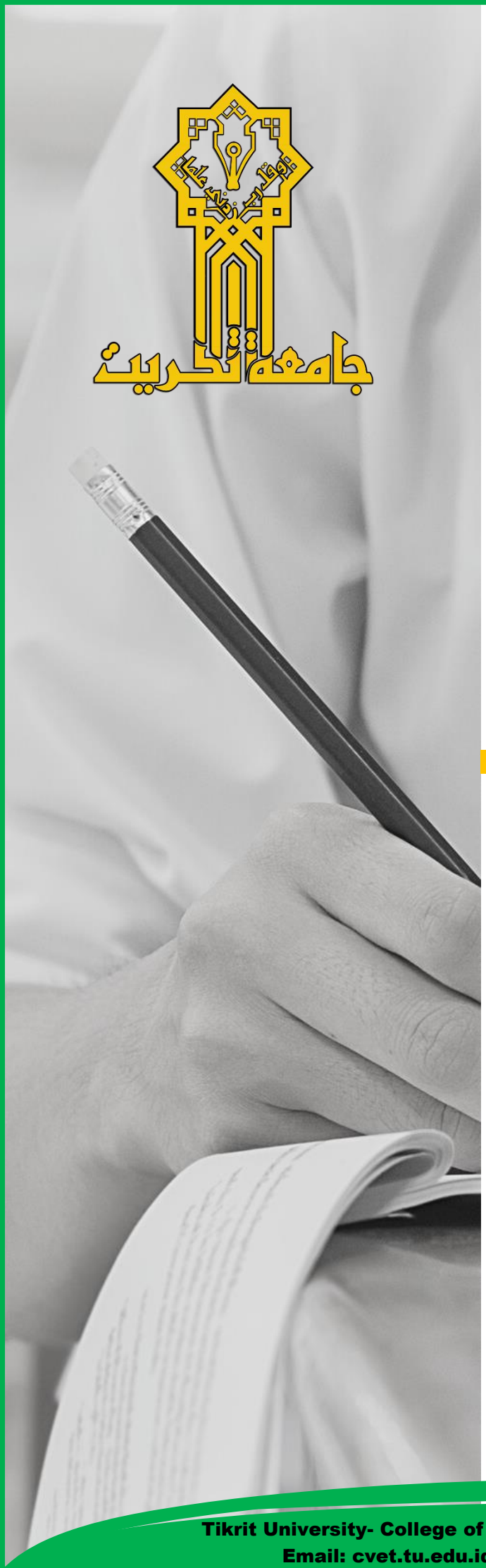


جامعة تكريت

كلية الطب البيطري

التغيرات التي تطرأ بعد الوفاة وتقدير فترة ما بعد الوفاة

اسم المادة: طب عدلي بيطري

المرحلة الدراسة: الخامسة

اسم استاذ المادة:إسماعيل إبراهيم حسن

الإيميل الجامعي: ismailhasan@tu.edu.iq

Lecturers link

التغيرات التي تطرأ بعد الوفاة وتقدير فترة ما بعد الوفاة

٤-١- المقدمة:

يُعرَّف الموت بأنه توقف العمليات الفسيولوجية التي تحافظ على سلامة الخلايا ووظيفتها. فبعد الموت مباشرةً تقريبًا، تبدأ سلسلة من التغيرات الفيزيائية والكيميائية التي لا يمكن تجنبها ولا رجعة فيها وتدريجية في الجسم. وفي حين تحدث هذه التغيرات وفقًا لترتيب متوقع للتقدم، فإن معدل تطورها يخضع لتقلبات كبيرة بسبب العديد من العوامل الظرفية والبيئية. إن معرفة التقدم المتوقع للتغيرات التي تحدث بعد الوفاة أمر ضروري للتفسير السليم للأمراض الجسيمة والمجهرية أثناء التشريح. إن الفهم الشامل لهذه العمليات من قبل أخصائي علم الأمراض المدرب جيدًا من شأنه أن يقلل من خطر تفسير الآثار التي تحدث بعد الوفاة على أنها آفات ويقلل من التعرف الخاطئ على الآفات الفعلية التي قد تكون غامضة أو مشوهة بسبب التغيرات التي تحدث بعد الوفاة. بالإضافة إلى ذلك، فإن تقدير فترة ما بعد الوفاة**(PMI)** ، والمعروفة أيضًا بالوقت منذ الوفاة، تعتمد بشكل كبير على معرفة هذه العمليات بعد الوفاة.

يعد تقدير فترة ما بعد الوفاة مهمًا في العديد من التحقيقات في الوفيات البشرية، وهو مهم أيضًا في بعض التحقيقات الجنائية الخاصة بالحيوانات. قد يسمح تقدير فترة ما بعد الوفاة للمحقق بإدراج أو استبعاد الأفراد من مجموعة المشتبه بهم وقد يؤكد شهادة الشهود أو الأدلة الأخرى مع توفير إطار زمني أكثر اكتمالاً للأحداث التي وقعت أثناء جريمة مزعومة.

