جامعة تكريت
كلية الزراعة
قسم وقاية النبات

المرحلة الثالثة

اعداد
أ.م.د محمد شاكر منصور

فسلجه الحشرات – الجهاز القصبي Tracheal System

المحاضرة الثامنة

mmed Sh. Mansor-entomology of ph

التنفس هو عملية اكسدة نواتج Glycolysis والتي تجري في الميتاكوندريا بوجود الاوكسجين وتحرير ثاني اوكسيد الكاربون ، ويتم التنفس بمرحلتين:

الاولى : تتضمن النقل الطبيعي (الفيزيائي) للغازات التنفسية وهي الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون بين المحيط الخارجي وبين خلايا انسجة جسم الحشرة

الثانية : تتضمن عمليات الاكسدة التي تجري في ميتاكوندريا الخلايا حيث تتاكسد نواتج الايض الغذائي ويصاحب هذة الاكسدة تكوين جزيئات الطاقة ATP وهو ما يعرف بالتنفس الخلوي الهوائي.

وبالرغم من ان قدراً ضئيلا من الطاقة يتحرر في عملية Glycolysis التي تجري في السيتوبلازم دون الحاجة الى الاوكسجين وهو ما يطلق علية بالتنفس الخلوي اللاهوائي، الا ان هذه الطاقة **لا** تفي بحاجة الحشرة لذلك فلابد من اتمام عملية Glycolysis عن طريق دورة كريبس في الميتاكوندريا وهنا يدخل الاوكسجين في هذه الدورة ويتحد مع ذرات الهيدروجين مكونا جزيئات ماء وينتج عن هدم المركبات العضوية تكون غاز Co_2 الذي يجب طرحة خارجا، والطاقة الناتجة عن دورة كريبس تشكل اكبر نسبة من الطاقة التي تتحرر في التنفس الخلوي.

ومن المعروف ان لا حياة ولا نشاط بدون طاقة فالبناء والهدم الحيوي والافراز والتقلصات العضلية ونقل المنبهات وانتاج البيوض والحيامن كل ذلك لا يتم الا بتوفر الطاقة بحالة جزيئات ATP .

الجهاز القصبي Tracheal System

جدار الجسم في مفصليات الارجل يحتوي على عدة طبقات منها الجليد السطحي الحاوي على بروتين والجليد الخارجي والداخلي الحاوي على بروتين وكايتين ويغطي جدار الجسم من الخارج بطبقة رقيقة من الشمع وقد ساعد هذا التركيب على انتشار مفصليات الارجل في البيئات المائية والارضية ، غير ان جدار الجسم بمثل هذا التركيب يعتبر محددا لانتشار الغازات التنفسية وخاصة الاوكسجين الذي لا يتمكن من الانتشار عبر الجليد السطحي ، ونظرا لعدم وجود جهاز دوران مغلق وعدم وجود صبغة الهيموكلوبين فقد تطور في غالبية الحشرات وغيرها من مفصليات الارجل جهاز تنفسي خاص يسمى بالجهاز القصبي.

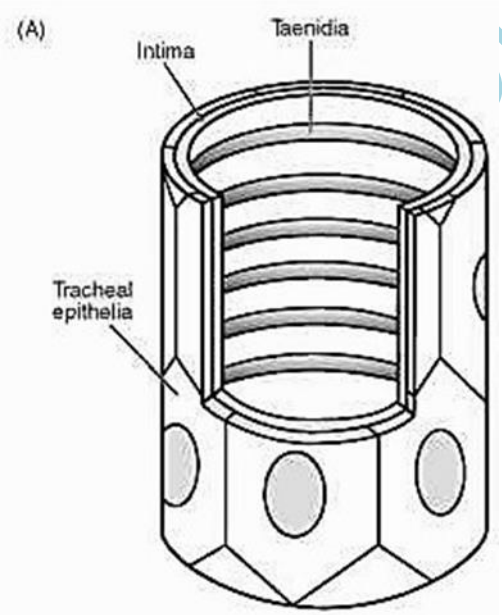
يتركب الجهاز القصبي التنفسي في الحشرات من الاتي :

١. **القصبات الهوائية Trachae**: ومفردها Trachea وهي انابيب مجوفة تمتد من الفتحات الواقعة على البلورا الى داخل جسم الحشرة وتتفرع الى قصبات اصغر فاصغر. في العديد من الحشرات عديمة الاجنحة تتفرع القصبات الهوائية الناشئة من كل انبعاج على الصفيحة الجانبية وتمتد الى مختلف انحاء الجسم غير انها لا تلتقي مع تفرعات القصبات الناشئة من الانبعاجات الاخرى، اما في بقية الحشرات فان القصبات من الانبعاجات المختلفة تلتقي مع بعضها مكونة قصبات طويلة رئيسية تمتد على طول جسم الحشرة وتسمى مناطق التقاء القصبات ببعضها بالعقد Nodes .

Mohammed Sh. Mansor-entomology of ph

ولما كانت القصبات الهوائية ناشئة بالأساس من جدار الجسم فان لها نفس التركيب ، حيث تبطن القصبة من الداخل اي من جهة التجويف ببطانة رقيقة من الكيوتكيولين Cuticulin المستمر مع جدار الجسم، توجد طبقة شمعية قبل الكيوتكيولين يلي ذلك طبقة اسمك من الجليد السطحي المؤلف من بروتين، وعلى مسافات منتظمة تحت الجليد السطحي توجد تثخنات تلتف حلزونيا حول القصبة الهوائية وتسمى Taenidia . ويوجد فيها الجليد الخارجي والداخلي المكون من البروتين والياف دقيقة جدا من الكايتين، ان هذة التثخنات الحلزونية تقوم بجعل القصبات الهوائية مفتوحة دائما وبذلك لا تنكمش القصبة نتيجة انخفاض الضغط الجوي داخل القصبة عند اغلاق الثغور التنفسية واستهلاك الاوكسجين الموجود في فراغ القصبة.

