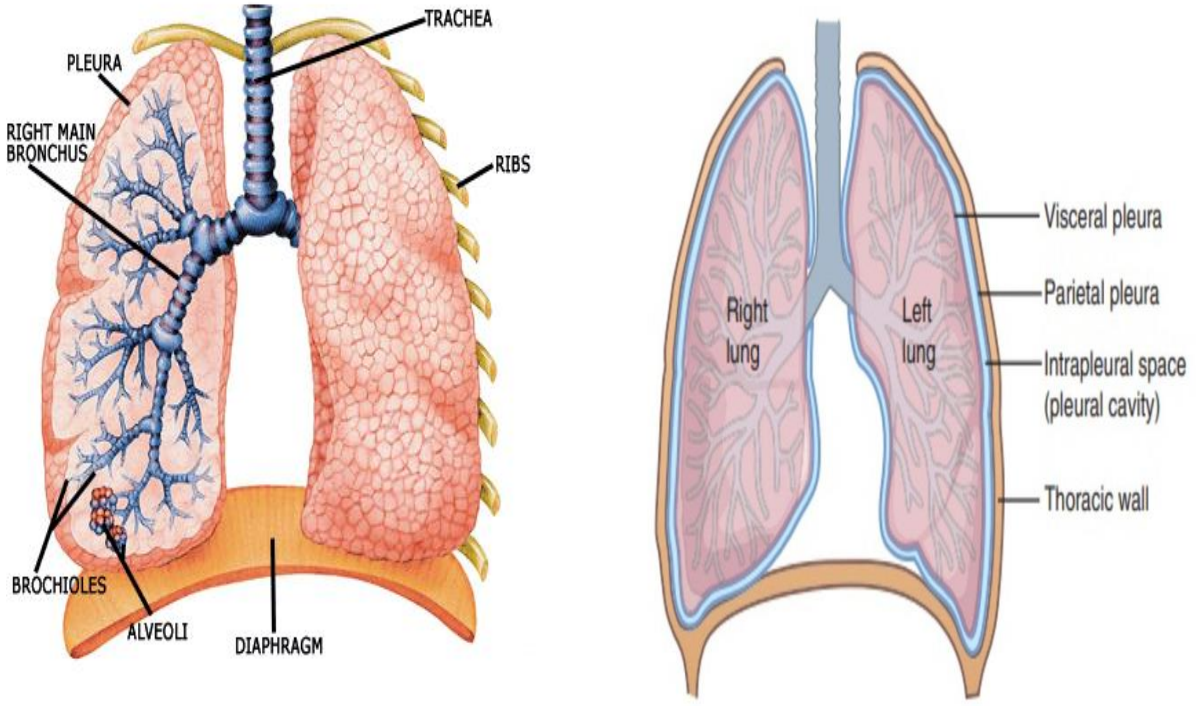
فسلجة التنفس

التنفس في الأنسان

ويتم عن طريق الرئتين, اليمنى وتتكون من ثلاثة فصوص واليسرى من فصين وتحاط الرئتان بغشاء رقيق يدعى بغشاء الجنب Pleural Membrane (أو Pleura) الذي يتكون من طبقتين الأولى خارجية تبطن القفص الصدري وعضلة الحجاب الحاجز Diaphragm وتدعى بالجنب الجداري Parietal Pleura والثانية داخلية تغلف الرئتين وتدعى بالجنب الأحشائي Visceral Pleura وهناك فسحة رقيقة جدا بين الطبقتين تدعى بالتجويف الجنبي Pleural Cavity تملأ بسائل خاص يمنع احتكاك الطبقتين خلال عملية الشهيق حيث تتمدد الرئتان .



الرئتين في الأنسان

المسالك الهوائية

وتبدأ بالمنخرين وتجويفي الأنف حيث يتم ترطيب الهواء وتنظيم درجة حرارته وتصفيته من المواد الغريبة اثناء مروره ثم يتجه الهواء نحو البلعوم والحنجرة والرغامى Trachea ثم القصبات Bronchi ثم القصيبات الهوائية Bronchioles التي تنتهي بالجيوب السنخية Alveolar Sacs التي تتسع لتكون مايعرف بالأسناخ الرئوية (وتدعى ايضا بالحويصلات الرئوية) Alveoli. وتعد هذه الحويصلات الوحدة الوظيفية في الرئة اذ تحدث عملية التبادل الغازي مع الدم عن طريقها.