في حين تم إجراء الكثير من الأبحاث حول فترة ما بعد الوفاة في البشر والحيوانات باستخدام دراسات خاضعة للرقابة، إلا أن البيانات المحدودة حول فترة ما بعد الوفاة في الحيوانات متوفرة من دراسات قائمة على الحالات. وعلاوة على ذلك، فإن تفسير البيانات الناتجة عن العديد من الدراسات الحيوانية أمر صعب بسبب

التباين الكبير في المنهجية والأنواع المدروسة، مما يمنع تكوين استنتاجات عامة حول علاقة نتائج الدراسات المتعددة. ونتيجة لذلك، قد يحاول أخصائيو علم الأمراض البيطرية استقراء البيانات البشرية عند محاولة تقدير الوقت منذ الوفاة في حالات الحيوانات.

ومن الضروري أن نضع في الاعتبار أن العديد من هذه الأساليب لم يتم التحقق من صحتها في معظم أنواع الحيوانات، وهذا الافتقار إلى التحقق من الصحة يمثل عائقًا كبيرًا أمام استخدام هذه التقنيات في المحكمة في القضايا التي تنطوي على جرائم حيوانية. وعلى العكس من ذلك، قد تكون بعض الأساليب المستخدمة والاستنتاجات المستمدة من الدراسات البشرية، في الواقع، قابلة للتطبيق على الحيوانات، على الرغم من أن بعض أشكال التحقق قد تكون مبررة.

إن دقة تقديرات **PMI** ضعيفة بشكل ملحوظ، ولم تتحسن بشكل كبير على مدار عقود عديدة من البحث. ولعل الأهم من ذلك أنه لا يمكن استخدام طريقة واحدة بشكل موثوق بمفردها لتقدير الوقت منذ الوفاة بدقة. أي تقدير من هذا القبيل يعتمد بشكل كبير على عوامل متعددة، ويخضع لخطأ متزايد مع زيادة الوقت منذ الوفاة، مما يستلزم توخي الحذر الشديد عند صياغة أي تقدير لـ**PMI.**

من الضروري أن يفهم أخصائي علم الأمراض التقدم المتوقع للتغيرات بعد الوفاة من أجل تفسير وجود أو عدم وجود آفات عند التشريح بشكل صحيح وتقدير الوقت منذ الوفاة. يجب أن يدرك أخصائي علم الأمراض أن التغييرات الموصوفة في هذا الفصل، على الرغم من تناولها بشكل فردي في النص، ستحدث في الطبيعة في وقت واحد وبمعدلات مختلفة. ومن الأهمية بمكان ملاحظة أن هذه العمليات تخضع لتأثيرات الظروف البيئية مثل درجة الحرارة، وتوتر الأكسجين، ونشاط الحشرات والزبالين، وعوامل أخرى.

٤-٢- التغيرات التي تطرأ بعد الوفاة: (Postmortem Changes)

٤-٢-١- التبريد الحراري للجسم: (Algor Mortis)

يُعرف تبريد الجسم بعد الوفاة بالتبريد الحراري للجسم. ووفقًا لمبادئ الفيزياء، يمكن تقريب الجسم إلى كتلة أسطوانية من الماء تخضع لقوانين ترموديناميكية تؤثر على معدل تبريده. ومع ذلك، هناك خلاف بشأن إمكانية تطبيق بعض المبادئ الترموديناميكية على الكائنات الحية، مما أدى إلى اقتراح نماذج بديلة لتبريد الجسم بعد الوفاة.

ومما يزيد من تعقيد تحديد نموذج التبريد المثالي، أنه لوحظ أن العديد من المتغيرات الجوهرية والخارجية تؤثر بشدة على معدل تبريد الجسم. وعلى الرغم من عقود من البحث حول هذا الموضوع، لم يتم تحديد نموذج مثالي لتحلل درجة الحرارة لأي نوع، وإذا كان مثل هذا النموذج موجودًا، فمن المتوقع أن يختلف عبر الأنواع. ومع ذلك، فقد تم التوصل إلى بعض الاستنتاجات العامة، ويمكن استخدام طريقة التحلل الحراري بعد الوفاة للمساعدة في تقدير فترة ما بعد الوفاة، على الرغم من أنه من الأفضل عدم استخدامها بمفردها لتقدير وقت الوفاة.

وكقاعدة عامة، يمكن تقسيم فترة ما بعد الوفاة إلى فترتي ما بعد الوفاة المبكرة والمتأخرة، والتي يتم تعريفها على أنها الفترات التي تسبقها وبعدها يتوازن الجسم تقريبًا مع درجة حرارة المحيط، على التوالي. ويستند استخدام طريقة التحلل الحراري بعد الوفاة لتقدير مؤشر درجة حرارة الجسم إلى مفهوم أن الجسم يبدأ في التبريد بعد الوفاة بسبب توقف الأنشطة الخلوية المتوازنة التي تولد الحرارة وتحافظ على درجة حرارة الجسم. وبعد الوفاة، نظرًا لعدم توليد حرارة إضافية من خلال العمليات الفسيولوجية، يبدأ الجسم في فقدان الحرارة للبيئة، وتبدأ درجة حرارة الجسم الأساسية في الانخفاض. ومع ذلك، في بعض الحالات، يكون هناك تأخير في التبريد الداخلي للجسم. إن مثل هذا التأخير ليس مفهوماً بالكامل وقد لوحظ في كل من أجسام البشر والأشياء غير الحية.