وتحاط القصبات الهوائية بطبقة واحدة من الخلايا الطلائية الحرشفية المضلعة وهي خلايا مستمرة مع خلايا البشرة لجدار الجسم وهي التي تفرز البطانة الجليدية للقصبة الهوائية ، ويمتاز جليد القصبات الهوائية بانسلاخة مع كل انسلاخ لجدار الجسم حيث يتكون جليد جديد بدلا عنة.



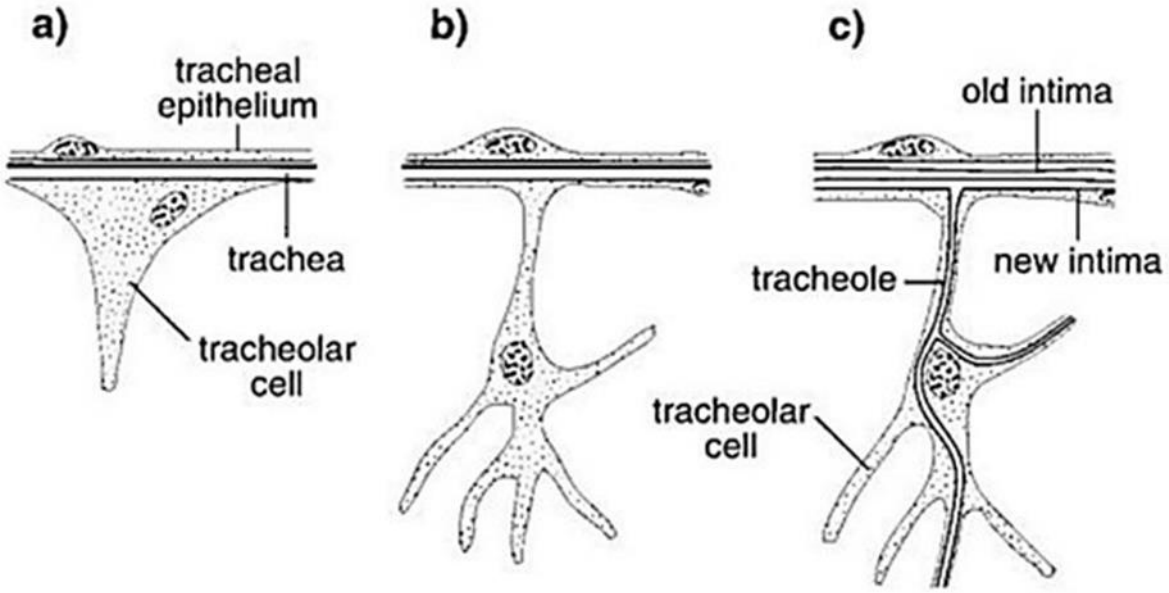
تركيب القصبة الهوائية

٢. **القصيبات الهوائية Tracheoles** : توجد في نهاية القصبات الهوائية الصغيرة والمتغلغلة داخل النسيج خلايا نجمية الشكل او أشبه براحة اليد وتسمى بأسماء عديدة كخلايا المولدة للقصيبات Tracheoblasts او خلايا النهايات القصبية Tracheal ends cells. توجد خلية واحدة منها في نهاية كل قصبة هوائية وتمتاز بان غشاء البلازما الداخلي ينبعج بطريقة خاصة مكونة انابيب دقيقة جدا تسمى القصيبات الهوائية.

وهي تفتح من جهة مع نهاية القصبة الهوائية المتصلة بها اما من الجهة الاخرى فتكون مغلقة، هذا وبإمكان الخلية الواحدة ان تكون عدة قصيبات هوائية. تتغلغل القصيبات بين خلايا النسيج وقد تضغط على الخلايا المكونة للنسيج فتصبح وكأنها داخل الخلايا، ان مركز اي خلية حية لا يبعد اكثر من ١٠ ميكرون عن اقرب

قصبة هوائية وبذلك فان القصيبات الهوائية في الحشرات تشابة من حيث انتشارها الاوعية الدموية الشعرية لجهاز الدوران في الفقريات.

تبطن القصيبات من الداخل بالكيوتكيولين حيث يترتب بشكل تثخنات حلزونية ولكن هذة التثخنات تكون خالية من البروتين والالياف الكايتينية كما لا توجد طبقة شمعية ولا جليد سطحي بروتيني.



نشأة القصيبات الهوائية

* لوحظ بالمجهر الاليكتروني وجود ثقوب قطرها ٣٠ أنجستروم في جدار القصيبة الهوائية ويعتقد بان لها اهمية في حركة السوائل عبر جدار القصيبات. يحتوي الجزء القريب من النهاية المغلقة للقصيبات على سائل غروي مجهول التركيب الكيميائي وتتجاذب هذا السائل قوتان متعاكستان في الاتجاة اولهما قوة الجذب الشعري – للقصيبات الى ان يبلغ قطرها **0.3** ميكرون وتحاول هذة القوة الابقاء على السائل داخل القصيبة ، والقوى الاخرى هي الضغط التنافذي لمحلول سايتوبلازم خلايا النسيج الموجودة فية القصيبة الهوائية ، فعند ارتفاع الضغط التنافذي لمحلول سايتوبلازم الخلايا نتيجة زيادة الايونات والجزيئات العضوية وذلك ما يحدث اثناء نشاط خلايا النسيج فان السائل القصيبي وبالاخص جزيئات الماء الموجودة فية تنتقل عن طريق الانتشار عبر الثقوب الموجودة في جدرات القصيبات ثم عبر الخلية المولدة للقصيبات الى منطقة الجذب الخارجية وبذلك يقل طول عمود السائل داخل القصيبة ويحل محلة الهواء الحاوي على الاوكسجين وبما ان خلايا النسيج في حالة نشاط اي استهلاك الاوكسجين في دورة كريبس فان الضغط الجزئي للاوكسجين في القصيبات يكون اعلى منة في داخل خلايا النسيج فينتشر الاوكسجين نحو الخلايا لتستفاد منة وعند انتهاء نشاط الخلايا وعودتها لوضعها الاعتيادي السابق فان الايونات والجزيئات العضوية خصوصا تلك التي استخلصت منها الطاقة تنتشر في بلازما الدم الى الجهاز الاخراجي فيقل الضغط التنافذي لمحلول سايتوبلازم الخلايا وبذلك يعود السائل القصيبي للقصيبات من جديد بتاثير قوة الجذب الشعري.