- تكون الحويصلات الرئوية ذات جدار رقيق مكون من صف واحد من الخلايا الطلائية المسطحة مغطى بطبقة رقيقة من سائل خاص يجعل السطح رطبا كما يزود الجدار بشبكة من الأوعية الدموية الشعرية وعليه فأن هذه الأسناخ هي موقع التبادل الغازي بين الهواء وبين الدم المار عبر هذه الأوعية الدموية الشعرية حيث ان الحاجز الموجود بين الدم والهواء يتكون من غشائين رقيقين هما الخلايا الطلائية للأسناخ والخلايا البطانية للشعيرات الدموية.

الحجوم التنفسية Respiratory Volumes

- ان حجم الهواء الداخل الى الرئتين وكذلك الخارج منها اثناء التنفس الأعتيادي اي في حالة الراحة يساوي تقريبا 0.5 L ويدعى بالحجم المدي أو الحجم المتناوب Tidal Volume.
- يمكن للشخص راديا ان يقوم بعملية شهيق عميق بعد الشهيق الأعتيادي وبذلك يدخل كمية اضافية من الهواء تساوي تقريبا 2.5 L ويدعى هذا الحجم من الهواء بالحجم الأحتياطي الشهيقي Inspiratory Reserve Volume وذلك يحدث لا راديا اثناء القيام بمجهود كبير.
- يمكن للشخص راديا ان يقوم بعملية زفير قوي بعد زفير اعتيادي وبذلك يطرح كمية اضافية من الهواء يبلغ حجمها تقريبا 1.5 L ويدعى هذا الحجم من الهواء بالحجم الأحتياطي الزفيري Expiratory Reserve Volume ويحدث ذلك لا راديا اثناء القيام بمجهود كبير ايضا.
- ان مجموع الحجم المدي + الحجم الأحتياطي الشهيقي + الحجم الأحتياطي الزفيري يعرف بالسعة الحيوية Vital Capacity ويبلغ 4.5 L
- حتى بعد القيام بأقوى عملية زفير تبقى كمية من الهواء داخل الرئتين تقدر بحوالي 1.3 L ويطلق عليها بالحجم المتبقي أو الحجم الثمالي Residual Volume

- ان مجموع قيمتي السعة الحيوية + الحجم المتبقي يطلق عليه بالسعة الكلية للرئتين Total Lung Capacity ويبلغ 5.8 L اي حوالي 6 L.
- يبقى جزء من الهواء الداخل في المجاري التنفسية كالمنخرين والقصبة الهوائية والقصيبات اي لا يصل الى الحويصلات الهوائية لذلك فأنه لايشترك في عملية التبادل الغازي الذي يحدث عبر هذه الحويصلات ومن هنا جاءت تسمية الحيز الذي يشغله هذا الهواء بالحيز الميت Dead Space ويقدر بحوالي 150 ml أي 0.15 L .

<u>نقل الأوكسجين :</u>

يجهز الدم بالأوكسجين عن طريق الرئتين لنقله الى انسجة الجسم . ويعتمد تجهيز الأنسجة بالأوكسجين على العوامل الآتية :

1- مقدار الأوكسجين الداخل الى الرئتين.
2- الكمية الكافية من الغاز المتبادل بين الأسناخ الرئوية والأوعية الدموية الشعرية.
3- كفاءة الدم في حمل الأوكسجين.
4- كمية الدم الواصلة الى النسيج .

أما العوامل التي تحدد كمية الأوكسجين في الدم فهي :

1- كمية الأوكسجين الذائب في الدم.
2- كمية الهيموغلوبين في الدم .
3- درجة الفة الهيموغلوبين للأوكسجين .

يوجد الأوكسجين في الدم بحالتين هما:

1- ذائبا في الدم بنسبة قليلة جدا حوالي % (1-3) .
2- متحدا مع الهيموغلوبين بنسبة كبيرة جدا . حوالي % (97-99)

تتكون جزيئة الهيموغلوبين من 4 وحدات ثانوية (كل وحدة ثانوية عبارة عن سلسلة متعدد الببتايد Polypeptide منطوية)

يمكن لجزيئة هيموغلوبين واحدة أن ترتبط بـ (4 - 1) جزيئات اوكسجين وذلك لأمتلاكها أربعة مجاميع هيم وكل مجموعة هيم تمتلك آيون حديدوز مع التأكيد على ان كل أيون حديدوز يمتلك القدرة على الأرتباط بجزيئة اوكسجين واحدة .