وقد عُزِي التأخير بشكل متغير إلى إنشاء تدرج في درجة الحرارة للسماح بنقل الحرارة أو إلى عمليات التمثيل الغذائي الهوائية أو اللاهوائية بعد الوفاة أو عمليات التمثيل الغذائي للبكتيريا المعوية. وعند ملاحظته، يُعرف التأخير الناتج عن التبريد باسم مرحلة التأخر أو تأثير هضبة درجة الحرارة (**TPE**) وقد تسبب في صعوبة كبيرة في نمذجة تدهور درجة الحرارة بعد الوفاة. ويختلف تأثير هضبة درجة الحرارة على نطاق واسع بين الدراسات ويبدو أنه يعتمد على عوامل مثل نوع الحيوان وسبب الوفاة ومنطقة الجسم وحجم الجسم وعزل السطح والظروف البيئية. وقد تم تطوير عدد من النماذج الرياضية للتنبؤ بتبريد الجسم، وقد أدرج العديد منها تأثير هضبة درجة الحرارة. استخدمت النماذج التبسيطية المبكرة صيغًا أساسية للغاية للتدهور الخطي المعروف باسم "قواعد الإبهام". وينص أحد هذه النماذج البسيطة على أن الجسم يبرد بمعدل ١,٥ درجة فهرنهايت في الساعة.

وقد تم تعديل هذا لاحقًا لمراعاة المزيد من التحلل السيني من خلال تقدير تبريد الجسم بمعدل ١,٥ - ٢,٠ درجة فهرنهايت (٠,٨٣ - ١,١١ درجة مئوية) في الساعة لأول ١٢ ساعة و ١ درجة فهرنهايت (٠,٥٥ درجة مئوية) في الساعة بعد ذلك. يذكر نموذج "قاعدة عامة" بسيط آخر أن الجسم يبرد بمعدل ١ درجة مئوية (١,٨ درجة فهرنهايت) في الساعة بعد الوفاة مع عامل إضافي قدره ٣ ساعات لمراعاة **TPE**.

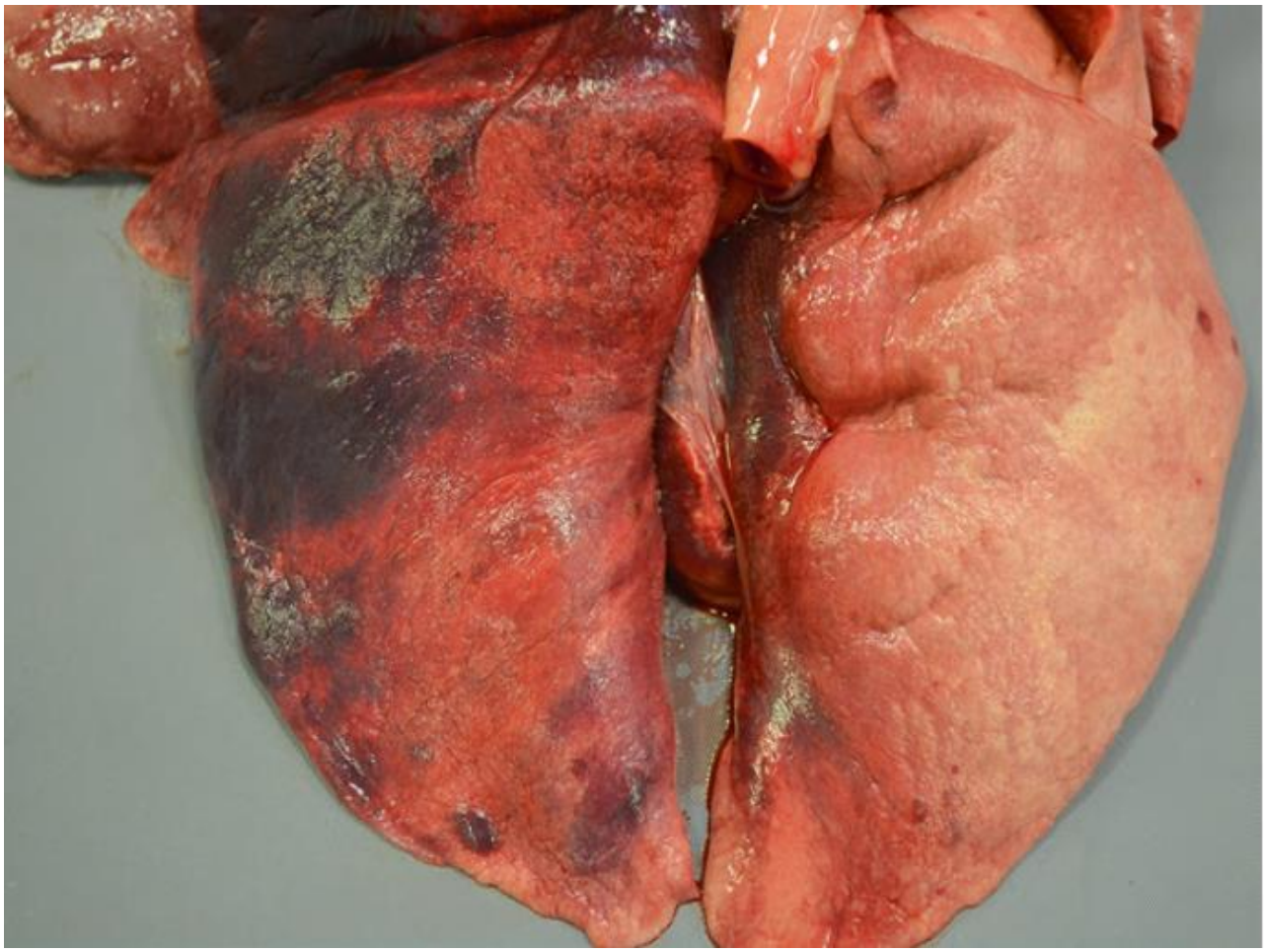
في النهاية، حدد نموذج ثنائي الأس منحنى التبريد السيني رياضيًا وأصبح الأساس الذي تم على أساسه تطوير الرسم البياني الشائع الاستخدام. وفي حين تم تطوير العديد من الصيغ الأخرى، أظهرت مقارنة الخطأ المرتبط بثماني طرق مختلفة أن التقديرات الأكثر اتساقًا مع أصغر خطأ في أجسام البشر تم إنتاجها باستخدام نموذجي "القاعدة العامة" المذكورين سابقًا والنموذج ثنائي الأس الأصلي. تظل قابلية تطبيق نماذج التبريد هذه للاستخدام في الحالات البيطرية غير مؤكدة، على الرغم من أن بعض الدراسات تشير إلى أن التبريد يختلف عبر الأنواع وأن تطبيق مثل هذه النماذج قد يكون غير مناسب. في دراسات مختلفة على الحيوانات، لم يتم