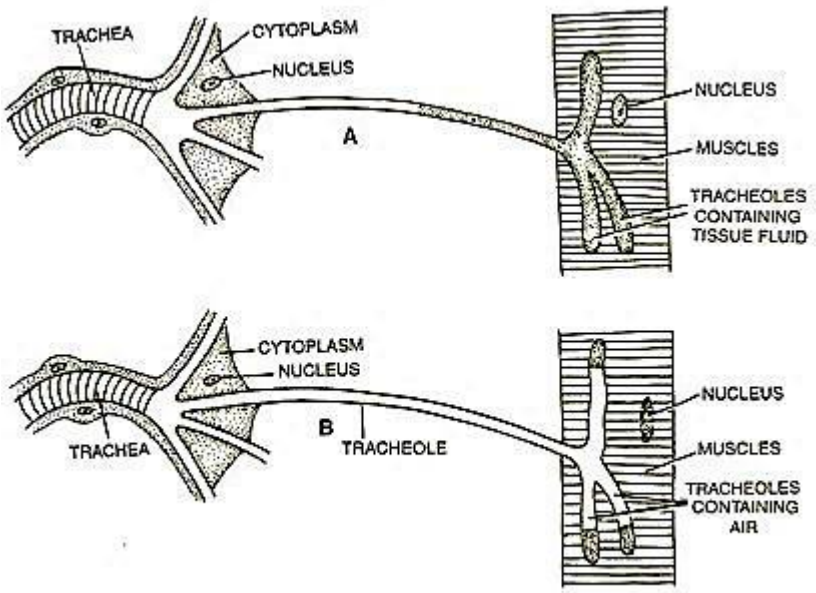
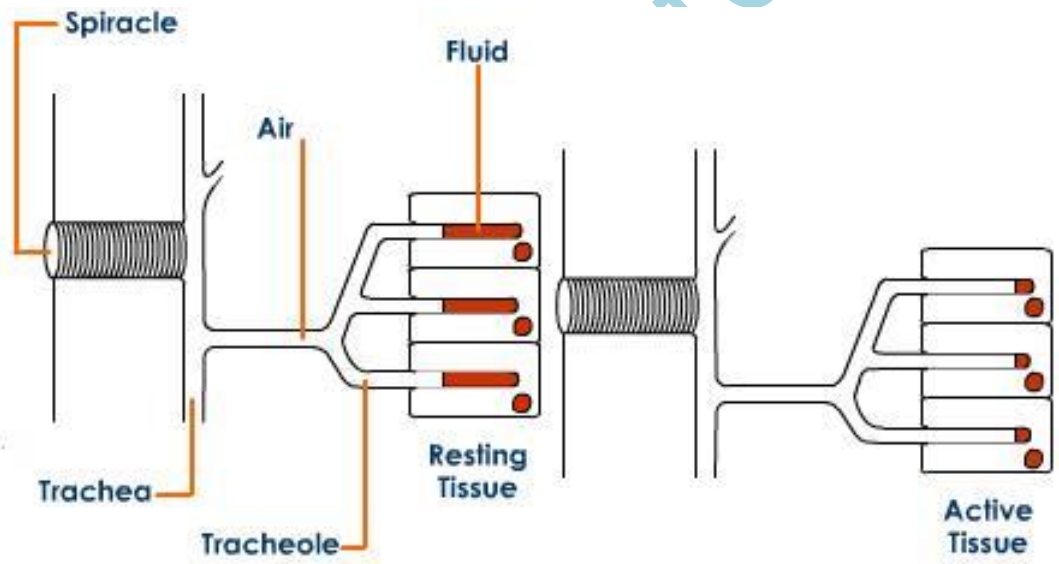


Fig. 7A.34. Mechanism of respiration. A, at rest. B, in activity.

ميكانيكية عملية التنفس (A : خلية اثناء الراحة– B : خلية اثناء النشاط)



خلية اثناء الراحة **خلية اثناء النشاط**

Mechanism of Respiration in Insects ميكانيكية التنفس في الحشرات

وتمتاز بطانة القصيبات الهوائية بعدم انسلاخها اثناء انسلاخ جليد الحشرة ولذلك اهمية كبيرة في استمرار تزويد الانسجة بالأوكسجين المخزون داخل القصيبات اثناء الانسلاخ وبذلك يستمر التنفس في خلايا الانسجة بالرغم من الانفصال المؤقت للارتباط بين القصبات والقصيبات ، كما يمتاز انتشار القصيبات الهوائية بانة يتحدد وفق حاجة كل نسيج للأوكسجين ، فكلما زاد نشاط النسيج ازداد تزويده بالقصيبات الهوائية، لذلك يعتقد

بان انتشار القصيبات الهوائية يتحدد بايولوجيا الى حد كبير ويكون تاثير العوامل الوراثية فيه اقل من تأثيرها على انتشار وتفرع القصبات الهوائية.