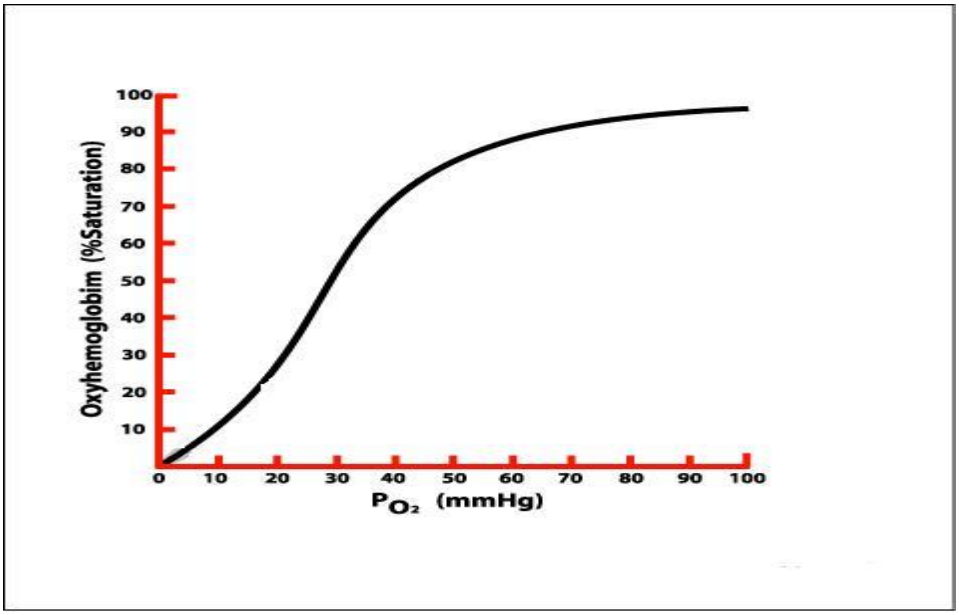
عندما تكون جزيئة الهيموغلوبين محملة بالأوكسجين يدعى المركب الناتج بالهيموغلوبين المؤكسج Oxyhemoglobin أي ان العملية هنا عملية أكسجة وليست أكسدة وذلك لأن الحديد بعد الأرتباط بالأوكسجين يبقى بهيئة حديدوز ولا يتأكسد الى حديديك .

يحمل الدم كمية كبيرة من الأوكسجين لأحتواءه على الهيموغلوبين الذي يتحد مع الأوكسجين

$$Hb + O_2 \longleftrightarrow HbO_2$$

وهذا الأرتباط سريع وراجع مما يسهل عملية الأتحاد في الرئتين وفك الأرتباط في الأنسجة.

- تعتمد نسبة اتحاد الهيموغلوبين بالأوكسجين بدرجة كبيرة على الضغط الجزئي Partial Pressure لغاز الأوكسجين (PO_2)
- اذا عرض الدم لكمية كبيرة من الأوكسجين اي عندما يكون الضغط الجزئي للأوكسجين مرتفعا فأن الدم سيتشبع بهذا الغاز بنسبة % 100 وبذلك سيبلغ تركيزه في الدم $20\ cm^3$ لكل $100\ cm^3$ من الدم وهذا مايدعى بسعة الدم للأوكسجين Oxygen Capacity .
- في الرئتين حيث يكون الضغط الجزئي للأوكسجين حوالي 100 ملم زئبق فأن الدم يحمل حوالي $19\ cm^3$ من الأوكسجين بدلا عن $20\ cm^3$ اي ان نسبة تشبع الهيموغلوبين بالأوكسجين تبلغ حوالي % 95 .
- في الدم الوريدي العائد من الأنسجة بأتجاه الأذين الأيمن يبلغ الضغط الجزئي للأوكسجين حوالي 40 ملم زئبق و يحمل الدم حوالي $14\ cm^3$ من الأوكسجين في كل $100\ cm^3$ من الدم اي تكون نسبة تشبع الهيموغلوبين بالأوكسجين % 70 .
- وعليه فأن العلاقة بين الضغط الجزئي للأوكسجين ونسبة تشبع الهيموغلوبين بالأوكسجين علاقة طردية ولكنها ليست خطية بل تكون بشكل منحنى يشبه الحرف S ويدعى هذا المنحنى بمنحنى تفكك الأوكسجين Oxygen Dissociation Curve.