ملاحظة **TPE** باستمرار في جثث الحيوانات، مما أدى إلى معدل ونمط تبريد يختلف عن ذلك الملحوظ في دراسات أجسام البشر. فشلت دراسات الكلاب والغزلان في إنتاج أي **TPE**، وأنتجت دراسات الخنازير الحد الأدنى فقط من **TPE** في عدد قليل من الحيوانات. وعلاوة على ذلك، أظهرت إحدى الدراسات على الكلاب معدل تبريد متوسط قدره ٠,٥ درجة مئوية (٠,٩ درجة فهرنهايت) في الساعة؛ يختلف هذا بشكل كبير عن معدل التبريد المتوقع لأجسام البشر والذي يتراوح بين ٠,٨٣ إلى ١,١١ درجة مئوية (١,٥-٢,٠ درجة فهرنهايت) في الساعة. بشكل عام، تشير الدراسات التي أجريت على الحيوانات إلى أن تبريد جثث الحيوانات يختلف عن تبريد أجسام البشر، وقد لا تكون طرق تقدير مؤشر كتلة الجسم بناءً على درجة الحرارة قابلة للتطبيق عبر الأنواع.

٤-٢-٢- الزرقة الرمية: (**Livor Mortis**)

إن تغير لون الأنسجة الرخوة إلى اللون الأرجواني والأحمر بسبب تجمع الدم المعتمد على الجاذبية بعد الوفاة هو تغير لون الأنسجة. وقد يُلاحظ تغير لون الأنسجة على الأسطح الخارجية للجسم مثل الجلد والأغشية المخاطية أو على الأسطح الداخلية للجسم مثل الأحشاء البطنية أو الصدرية. ورغم أنه يمكن رؤيته بسهولة على جلد الإنسان، إلا أن تغير اللون غالبًا لا يكون بارزًا في جلد العديد من الحيوانات حتى بعد حلاقة الشعر، رغم أنه قد يكون مرئيًا على جلد الخنازير، وصيوان الأذن لدى الكلاب، وفي رئات معظم أنواع الحيوانات (الشكل ٤,١). ويتطور تغير لون الأنسجة عادةً في غضون ٣٠ دقيقة إلى ساعتين بعد الوفاة لدى البشر، رغم أن بدايته لدى الحيوانات غير مؤكدة جيدًا. وفي المرحلة المبكرة من تغير لون الأنسجة، يكون تغير لون الأنسجة نتيجة لتجمع بسيط للدم داخل الأوعية في مواقع تعتمد على الجاذبية. وفي هذه المرحلة من التطور، فإن الضغط الرقمي أو إعادة وضع الجسم سيجبر في هذه المرحلة، يتم دفع الدم بعيدًا عن المنطقة المضغوطة، مما يؤدي إلى ابيضاض بؤري حتى يُسمح للدم النازح بالتدفق مرة أخرى إلى المناطق المعتمدة على الجاذبية. يشار إلى