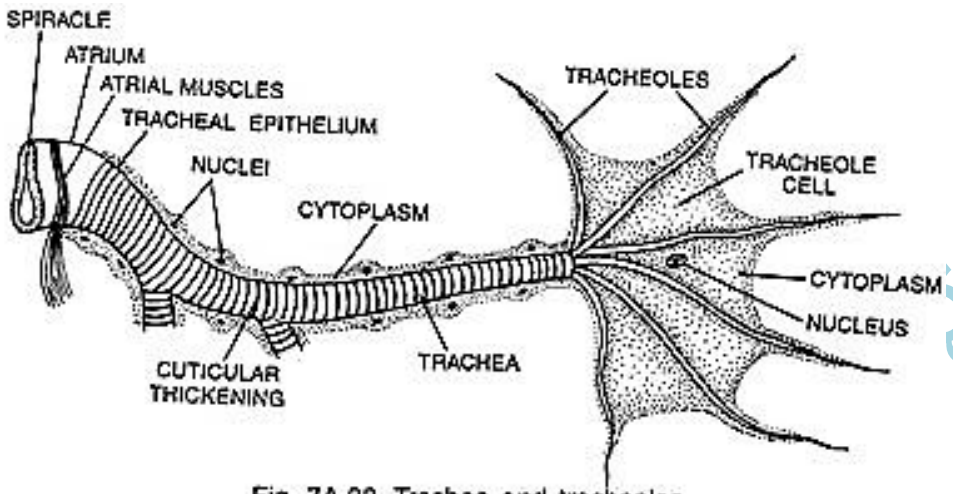
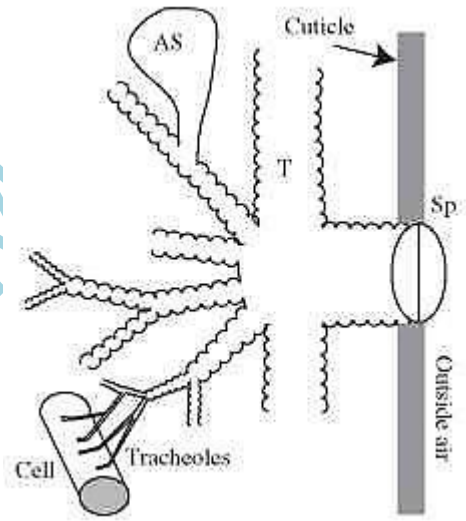


Fig. 7A.33. Trachea and tracheoles.

القصبات والقصيبات الهوائية

٣. **الاكياس الهوائية Air sacs**: توجد في اجزاء معينة من القصبات الهوائية اتساعات مرنة قابلة للتغير في حجمها بسبب عدم وجود او اختزال التثخنات الحلزونية كما ان جدرانها تكون رقيقة لعدم وجود الكايتين وهذه تسمى بالأكياس الهوائية.



الجهاز القصبي : Sp : الثغر التنفسي – T : القصبة الهوائية – As : كيس هوائي

وهي منتشرة في تجاويف الجسم المختلفة. يختلف عددها باختلاف اعمار واطوار الحشرة، توجد الاكياس الهوائية بكثرة في الحشرات النشطة كالذباب والزنابير والنحل والنمل والرعاش والجراد الصحراوي، كما لوحظ وجود علاقة طردية وثيقة بين تطور الاكياس الهوائية في انواع رتبة غشائية الاجنحة وبين حجم ونشاط هذه الانواع، وغالبا ما يرتبط جدار الاكياس الهوائية بالألياف العضلية الصدرية والبطنية.

* واهم **وظائف** الاكياس الهوائية هي :

أ. تلعب دور الرئة في الشهيق والزفير اذ تقوم العضلات المرتبطة بها بالتقلص فيكبر حجم الاكياس الهوائية مما يؤدي لدخول الهواء عبر ثغور الشهيق وعند اغلاق هذة الثغور وانبساط العضلات السابقة وتقلص عضلات اخرى هي العضلات العمودية التي تربط بين الصفائح الظهرية والبطنية لحلقات الجسم فان الاكياس الهوائية تتقلص في الحجم ويؤدي ذلك لدفع الهواء لكافة التفرعات القصيبية وبعد ذلك الى ثغور الزفير وتسمى هذة الحركات التنفسية بالتهوية الميكانيكية او التهوية العضلية ، اي تعمل على زيادة المساحة التي تحدث فيها عملية التبادل الغازي.

ب. تقليل كثافة (الوزن النوعي) الحشرة وبالتالي تتمكن من الطيران كما في رتبة نصفية الاجنحة.

ت. تتمكن الحشرات الغاطسة في الماء من التحكم بالغطس او الصعود لسطح الماء عن طريق حجم الهواء في الاكياس الهوائية (تعمل كاعضاء موازنة مائية لبعض الحشرات التي تعيش في مستويات مختلفة من الماء) او تعمل كمخزن للهواء الذي تحتاجة الحشرة عند محاولتها الغطس في الماء.

٤. **الثغور التنفسية Spiracles** : يتكون الجهاز القصبي اثناء التطور الجنيني من انبعاجات في صفائح البلورا Pleura للحلقات الصدرية والبطنية وتسمى بداية هذة الانبعاجات بالثغور التنفسية ، وهي تربط بين هواء المحيط الخارجي والقصيبات الهوائية.

يوجد في جنين الحشرات ١٢ زوجا من الثغور واثناء المراحل المتاخرة من التطور الجنيني تختزل زوج ثغور حلقة الشفى السفلى وزوج ثغور حلقة الصدر الامامي وبذلك فان اقصى عدد للثغور التنفسية في الحشرات يبلغ ١٠ أزواج ، زوج في كل من الصدر الثاني والثالث وثمانية أزواج في الحلقات البطنية من الثانية الى التاسعة، ويشذ عنها بعض افراد رتبة ثنائية الذنب حيث يوجد ١١ زوجا من الثغور ٤ منها صدرية و ٧ بطنية تقع الثغور الصدرية بين الحلقات الصدرية المتجاورة اما الثغور البطنية فانها تقع على الحلقات الخاصة بها. ان وجدود ١٠ أزواج من الثغور التنفسية في الحشرات لا يعني ان جميعها تقوم بوظيفتها في التنفس حيث يغلق بعضها تماما ولا يقوم باي دور في التنفس ولا تفتح الا عند الانسلاخ.