منحنى تفكك الأوكسجين

- من العوامل الأخرى المؤثرة على قابلية اتحاد الأوكسجين بالهيموغلوبين كمية CO_2 ودرجة الحرارة حيث يتناسبان تناسبا عكسيا مع هذه القابلية. فزيادة الضغط الجزئي لغاز CO_2 يؤدي الى انخفاض الأس الهيدروجيني (أي الحامضية PH) للدم وهذا بدوره يؤدي الى ضعف قابلية ارتباط الأوكسجين مع الهيموغلوبين , ولهذا التأثير اهمية وظيفية حيث يساعد على اتحاد الأوكسجين مع الهيموغلوبين في الرئتين وانفصالهما في الأنسجة ويعرف هذا التأثير بتأثير بور Bohr Effect, وفيما يتعلق بتأثير الحرارة فعند القيام بفعاليات عالية في الأنسجة ترتفع درجة حرارتها قليلا وهذا يسهل انفصال الأوكسجين عن الهيموغلوبين وبذلك تتزود الأنسجة بكمية اضافية من الأوكسجين وعكس ذلك يحدث عند برودة الأنسجة حيث يصعب فصل الأوكسجين عن الهيموغلوبين مما قد يؤدي الى موت النسيج لعدم حصوله على الكمية الكافية من الأوكسجين.

نقل ثنائي اوكسيد الكربون CO_2

يوجد CO_2 في الدم بأربعة اشكال هي:

١- حوالي 4 % ذائبا في الدم.

٢- حوالي 1 % متحدا مع الماء مكونا حامض الكاربونيك H_2CO_3.

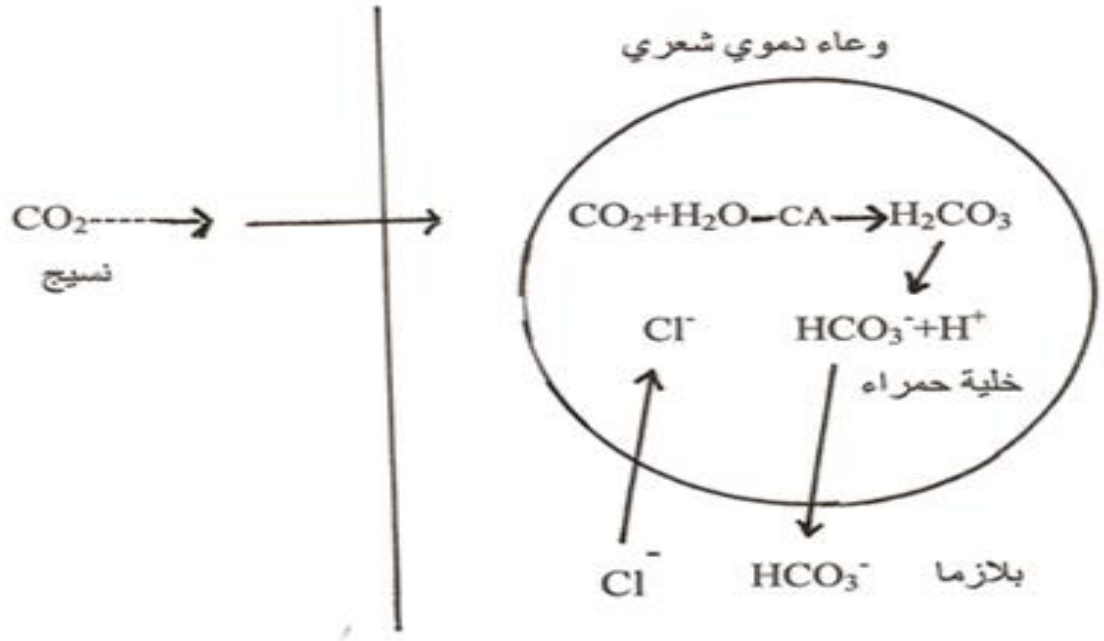
٣- حوالي 65 % بهيئة بيكاربونات ناتجة عن تأين حامض الكاربونيك

حيث يعبر الجزء الأكبر من الـ CO_2 من بلازما الدم الى خلايا الدم الحمر حيث يتحد مع الماء مكونا حامض الكاربونيك وهذا التفاعل يحتاج وجود انزيم كاربونيك انهيدريز ثم يتحلل الحامض الى بيكاربونات وأيون هيدروجين .