هذه المرحلة المبكرة باسم ليفور مورتيس غير الثابت. بالإضافة إلى الضغط الرقمي، سيتم أيضًا دفع الدم بعيدًا عن المناطق التي تكون على اتصال ثابت بالأرض أو الأشياء الأخرى، وقد تخلق هذه المواد أنماطًا من التبييض في الجلد تتوافق مع محيط الجسم المؤثر. في وقت لاحق من تطوره، عند حوالي ٨-١٢ ساعة عند البشر، يؤدي انحلال الدم وتحلل جدران الأوعية إلى تسرب الدم إلى الأنسجة المحيطة. وبالتالي، في هذه المرحلة اللاحقة، لن يتحول اللون الأزرق إلى اللون الأزرق استجابة للضغط الرقمي. في هذه المرحلة، يشار إليه باسم ليفور مورتيس الثابت. قد يكون هذا اعتبارًا مهمًا للحالات التي قد يكون فيها وضع الجسم في مسرح الجريمة ذا صلة بنتيجة القضية. إذا كان نمط الزرقة الذي لوحظ في وقت الاكتشاف لا يتوافق مع موضع الجسم فيما يتعلق بالجاذبية، فيجب على أخصائي علم الأمراض أن يفكر فيما إذا كان الجسم قد تم تحريكه بعد أن أصبح الزرقة ثابتة.



الشكل (٤-١) زرقة في قرنة اليسرى للكلب

٤-٢-٣- تيبس الموت: (Rigor Mortis)

تُعرف حالة تيبس العضلات بعد الوفاة باسم تيبس الموت (الشكل ٤,٢). بعد الوفاة، تبدأ سلسلة من التفاعلات الكيميائية الحيوية في الحدوث في ألياف العضلات الهيكلية والقلبية. يستمر استهلاك المصدر الجزيئي للطاقة اللازمة لانقباض العضلات، ثلاثي فوسفات الأدينوزين (**ATP**)، بواسطة خلايا العضلات بعد الوفاة، مما يؤدي إلى تكوين جسر متقاطع بين ألياف الميوسين والأكتين. ومع ذلك، عندما يتم استنفاد الإمداد المحدود من ثلاثي فوسفات الأدينوزين، لم يعد من الممكن تجديد ثلاثي فوسفات الأدينوزين الجديد بعد الوفاة.

نظرًا لأن ثلاثي فوسفات الأدينوزين مطلوب لفصل ألياف الأكتين والميوسين والاسترخاء الناتج عن ذلك للعضلة، لم يعد من الممكن حدوث الاسترخاء بعد استنفاد ثلاثي فوسفات الأدينوزين. ويؤدي هذا إلى بقاء ألياف العضلات في حالة من الانكماش الدائم، غير قادرة على الاسترخاء بسبب نقص ثلاثي فوسفات الأدينوزين الإضافي. ومع تطور هذه العملية بعد الوفاة، تصبح عضلات الجسم أكثر صلابة بشكل متزايد حتى يتم استنفاد كل **ATP**، وستظل في هذه الحالة حتى يتم تعطيل الصلابة إما بالقوة أو التحلل المبكر، وبالتالي تعطيل سلامة خيوط الميوسين والأكتين. يتنوع تطور تيبس الموت؛ ومع ذلك، هناك فترات ثابتة جيدًا لبداية ونهاية تيبس ما بعد الوفاة لدى البشر. يبدأ تيبس الموت عادةً بعد حوالي ٢-٦ ساعات من الوفاة ويستمر لمدة ٣٦ ساعة تقريبًا حتى يبدأ في التحسن ببطء. ومع ذلك، يعتمد هذا التقدم على درجة الحرارة المحيطة وعوامل المريض مثل النشاط قبل الوفاة وسبب الوفاة والتي قد تؤثر على عملية التمثيل الغذائي للعضلات ودرجة حرارة الجسم الأساسية وقت الوفاة. في البشر، يؤثر تيبس الموت على جميع عضلات الجسم بشكل موحد وفي وقت واحد، على الرغم من أن الانقباض غالبًا ما يكون مرئيًا بسهولة في مجموعات العضلات الصغيرة في الجسم.

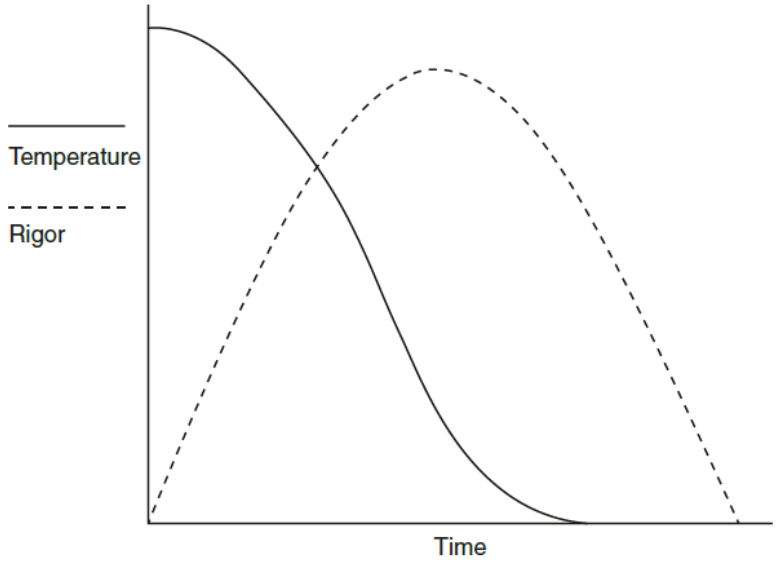
غالبًا ما يبدو أن الفك يتأثر أولاً، ثم يتقدم لاحقًا إلى العضلات الأكبر في الأطراف العلوية ثم إلى الأطراف السفلية، مع اتباع الحل بنمط مماثل. تميل الأجسام ذات الكتلة العضلية الأكبر إلى إظهار تيبس الموت بشكل

