفيف كبير إكلينيكياً للمادة المخاطية. قد يساهم ذلك في احتباس الفرز وتوقف تدفق المادة المخاطية مما يؤدي إلى انخفاض في مطاوعة الرئة. لذلك يجب ترطيب الهواء أو غازات التخدير.

**الرطوبة المطلقة:** وهي أكبر كمية بخار ماء يمكن حملها في حجم معين من الهواء (ميليغرام/لتر). تتحدد هذه الكمية بشكل كبير بدرجة الحرارة حيث يمكن للهواء الدافئ أن يحمل رطوبة أكثر.

**الرطوبة النسبية (RH):** وهي النسبة المئوية لكمية الرطوبة الموجودة في عينة ما مقارنة مع الرطوبة المطلقة الممكنة عند درجة حرارة العينة.

من المثالي تأمين الغازات إلى مجرى هواء المريض عند درجة حرارة الجسم وبرطوبة نسبية ١٠٠٪. تتضمن آليات الترطيب الأكثر استخداماً مُرطبات مجرى الهواء المُسَخَنة والمُرَذِذات ومبادلات الحرارة والرطوبة.

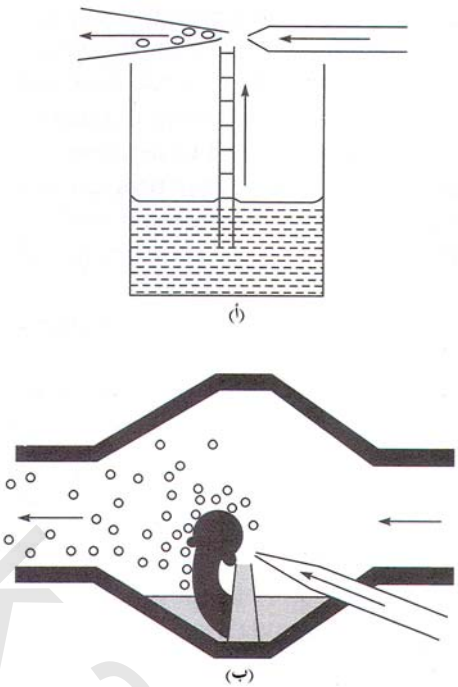
١- يمر الهواء في **المُرطبات المُسخَنة** فوق سطح الماء المُسَخَن حيث يتم التبخير. تُضبط درجة حرارة الماء باستخدام الترموستات. يُفضل استخدام ترموستاتَين على التسلسل بحيث أنه إذا فشل أحدهما فإن الآخر يستطيع قطع التغذية الكهربائية قبل الوصول إلى درجة حرارة خَطِرة. يوضع حساس الحرارة عادة في نهاية أنبوب الإعطاء القريبة من المريض لضمان فعالية عُظمى.

٢- تُستخدم **المُرذذات** لتزويد الطوبة على شكل قطرات صغيرة. يمكن استخدام دفق من الهواء أو الغازات لحمل الماء المسحوب من الخزان (الشكل رقم ٣٢,٦). يتجزأ الماء إلى عدد كبير من القطرات الصغيرة مع دخوله إلى الدفق أي أنه يترذذ. تُستخدم المرذذات التي تعتمد على هذا المبدأ أيضاً في أجهزة التنفس الاصطناعية. يتم في المرذذات فوق الصوتية تجزئة الماء إلى قطرات صغيرة بالقذف المستمر بالأمواج فوق الصوتية والتي تَهُز الماء بقوة.

٣- تعتمد **مبادلات الحرارة والرطوبة** على مبدأ المحافظة على حرارة ورطوبة المريض ذاته بدون طاقة خارجية أو مصدر مياه. تتضمن الخراطيش المليئة بالألياف مادة ماصة للرطوبة تمتص ماء وحرارة زفير المريض. يتدفق غاز دارة الشهيق الجاف خلال الشهيق عبر المادة الماصة الرطبة والدافئة حيث يُسَخَّن ويَتَرَطَب. إن فعالية الخراطيش الليفية في التسخين أقل من فعالية المرطبات إلا أنها تُمانع بشكل كبير الضياع الحراري للمريض.

اعتُمِدَت دارات التنفس ومُرشحات البكتريا النظيفة أو المعقمة للاستخدام مرة واحدة لحماية المريض من العدوى. واستُخدِمَت بشكل واسع لتخفيض العدوى التنفسية بعد الجراحة.

رغم بساطة تصميم دارات التنفس إلا أنها قد تكون مصدر للعديد من المشاكل. المشكلة الخطيرة الأكثر معرفة هي احتمال فك الاتصال في أي موقع من المواقع العديدة. بَيَّنَ العديد من الباحثين أن ١٠-١٥٪ من الحوادث المؤسفة التي من الممكن تفاديها تنتج مباشرة من تسريبات مجرى الهواء وفصل التوصيلات. تتضمن أسباب التسريبات وفصل التوصيلات: التوافق غير الجيد بسبب القياس غير الصحيح والتوصيلات مُتَضَيقة الشكل غير الصحيحة والتصنيع غير المناسب للمواد والتوسع الحراري وقطع التوصيل المكسورة وغياب جهاز الإقفال.