$$H_2O + CO_2 \xrightarrow{\text{Carbonic anhydrase (CA)}} H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \longrightarrow HCO_3^- + H^+$$

- يجب ازالة ايونات الهيدروجين الناتجة من الدم لتجنب زيادة حموضة الدم حيث يعادل قسم منها بواسطة الهيموغلوبين وقسم منها بواسطة البفرات الموجودة في الدم وجزء يطرح عن طريق الكليتين.
- يتم انتقال ايونات البيكاربونات السالبة من الخلايا الحمر الى البلازما بالتبادل مع ايونات الكلورايد Cl^- التي تدخل من البلازما الى الخلايا الحمر للمحافظة على التوازن الأيوني.



- عند وصول الدم الى الرئتين تنعكس العملية اعلاه حيث تخرج ايونات الكلورايد من الخلايا الحمر الى البلازما و تدخل البيكاربونات من البلازما الى الخلايا الحمر حيث تتحلل الى CO_2 وماء ويخرج الـ CO_2 بعد ذلك الى البلازما ثم الى الأسناخ الرئوية.

4- حوالي % 30 يتحد مع الهيموغلوبين وبروتينات الدم الأخرى حيث يتحد ال CO_2 مع مجاميع الأمين NH_2 في جزيئة البروتين ويدعى الناتج بـ Carbamine.

*- يكون تركيز CO_2 بعد انتقال كمية منه من الأنسجة الى الدم اثناء التبادل النسيجي حوالي $53\ cm^3$ في كل $100\ cm^3$ من الدم فيكون ضغطه الجزئي 46 ملم زئبق اما الدم الذي يترك الرئتين بعد عملية التبادل الغازي فيحوي حوالي $49\ cm^3$ في كل $100\ cm^3$ من الدم ويكون ضغطه الجزئي 40 ملم زئبق

تبادل الغازات

1- التبادل الرئوي:

ويتم بين هواء الأسناخ والدم المار في الأوعية الدموية الشعرية على جدرانها ويتم التبادل الغازي عن طريق الأنتشار البسيط نتيجة الأختلاف في ضغوط الغازات على جانبي غشاء الحويصلة

- يحدث التبادل بسرعة كبيرة للأسباب الأتية:

1- كبر المساحة السطحية للأسناخ
2- رقة الحاجز الفاصل بين هواء الأسناخ والدم
3- الفرق الكبير في ضغوط غازي الأوكسجين وثنائي أوكسيد الكاربون على جانبي الحاجز.

2- التبادل النسجي :

حيث يتم تبادل غازي O_2 و CO_2 بين دم الأوعية الدموية الشعرية وخلايا الأنسجة فيتحرر الأوكسجين من الهيموغلوبين وينتشر الى الخلايا بينما ينتشر ثنائي أوكسيد الكربون من الخلايا الى الدم .

التنفس الخلوي : وهي بأختصار عملية تحرير الطاقة عن طريق تحليل المركبات العضوية واهمها الكلوكوز.

يتم تحليل جزيئة كلوكوز واحدة بصورة كاملة بثلاث خطوات متداخلة وهي :

1- التحلل السكري Glycolysis ويكون حاصل جزيئات الـ ATP الناتجة عنها جزيئتين
2- دورة كريبس Krebs Cycle ويكون حاصل جزيئات الـ ATP الناتجة عنها جزيئتين
3- سلسلة الفسفرة التنفسية Respiratory Chain Phosphorylation وتدعى أيضا بسلسلة نقل الألكترونات. ويكون حاصل جزيئات الـ ATP الناتجة عنها 34 جزيئة .

أي أن عدد جزيئات ATP الناتجة عن الخطوات الثلاثة هي 38 جزيئة .

تنظيم التنفس

يعتمد معدل وعمق الحركات التنفسية على حاجة الجسم ويقع تنظيم هذه الحركات تحت السيطرة العصبية والسيطرة الكيميائية.

1- السيطرة العصبية : وتتم عن طريق المراكز التنفسية التي تشمل

أ- المركز العصبي المنسق (الحركي) ويقع في الدماغ الخلفي في منطقة تدعى القنطرة (الجسر) Pons

ب- المركز الشهيقي Inspiratory Center ويتكون من خلايا مسؤولة عن تنظيم الشهيق.