* تقسيم الحشرات **حسب عدد الثغور التنفسية وتوزيع العاملة منها في التنفس** الى المجاميع الاتية :

أ. حشرات **عديدة** الثغور التنفسية العاملة Polypneustic : ويوجد فيها ٨ أزواج من الثغور العاملة على الاقل تقوم بدورها في التنفس وتقسم الى :

a. حشرات **كاملة** الثغور العاملة Holopneustic : وفيها ١٠ أزواج من الثغور التي تقوم بدورها في التنفس، زوج منها في الصدر الثاني واخر في الصدر الثالث و ٨ ازواج بطنية. يوجد هذا النوع في معظم كاملات الصراصر ويرقات غشائية وحرشفية الاجنحة.

b. حشرات **محيطية** الثغور العاملة Peripneustic : فيها زوج الصدر الثاني و ٨ أزواج بطنية عاملة ، ومن امثلتها يرقات عائلة Cecidomyidae من رتبة ثنائية الاجنحة.

mmed sh. Mansor-entomology of ph

c. حشرات **نصفية** الثغور العاملة Hemipneustic : فيها ٨ أزواج عاملة ، واحدة في الصدر الثاني و ٧ بطنية ، مثل يرقات عائلة Mycetophilidae (ثنائية الاجنحة).

ب. حشرات **قليلة** الثغور العاملة Oligopneustic : وفيها زوج واحد او زوجان من الثغور التي تقوم بدورها في التنفس اما البقية فمغلقة وتقسم الى :

a. حشرات **الزوجين** العاملين Amphipneustic : ذات الزوجين العاملين احدهما في الصدر الثاني والاخر قي نهاية البطن كما في عائلة الحرمس.

b. حشرات **خلفية** الزوج العامل Metapneustic : فيها زوج واحد فقط يقوم بدورة في التنفس ويقع في نهاية البطن كما في يرقات عائلة البعوض Culicidae .

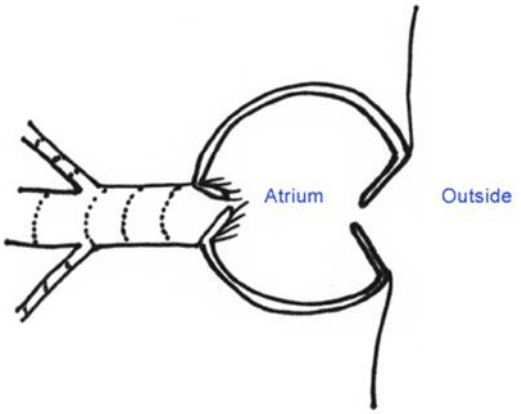
c. حشرات **امامية** الزوج العامل Propneustic : فيها زوج واحد فقط عامل يقع في الصدر الثاني مثل عذارى رتبة ثنائية الاجنحة.

ت. حشرات **عديمة** الثغور العاملة Apneustic : لا يوجد فيها اي زوج من الثغور عاملا كما في يرقات الهاموش وحوريات الرعاش.

تركيب الثغر التنفسي Spiracular structure :

يتركب الثغر التنفسي في العديد من الحشرات غير المجنحة Apterygota من فتحة خارجية Orfice تؤدي مباشرة الى القصبة الهوائية المتصلة بها ، اما في الحشرات المجنحة Pterygota فانة يلي الفتحة الخارجية وجود ردهة Atrium متسعة قصيرة وفي كثير من الاحيان تبطن الردهة بشعيرات لمنع دخول الغبار او الاجسام الغريبة الى داخل الجهاز القصبي.

ان فتحة الثغر التنفسي في جميع يرقات رتبة ثنائية الاجنحة والعديد من نصفية وغمدية وحرشفية تكون مغطاة بصفيحة غربالية Sieve plate ثقوبها دقيقة جدا تسمح للهواء بالمرور خلالها ولا تسمح للماء بالمرور وذلك لان الصفيحة كجدار الجسم لها خاصية كرة الماء Hydrophobic كما انها تمنع دخول الطفيليات الى الجهاز القصبي.



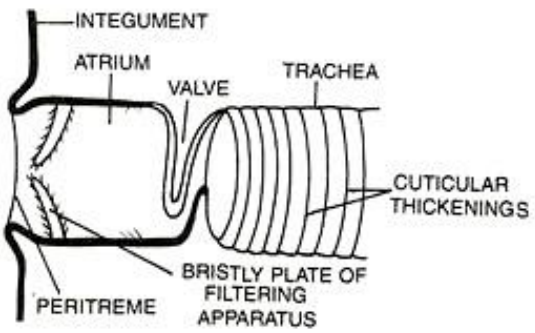
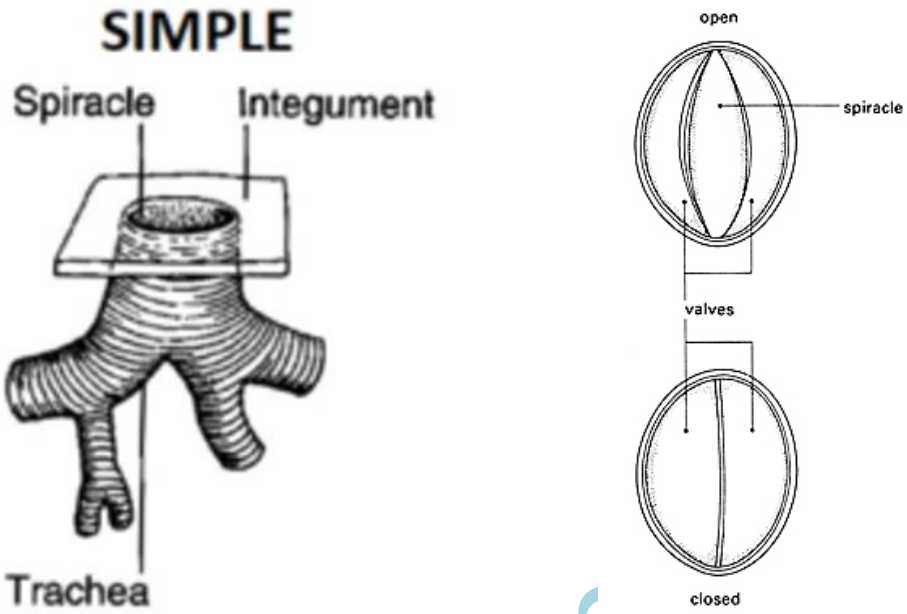