أكثر بروزًا. لذلك، يمكن توقع أن يُظهر الذكور البالغين الأصحاء تيبس الموت بشكل أكثر وضوحًا بينما قد يُلاحظ القليل من التيبس أو لا يوجد تيبس على الإطلاق في المرضى الصغار أو المسنين ذوي الكتلة العضلية القليلة. لم يتم تحديد المسار الزمني ونمط تطور تيبس الموت في الحيوانات جيدًا. أفادت إحدى الدراسات التي أجريت على الكلاب ببداية انتشار تيبس الموت في أقل من يوم واحد بعد الوفاة، مع استمراره في الأطراف الخلفية والفك حتى ٧ أيام بعد الوفاة. في حين أن معدل بداية وشفاء تيبس الموت متغير ويعتمد على عوامل متعددة، فقد لوحظت القاعدة العامة التالية للأجسام البشرية بناءً على الارتباط بين تيبس الموت وتيبس الموت (الشكل ٤,٣). لم تستند هذه القاعدة العامة إلى دراسات أجريت على الحيوانات؛ ومع ذلك، فإن التقدم العام لتبريد الجسم أثناء بداية ونهاية تيبس الموت موثق جيدًا وعملي للتفسير الميداني (الشكل ٤,٤). ومع ذلك، من المتوقع أن يختلف الفاصل الزمني المخصص لكل من هذه المراحل الأربع عبر الأنواع.

الشكل (٤-٢) تيبس الجثة في القطط، الأطراف صلبة وتقاوم الانثناء

٤-٢-٤- التجفف: (Desiccation)

قد يؤدي جفاف الأغشية المخاطية وأسطح الجلد الرقيقة بعد الوفاة إلى تغيرات في اللون أو الملمس. يبدأ الجفاف عند الوفاة وقد يتطور بسرعة في الأغشية المخاطية التي تكون رطبة وحساسة للجفاف أثناء الحياة.



تطور الصلابة وتبريد الجسم

- الجسم دافئ و مترهل
- الجسم دافئ و صلب
- الجسم بارد و صلب
- الجسم بارد و مترهل

الشكل (٤-٣) العلاقة بين تصلب و تيبس الجثة

الشكل (٤-٤) العلاقة بين تيبس الموت وتصلب الجثة تصوير بياني لتطور تيبس الموت وتغير درجة حرارة الجسم

غالبًا ما يكون تأثير الجفاف هذا أكثر بروزًا في العين عند البشر، مما يؤدي إلى ظهور شريط أفقي من اللون الأحمر إلى البني الأسود على الصلبة، والمعروف باسم "بُقْعَةٌ سَوداء" **tache noir**، حيث تفشل الجفون في الإغلاق (الشكل ٤,٥). غالبًا ما لا يكون هذا المظهر بارزًا في الحيوانات بسبب القرنية الأكبر نسبيًا والصلبة المكشوفة الأصغر. يكون تطور الجفاف في الجلد أبطأ عادةً، حيث لا تكون أسطح الجلد رطبة عادةً وتكون أكثر مرونة في الجفاف. غالبًا ما تتأثر أسطح الجلد بالمناطق الرقيقة والحساسة مثل الشفاه والأعضاء التناسلية. المظهر الخشن للأسطح المجففة أحمر غامق إلى أسود مع سطح غير منتظم. يبدو أن جفاف الجلد والأغشية المخاطية أقل بروزًا في معظم أجسام الحيوانات مقارنة بأجسام البشر.