**الشكل رقم (٣٢,٦). مبدأ المرذذة: (أ) تطبيق تأثير برنولي، يمكن استخدام دفق هوائي لسحب السائل إلى أعلى أنبوب صغير من الخزان وحمله كقطرات صغيرة. (ب) قد تجبر القطرات الصغيرة على الاصطدام على "سندات" مسببة تجزئتها إلى قطرات أصغر بكثير.**

## (٣٢,٢,٥) أجهزة التنفس الاصطناعية Ventilators

جهاز التنفس الاصطناعي هو جزء مُكَمِّل لنظام إعطاء التخدير. يُزوِد جهاز التنفس الاصطناعي قوة موجبة لنقل غازات التنفس والتخدير إلى داخل المريض متوقف التنفس. تؤمن أجهزة التنفس الاصطناعية تهوية موجبة الضغط عند "حجم بالدقيقة" مضبوط (حجم مدي، معدَّل). تعمل أجهزة التنفس الاصطناعية ميكانيكياً أو الكترونياً بمصدر طاقة هوائي أو كهربائي.

تتألف غالبية أجهزة التنفس الاصطناعية المستخدمة حالياً من منفاخ متوضع ضمن علبة. يتصل المنفاخ مباشرة مع دارة التنفس ويسبب تدفق حجم محدد مسبقاً من الغاز إلى داخل المريض. يتدفق الغاز إلى داخل الدارة من عملية انطباق منفاخ جهاز التنفس الاصطناعي من خلال ضغط حجم الغاز المحيط الموجود ضمن علبة المنفاخ.

يتوضع جهاز التنفس الاصطناعي إما ضمن الإطار الرئيسي لآلة التخدير أو يُربط كوحدة مُلحقة. يتصل خرج جهاز التنفس الاصطناعي مباشرة إلى دارة تنفس المريض التابعة لنظام إعطاء التخدير في موقع العمل بدلاً عن كيس تخزين التنفس. وبذلك يعمل جهاز التنفس الاصطناعي كمُتَحَكِم لكلاً من التهوية ومصدر الغاز للدارة ؛ لأنه يحل محل وظائف كيس التخزين وصمام الـ APL.

### (٣٢,٢,٦) دارة المريض Patient Circuit

تتألف دارة المريض من أنبوب مطاطي أسود متعرج مضاد للكهرباء الساكنة وتوصيلات أنبوب مطلية بالكروم (مفصل T) وكيس إعادة تنفس بسعة ٢ لتر وصمام هايدبرينك (Heidbrink) وقناع وجه مع توصيلات مثنية. يُصمم قناع الوجه من جهة ليلاءم وجه المريض بشكل محكم وبدون أية تسريبات ومن جهة أخرى ليُبذل أقل ضغط ممكن بحيث لا يضغط على الفكين مما قد يؤدي إلى إعاقة التنفس.

## (٣٢,٣) الكترونيات آلة التخدير

**Electronics in the Anaesthetic Machine**

من المتوقع من أي نظام إعطاء أن يُحقق وبشكل دقيق وآمن متطلبات المريض المتغيرة من التنفس وغازات التخدير. يجب أن يكون النظام قادراً على مراقبة وظيفة نظام الإعطاء وكذلك تأثير التخدير على المريض. أيضاً، يجب مراقبة وضبط ليس فقط أداء الآلة خلال الإجراء بأكمله وإنما يجب أيضاً تقييم حالة الآلة بشكل مستمر وكذلك تسجيل هذا التقييم. ولتحقيق هذه المتطلبات فقد كان تأثير الإلكترونيات على تصميم وعمل آلة التخدير استثنائياً.

ما يزال لآلة التخدير التي تعمل بالهواء المضغوط بشكل كامل عدة ميزات تتضمن سهولة الفهم وسهولة الصيانة وفاعليتها وانخفاض كلفتها المادية. ورغم ذلك فقد تم مواجهة مشاكل محددة أثرت بشكل مباشر على أداء وسلامة آلة التخدير التي تعمل بالهواء المضغوط. تم التغلب على هذه المشاكل باستخدام التقنيات الأحدث وأتمتة الآلات وإعطاء المواد المخدرة. يُسهل جهاز التخدير الذي يعتمد على المعالج الصغري تطوير التالي:

- تغذية الغاز وأنظمة التناسب.
- دارات التنفس.
- أجهزة تصريف الغاز والترطيب.
- أجهزة التنفس الاصطناعية.