Fig. 7A.32. A spiracle with atrium, valve and a part of trachea.

Prof. Dr. Mansor-entomology of ph



انواع الثغور التنفسية

الثغور التنفسية في بعض الحشرات المجنحة وبعض انواع رتبة ذات الذنب الشعري تكون مزودة بجهاز لقفل وفتح الثغور وله اهمية كبيرة في تقليل فقدان الماء عن طريق التبخر من الجهاز القصبي.

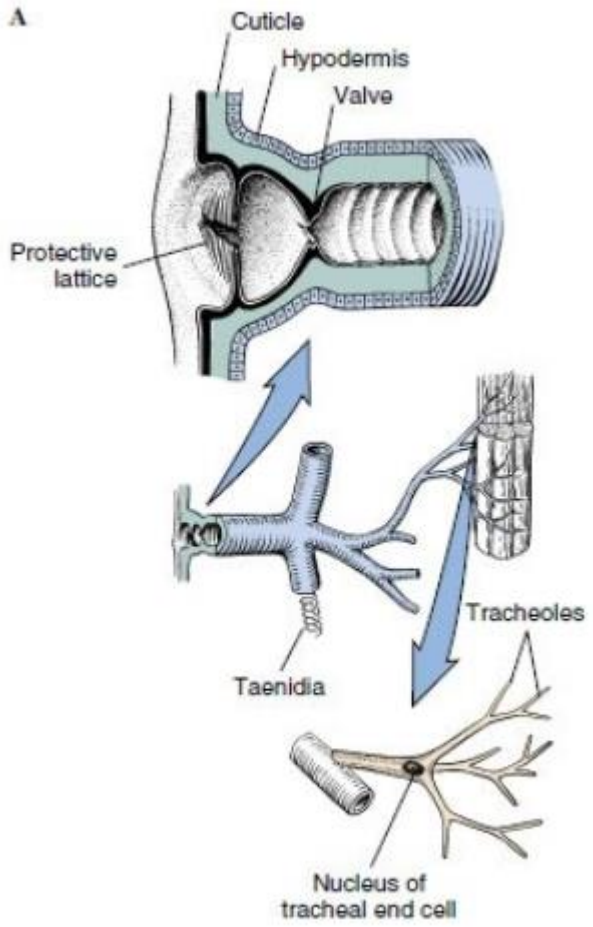
يعمل جهاز قفل وفتح الثغور التنفسية **بتأثير عضلي** من احد الانواع الاتية :

١. ينفتح الثغر التنفسي بواسطة عضلة فاتحة Opener muscle وينغلق بتأثير مطاطية جليد الجسم وقد لوحظت هذه الحالة في حشرة *Thermobia* رتبة Thysanura .

٢. ينفتح الثغر بواسطة مطاطية جليد الجسم او بواسطة روابط ليفية مطاطية وينغلق بتقلص عضلة قافلة Closer muscle وهذا النوع هو الاكثر انتشارا في الحشرات.

ينفتح الثغر بتقلص عضلة فاتحة وينغلق بارتخاء العضلة الفاتحة وتقلص عضلة قافلة وهذا النوع موجود في بعض الثغور التنفسية الصدرية ومنها الثغر الصدري الاول للجراد الصحراوي.

ummed Sh. Mansor-entom. of ph



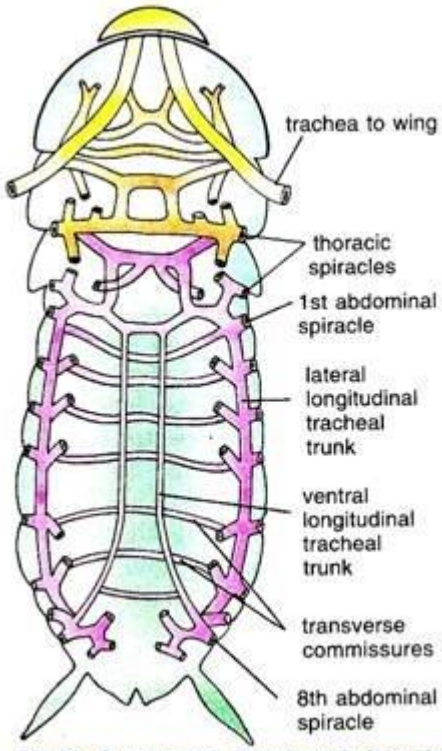


Fig. 73.22. *Periplaneta.* Tracheal system in dorsal view.

ميكانيكية التحكم بفتح الثغور التنفسية

الثغور ذات العضلة **القافلة** : وهي الثغور الشائعة بين الحشرات.