جـ- المركز الزفيري Expiratory Center ويتكون من خلايا مسؤولة عن تنظيم الزفير.

يقع المركزان الأخيران في النخاع المستطيل

- تتم السيطرة عن طريق ارسال سيالات عصبية من المركز المنسق الى المركز الشهيقي الذي يرسل بدوره سيالات تصل عبر مجموعة من الأعصاب الى العضلات بين الأضلاع والحجاب الحاجز وذلك يؤدي الى تقلص هذه العضلات فيتوسع القفص الصدري طوليا وعرضيا فتتسع الرئتان ويدخل الهواء اليهما وبهذا يحصل الشهيق Inspiration .

- ثم يرسل المركز الشهيقي سيالات عصبية الى المركز العصبي المنسق الذي يرسل بدوره سيالات عصبية الى المركز التنفسي الزفيري كما انه يرسل سيالات عصبية الى المركز الشهيقي لتثبيطه وايقافه عن ارسال السيالات الى العضلات بين الأضلاع والحجاب الحاجز فترتخي هذه العضلات ويعود القفص الصدري الى حجمه فتصغر الرئتان ويخرج الهواء منهما اي يحصل الزفير Expiration.

- يلعب المركز الزفيري دورا محدودا اثناء التنفس الطبيعي وتظهر اهميته اثناء بذل مجهود كبير.

2- السيطرة الكيميائية : وتشمل

أ- تأثيرات مباشرة على المراكز التنفسية :

*- زيادة كمية الـ CO_2 في الدم أو ازدياد الحامضية تؤدي الى تحفيز الخلايا العصبية في المراكز التنفسية فيزداد عمق ومعدل التنفس وان نقصان الـ CO_2 يؤدي الى خمول المراكز التنفسية فيحدث تنفسا سطحيا.

- ان ارتفاع حرارة الدم تؤدي الى سرعة الحركات التنفسية دون التأثير في عمق هذه الحركات بينما يؤدي انخفاضها الى بطيء هذه الحركات.

ب- التأثيرات غير المباشرة على المراكز التنفسية :

ويتم ذلك عن طريق مستقبلات كيميائية تقع خارج الجهاز العصبي المركزي حيث تقع في مايسمى بالأجسام السباتية والأبهرية وهذه المستقبلات تنقل السيالات العصبية الى النخاع المستطيل.

- تتحسس هذه المستقبلات بصورة رئيسة لنقص الأوكسجين في الدم الشرياني والى حد قليل لزيادة تركيز ايون الهيدروجين وثنائي أوكسيد الكربون .

- هناك افعال انعكاسية تنفسية وقائية كالسعال الذي يحدث نتيجة تحفيز بطانة الحنجرة مما يؤدي الى تثبيط الشهيق وتقوية الزفير . والعطاس الناتج عن تحفيز بطانة الأنف . وهذه الأفعال تعمل على وقاية الممرات التنفسية والرئتين من المواد الغريبة كالغبار وجزيئات الطعام والغازات المهيجة.

- ان الحركات التنفسية الأعتيادية تكون لا ارادية ذاتية لذلك فهي تستمر بأنتظام خلال النوم أو فقدان الوعي ولكنها من الممكن ان تحور عددا أو عمقا بشكل ارادي وذلك لكون المراكز التنفسية تقع تحت سيطرة المراكز العليا في المخ.

- تبدأ الرئتين بالعمل بعد الولادة حيث يتحفز حديث الولادة للتنفس نتيجة قلة الأوكسجين بعد قطع الدورة المشيمية وتلعب المحفزات الحرارية واللمسية في الجلد والأطراف دورا مهما في ذلك.

- يوجد النيتروجين مذابا في بلازما الدم وعندما يتعرض الشخص الى انخفاض سريع في مقدار الضغط الجوي كما هو حاصل مع الطيارين عند صعودهم بسرعة الى أعالي الجو , أو البحارين عند صعودهم من الأعماق الى سطح الماء بسرعة فأن انخفاض الضغط المسلط على الجسم يؤدي الى تحرر النايتروجين المذاب مكونا فقاعات غازية تسبب آلام شديدة وتدعى هذه الحالة بشلل الغواصين, اذ ان هذه الفقاعات قد تعمل على غلق بعض الأوعية الدموية فتسبب الشلل وقد تؤدي الى الموت