الشكل (٤-٥) جفاف قرنية الثور يشبه التاش نوير

٤-٢-٥- التحلل: (Decomposition)

إن تحلل الأنسجة الرخوة في الجسم هو التغيير الأكثر تميزًا بعد الوفاة. والتحلل هو نتيجة لعمليتين متوازيتين ومتزامنتين غالبًا، التحلل الذاتي والتعفن. تبدأ عملية التحلل على المستوى الجزيئي فور الوفاة تقريبًا بسبب الفشل في الحفاظ على سلامة الأغشية الخلوية. ومع تحلل الخلايا وتمزقها في النهاية، فإنها تفرز إنزيمات بروتينية تعمل على تحلل الأسطح الخلوية المكشوفة وألياف النسيج الضام. والتفاعل المتسلسل الناتج عن التأثيرات التحللية بسبب هضم الأنسجة بواسطة الإنزيمات الجوهرية هو التحلل الذاتي. وفي نفس الوقت تقريبًا، قد يبدأ مسار ثانٍ للتحلل بسبب تكاثر البكتيريا واستهلاكها يشار إليه بالتعفن. وغالبًا ما يسبق التحلل الذاتي تعفن البكتيريا، حيث يخلق التحلل الجوهري للمكونات الخلوية والخلالية الظروف المثالية لتكاثر البكتيريا. وفي حين تمت دراسة التحلل على نطاق واسع في الحيوانات والبشر، فمن المعروف أن تقدمه يتأثر بالعديد من المتغيرات.

وعلى الرغم من الاختلافات الملحوظة في معدل التحلل، فهناك تسلسل يمكن التنبؤ به إلى حد ما للمراحل التي تمر بها معظم الجثث بعد الموت إذا لم تعوقها وسائل الحفظ الاصطناعية. ومن الأهمية بمكان أن نلاحظ أن العديد من هذه التغيرات والعمليات تحدث في وقت واحد، وأن تطور أحد التغيرات قد يؤثر على تطور أو ظهور تغيرات أخرى. ومن الناحية الكلاسيكية، تم تصنيف مراحل التحلل على أنها طازجة، ومنتفخة، ومتحللة، وجافة.

وقد تم تعريف هذه المراحل على النحو التالي:

- المرحلة الجديدة "الطازجة" - الموت حتى بداية الانتفاخ (٤-٣٦ يومًا)
- مرحلة الانتفاخ - بداية الانتفاخ حتى حل الانتفاخ (٣-١٩ يومًا إضافيًا)
- مرحلة التحلل - حل الانتفاخ حتى جفاف الذبيحة (٦-١٨٣ يومًا إضافيًا)
- مرحلة الجفاف - تجفيف الذبيحة حتى لا يظهر أي دليل على وجود حشرات الجيف (١٣-٢٧ يومًا إضافيًا)

ومع ذلك، كانت هذه المراحل مشكلة بالنسبة للمحققين بسبب عدم وجود نقاط بداية ونهاية محددة بوضوح؛ لذلك، لخص فاس البيانات في الأدبيات وقدم جدولًا يعتمد على هذه المراحل الأربع باستخدام درجة التحلل. قبل الملخص الذي قدمه فاس، طور محققون آخرون تعديلات على مقياس ريد المكون من أربع مراحل، باستخدام مقياس من خمس مراحل في البداية ثم مقياس من ست مراحل لاحقًا. يأخذ مقياس ويلسون المكون من ست مراحل في الاعتبار المراحل التالية: الانتفاخ الطازج الأولي، الانتفاخ الثانوي، التحلل النشط، التحلل المتقدم، والهيكل العظمي. يحتوي كل من مقياسي الخمس والست مراحل على العديد من نقاط البداية والنهاية الوصفية للغاية لكل مرحلة. قد يكون مقياس المراحل الست أكثر ملاءمة للجثث المدفونة أو تلك التي لها فترة تحلل أطول، بينما قد يكون مقياس المراحل الخمس أكثر ملاءمة للجثث المكشوفة أو تلك التي لها فترة تحلل أطول**PMI** . يتم تلخيص المقياس المكون من خمس مراحل على النحو التالي (الشكل ٤,٦):

- طازجة - بدون تغير في اللون أو نشاط حشري (٠-٥ أيام بعد الوفاة)
- طازجة - لا يوجد تغير في اللون أو نشاط حشري (٠-٥ أيام بعد التحلل المبكر - تغير في اللون من

الرمادي إلى الأخضر، انتفاخ، تمزق بعد الانتفاخ، انزلاق الجلد، تساقط الشعر (١-٢١ يومًا بعد الوفاة)

- التحلل المتقدم - التحلل الرطب للأنسجة، ترهل اللحم، انكماش البطن، نشاط حشري مكثف، كشف عظام أقل من نصف الهيكل العظمي، التحنيط (٣ أيام - ١٨ شهرًا)
- التكوُّن الهيكلي - العظام التي تحتوي على بعض سوائل الجسم أو الأنسجة التي تغطي أقل من نصف الهيكل العظمي، العظام الجافة (١٣ يومًا - ٣ سنوات)
- التحلل الشديد - التكوّر مع التبييض أو التقشير أو فقدان الميتافيزيقا أو التعرض الإسفنجي (من شهرين إلى ٣ سنوات)

الشكل (٤-٦) الخنزير (أ) طازج - لا يوجد تغير في اللون أو نشاط حشري؛ (ب) تحلل مبكر - تغير في اللون من الرمادي إلى الأخضر، انتفاخ، تمزق بعد الانتفاخ؛ (ج) تحلل متقدم - تحلل رطب للأنسجة، ترهل اللحم، انكماش البطن، نشاط حشري مكثف، كشف عظام أقل من نصف الهيكل العظمي؛ (د) تحلل العظام - عظام تحتوي على بعض سوائل الجسم أو أنسجة تغطي أقل من نصف الهيكل العظمي؛ (هـ) تحلل شديد - تحلل العظام مع التبييض