تتزود العضلة القافلة بزوج من المحاور العصبية او اكثر من العقدة العصبية التابعة للحلقة التي يوجد بها الثغر التنفسي ، * عند وجود تركيز كاف من الاوكسجين حول العقدة العصبية فانها ترسل سلسلة من منبهات عصبية الى العضلة القافلة وبذلك تتقلص هذة العضلة ويغلق الثغر

* اما عند انخفاض تركيز الاوكسجين فان عدد المنبهات المرسلة يتناقص مما يؤدي الى ارتخاء العضلة وانفتاح الثغر.

* ومن الجدير بالذكر ان تكرار المنبهات العصبية المرسلة الى العضلة القافلة يزداد عند انخفاض المحتوى المائي للحشرة حيث يؤدي ذلك الى غلق الثغر ولا ينفتح الا بتراكيز اعلى من غاز C_{O2} وذلك للتقليل من فقدان الماء عن طريق التبخر عبر الجهاز القصبي ، * ويؤدي الجوع الى حدوث نفس الحالة

* اما عند ارتفاع درجة الحرارة فيسبب انخفاض عدد المنبهات وبذلك ينفتح الثغر التنفسي بتراكيز أوطأ من غاز C_{O2} في محاولة من الحشرة لخفض درجة حرارة الجسم عن طريق التبخر كما في ذبابة النوم.

١. الثغور ذات عضلة **قافلة** وعضلة **فاتحة** : من المعتقد ان الثغرة ذات العضلتين هي نوع بدائي ومنة تطورت الثغور ذات العضلة الواحدة القافلة.

* تتم السيطرة على تقلص هذة العضلات عن طريق عن طريق الجهاز العصبي المركزي.

تتزود العضلة القافلة للثغر التنفسي الصدري الاول في الجراد الصحراوي بزوج من المحاور العصبية اتية من العقدة العصبية الصدرية الاولى وزوج اخر من المحاور العصبية الى العضلة الفاتحة، كما ويتجه محور عصبي اخر الى العضلة الفاتحة قادما من العقدة العصبية للصدر الثاني.

عند ارتخاء العضلتان ينفتح الثغر بمقدار ٢٠-٣٠% من مساحة الفتحة. عند غلق الثغر تتلقى العضلة الفاتحة سلسلة منبهات بطيئة وطويلة المفعول من العقدة العصبية الصدرية الاولى، اما العضلة القافلة فتتلقى سلسلة منبهات سريعة وقصيرة المفعول، وعند انخفاض نسبة الاوكسجين الى ثاني اوكسيد الكاربون فان عقدة الصدر الثاني ترسل المنبهات الى العضلة الفاتحة ويؤدي هذا الى زيادة تقلص العضلة الفاتحة فينفتح الثغر.

* اما عند **الطيران** حيث تنفرج الاجنحة الجلدية الموجودة في الصدر الثاني نتيجة التقلص العضلي فان انخفاض نسبة الاوكسجين الى ثاني اوكسيد الكاربون يكون كبيرا لذلك تستمر العقدة العصبية الصدرية الثانية بارسال منبهات للعضلة الفاتحة ويستمر فتح الثغر التنفسي.

* وقد وجد ان **ارتفاع** تركيز C_{O2} **وانخفاض** تركيز الاوكسجين حول الخلايا العصبية يؤدي الى ازالة الاستقطاب في غشاء المحاور العصبية وهذا يؤدي بدوره الى زيادة تكرار المنبهات العصبية.

التنفس في الحشرات الارضية Respiration in Terrestrial Insects

الحشرات الارضية تعيش في ظروف اليابسة وتتنفس الهواء الجوي ، هناك ثلاث طرق لتنفسها وهي :

١. **الانتشار** Diffusion : يتم التنفس في الحشرات الصغيرة وفي البيوض والاطوار الساكنة من الحشرات الكبيرة عن طريق انتشار الغازات، وبما ان افراد رتبتي ذات الذنب القافز وذات الذنب العجزي لا تمتلك جهازا قصبيا وبذلك فان هذه الحشرات تتنفس عن طريق انتشار الغازات عبر جدار الجسم ويساعد جهاز الدوران وحركة السائل الدموي في سرعة نقل الغازات التنفسية، ومن الملاحظ ان هناك تجمع كبير من القصبات الهوائية حول القلب في معظم الحشرات ويعتقد ان نسبة لا بأس بها من الغازات التنفسية تنتشر بين السائل الدموي والجهاز القصبي وخصوصا غاز CO_2 وعلى هذا الاساس فان الاطوار الساكنة من الحشرات كالبيوض والعذارى الصغيرة والحشرات الساكنة يمكنها الاعتماد على انتشار الغازات التنفسية ويساعدها في ذلك ان المساحة السطحية لهذه الاطوار تكون كبيرة بالنسبة لحجم الطور مما يفسح مجالا اوسع لانتشار الغازات عبر جدار الجسم.

٢. **التهوية غير المباشرة** Passive suction ventilation : وتسمى ايضا بالتهوية الهادئة وتتم حركة الهواء في الجهاز القصبي دون الحاجة الى نشاط عضلي وانما عن طريق تكوين تخلخل في الضغط الجوي بحيث يصبح داخل الجهاز القصبي سالبا (منخفضا) بالنسبة للهواء الجوي.

ان هذا النوع من التنفس يتم في يرقات وعذارى حرشفية الاجنحة وبعض غمدية الاجنحة وحوريات الجراد البالغ كبير العمر حيث يكون هادئا، في هذه الحشرات نرى ان التنفس عن طريق الانتشار فقط لا يتماشى مع

mmed Sh. Mansor-entomology of ph

حاجة الحشرة للتبادل الغازي اما لكبر حجمها بالنسبة لمساحتها السطحية او لوجود جدار جسم يحوي على جليد سطحي سميك يعيق تبادل الغازات، والملاحظ في هذا النوع من التهوية ان الاوكسجين يستمر بالدخول الى الجهاز القصبي اما غاز CO_2 فانة لا يطرح الا في دفعات عن طريق فتح الثغور في فترات متباعدة .