يسمح استخدام تقنية المعالج الصغري بتوحيد كامل لوظائف التحكم والسلامة وحماية المريض من: فشل تغذية الغاز وفشل التغذية الكهربائية والأمزجة منخفضة الأكسجين وفصل الوصلات وفشل عمل المبخر والضغط الزائد لمجرى الهواء والحجم الزفيري بالدقيقة الخارج عن الحدود المحددة مسبقاً والأكسجين والمواد المتطايرة الخارجة عن الحدود المحددة مسبقاً ونهاية مد الـ $CO_2$ الخارج عن الحدود المحددة مسبقاً والعطل الفني. تُسبب جميع الحالات غير الطبيعية إنذاراً يظهر على لوحة المراقبة والتي تُظهر أيضاً طبيعة الخلل أو العطل.

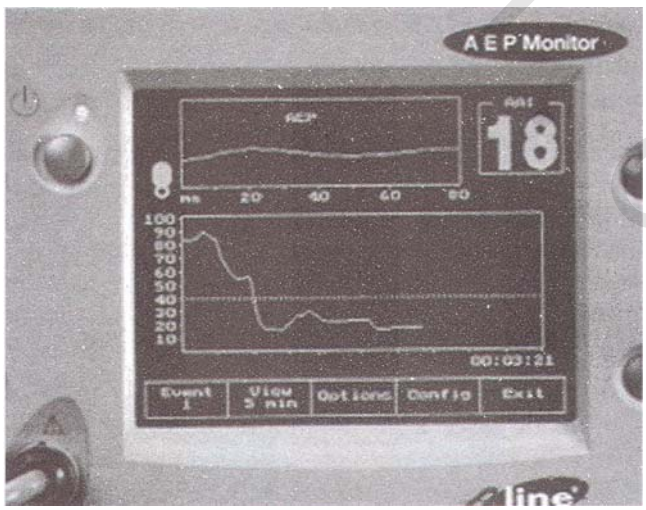
أصبحت تطبيقات الحاسب مع مداخل ومخارج معالجة المعطيات المناسبة وأتمتة وتوحيد وظائف الآلة وحفظ السجلات متوفرة بشكل متزايد. كما كَثُرَ استخدام التجهيزات المُصممة وفقاً لطبيعة المُستخدِم (ergonomically) والمزودة بأنظمة إظهار سهلة القراءة والتفسير.

obeikandi.com

إن للتخدير تأثير كبير على جميع الأنظمة الفيزيولوجية، وباعتبار أن معظم هذه التأثيرات ضارة بالصحة فمن الضروري معرفة كيفية تأثُر جسم الإنسان بعملية التخدير. يجب، من وجهة نظر زيادة آمان المريض وتحقيق درجة عالية من إدارة الخطر، مراقبة جميع الأنظمة التي تتأثر بعقاقير التخدير. يتم ذلك باستخدام أجهزة المراقبة المزودة بإنذارات صوتية ومرئية، كما تم توضيحه في الفصل السادس.

يُنصح بقياس تأثير المادة المخدرة على مستوى وعي (شعور) المريض باعتبار أن استجابات الأشخاص لجرعة معينة من مواد التخدير تختلف بشكل كبير من شخص لآخر. إحدى طرائق القياس هذه هي قياس كمون الاستثارة السمعي (AEP) وهو مؤشر فيزيولوجي عصبي لتغيرات مستوى الوعي خلال التخدير. إن الـ AEP إشارة كهربائية موجودة ضمن إشارة الـ EEG ويمكن الحصول عليها بتوصيل منبه سمعي إلى العصب السمعي للمريض.يتم الاستخراج السريع لإشارة المُركبة AEP، وهي استجابة الدماغ للتنبيه السمعي للعصب السمعي، بتخطيط الإشارة وإنشاء دليل يظهر كمنحني تخطيطي ورقم وحيد على شاشة المونيتور (الشكل رقم ٣٢,٧).

يعطي هذا الدليل، والذي يُحسب بطريقة النمذجة الرياضية المناسبة، مقدار كمي لمستوى الوعي. نموذجياً على سبيل المثال، إذا كان هذا الدليل أعلى من ٦٠ يكون المريض واعياً، وتنخفض قيمة الدليل مع نقصان مستوى الوعي (يحدث فقدان الوعي نموذجياً عند قيمة دليل دون ٣٠). تُطبَق سماعات رأسية، قابلة لإعادة الاستخدام، تنبيه على العصب السمعي للحصول على AEP، والتي تُقاس عندئذ باستخدام مجموعة من ثلاثة الكترودات ذات استخدام لمرة واحدة. يُطبق اثنان من هذه الإلكترودات إلى مقدمة الرأس ويُطبق الثالث خلف الأذن؛ وذلك لتخمين مستوى الوعي بشكل سريع وغير بضعي.




**الشكل رقم (٣٢,٧). مونيتور AEP (كمون الاستثارة السمعي) لقياس مستوى الوعي للأشخاص خلال التخدير العام. عن (Courtesy: Alars Medical Systems).**