شرح ميكانيكية هذا النوع من التهوية (التنفس) كما في عذارى *Hyalophora* رتبة حرشفية الاجنحة :

تفتح الثغور التنفسية للعذارى كل سبع ساعات غير ان ذلك يتغير بتغيير درجة الحرارة ومدى تطور العذراء ، ويمكن تقسيم الفترة بين انفتاح الثغر وغلقة ثم فتحة الى ثلاث مراحل هي :

* **المرحلة الاولى** : مرحلة **الانفتاح الكامل** للثغر : ينفتح الثغر التنفسي نتيجة ارتخاء العضلة القافلة ومطاطية الجليد فيتحرك الصمام الكايتيني عن فتحة الثغر ، يستمر الثغر مفتوحا لمدة ١٥-٣٠ دقيقة.

* **المرحلة الثانية** : مرحلة **الغلق الكامل** للثغر : ويستمر حوالي ساعة وفي هذه الاثناء تستهلك الانسجة الاوكسجين الموجود في الجهاز القصبي و ينخفض ضغطة الجزئي اما CO_2 المتكون فانة يتحول الى بيكاربونات ذائبة في محلول النسيج ومن ثم ينتقل الى بلازما الدم.

* **المرحلة الثالثة** : مرحلة **الانفتاح المرتعش** للثغر : نتيجة استهلاك الاوكسجين فان الثغر ينفتح لبضعة ثواني وينغلق ثانية لفترة ثم ينفتح ثوان اخرى ويغلق وهكذا علما ان المساحة المفتوحة من الثغر اثناء هذة المرحلة تبلغ ٥-١٠% من المساحة الكلية للانفتاح الكامل للثغر.

وجد ان بهذه الطريقة من التنفس لا تفقد العذارى سوى ٥% من محتواها المائي خلال اربعة اشهر وذلك لان بخار الماء لا يفقد الا اثناء مرحلة الانفتاح الكامل للثغور اما اثناء الانفتاح المرتعش فان الضغط السالب في الجهاز القصبي ودخول تيار الهواء من المحيط الخارجي للداخل يمنع من فقدان الماء.

٣. **التهوية العضلية (الميكانيكية)** Mechanical or Muscular ventilation : وتتم في الحشرات الكبيرة والنشطة اذ تحتاج الى كميات كبيرة من الاوكسجين. تتم التهوية العضلية عن طريق تغيير حجم الجهاز القصبي وخصوصا الاكياس الهوائية وذلك بواسطة تقلص وانبساط العضلات الهيكلية.

Mohammed Sh. Mansor-entomology of ph

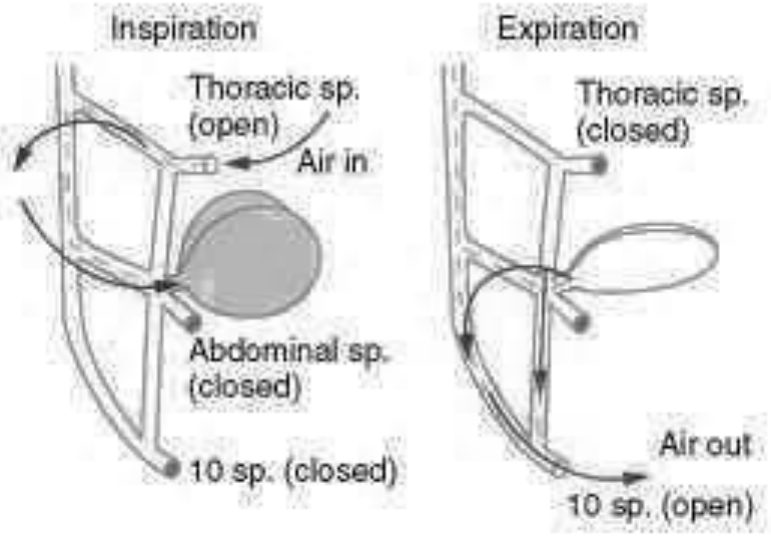


Figure: Unidirectional airflow during abdominal pumping in a grasshopper. During inspiration, air flows in through open thoracic spiracles (sp), along the longitudinal trachea, and into the air sacs. At low metabolic rates, air flows out only through the tenth abdominal spiracles; in more active animals, air flows out all abdominal spiracles.

تحدث عملية التهوية العضلية في الجراد الصحراوي فعند **الراحة** تنفتح الثغور ١ و ٢ و ٤ اثناء الشهيق ثم تغلق ثم يفتح الثغر العاشر عند الزفير، وعندما تبذل الحشرة **نشاطا** فان الزفير يتم عبر الثغور ٥ - ١٠ وفي هذة الحالة تفتح ثغور الشهيق مباشرة بعد غلق ثغور الزفير ويندفع الهواء الى داخل الجهاز القصبي نتيجة اتساع حجم الاكياس الهوائية بفعل حركات التهوية التي تقوم بها البطن ثم تغلق كافة الثغور وتستمر حركات التهوية فيندفع الهواء من الاكياس الهوائية الى القصبات الهوائية بفعل الضغط المسلط على الاكياس وبعد ذلك تنفتح ثغور الزفير.

وعند **عملية الطيران** فان نظام غلق وفتح الثغور يتغير، فالثغر الاول الصدري يفتح بينما الثغور ٤ -١٠ تغلق وهكذا بالتبادل، اما الثغور ٢ و ٣ فانها تبقى مفتوحة وذلك لتامين احتياجات عضلات الطيران من الاوكسجين وتكون حركة الهواء فيها دخولا وخروجا وذلك بتاثير تقلص واتساع الصدر اثناء الطيران.

mmed Sh.Mansor-entomology of ph