في محاولة لشرح التباين الكامن في معدل التحلل، طور ميجيسي طريقة تعتمد على أيام الدرجات المتراكمة (**ADD**) من خلال تسجيل التحلل واحتساب الوقت ودرجات الحرارة التي تعرضت لها بقايا الإنسان. أظهرت هذه الدراسة أن أيام الدرجات المتراكمة كانت مسؤولة عن ٨٠٪ من التباين الذي تحللت به الجثث، مما يدعم الاستنتاج القائل بأن درجة الحرارة المتراكمة بمرور الوقت كانت أكثر أهمية من الوقت وحده. كما دعم فاس نظرية أيام الدرجات المتراكمة واقترح صيغة عالمية لتقدير مؤشر درجة الحرارة المتراكمة لا تعتمد على العوامل الجغرافية أو المناخية. ومع ذلك، أثبت كوكلي أن الصيغتين العالميتين اللتين قدمهما فاس ليستا موثوقتين واقترح أنه لا يمكن توقع وجود صيغة عالمية لتقدير مؤشر درجة الحرارة المتراكمة بشكل موثوق. أكدت إحدى الدراسات على أهمية المناخ في دقة طريقة أيام الدرجات المتراكمة، مستشهدة بالارتباط المنخفض بين أيام الدرجات المتراكمة ودرجة التحلل الملحوظة في دراسة استخدمت عشرة جثث بشرية في مناخ شبه استوائي شبه جاف.

وقد اقترح موفات مؤخرًا تعديلات على النموذج الذي استخدمه ميجيسي لتحسين حساب **ADD** من إجمالي درجة الجسم (**TBS**) لتحسين تقدير **PMI**، وأوصى ناوروكا بتحسينات على نظام تسجيل **TBS**. توفر فائدة **TBS** منظورًا فريدًا يتم فيه تقسيم نموذج من أربع مراحل - التحلل الطازج المبكر والتحلل المتقدم والهيكل العظمي - إلى وحدات قياس أكثر تحديدًا ووصفًا. بدلاً من قياس الجسم بالكامل ككل، تستخدم الطرق الجديدة لتقدير فترة ما بعد الوفاة، مثل تلك التي طورها ميجيسي، **TBS** و **ADD** جنبًا إلى جنب لربط وحدات درجة الحرارة بدرجة التحلل بشكل أفضل. يشير البحث الميداني باستخدام هذه الطريقة إلى أن **PMI** يتم تقديره بدقة أكبر عندما يرتبط التحلل بالظروف البيئية. تقليديًا، كان تقدير وتقييم درجة التحلل عملية نوعية؛ أي يتم إجراء تقييم بصري للجسم وتقييم مرحلة التحلل فيه. ومع ذلك، فإن هذا يؤدي إلى العديد من المشاكل حيث يتأثر التحلل بشكل كبير بالمتغيرات الخارجية، وخاصة درجة الحرارة والتغيرات البيئية. يلعب حجم الجسم أيضًا دورًا في

معدل التحلل. أظهرت دراسة أجراها ساذرلاند باستخدام طريقة **TBS/ADD** أن الخنازير الأصغر حجمًا تتحلل بشكل أسرع من الخنازير الأكبر حجمًا. تعد طريقة **TBS** مفيدة لأنها تسمح بنهج كمي لطريقة نوعية تقليدية لتقدير **PMI**؛ ومع ذلك، فإن الطريقة لم يتم تحسينها بعد بما يكفي للتطبيق الميداني.

لقد قيمت ثلاث مناطق تشريحية من الجسم بشكل مستقل: الرأس والرقبة والجذع / الجذع والأطراف / الأطراف. في كثير من الحالات، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى تأثير الحشرات التي تستعمر البقايا، فإن منطقة واحدة من الجسم ستظهر مرحلة أكثر تقدمًا من التحلل من غيرها (أي أن الرأس قد يكون هيكليًا، بينما قد لا يزال الجذع يظهر انتفاخًا). في مثل هذه الحالات، فإن استخدام نموذج تقييمي عام مكون من أربع أو خمس أو ست مراحل فقط لتقييم درجة التحلل سيكون متضاربًا وغير دقيق بالتأكيد. يسمح التسجيل المستقل لكل منطقة رئيسية من الجسم بقياس أكثر دقة ووضوحًا لدرجة التحلل. تُظهر الأبحاث الجديدة والمستمرة التي أجراها هذا المؤلف في جامعة فلوريدا أنه حتى عندما تكون العينات متشابهة الحجم ويتم وضعها في نفس الموقع للتحلل، فإن التغيرات البيئية الموسمية وكمية الأمطار تؤدي إلى اختلافات كبيرة في الوقت الذي تستغرقه البقايا لتتحول إلى هياكل عظمية بالكامل. في الصيف مع هطول الأمطار بعد الظهر بشكل متسق، يمكن أن تتحول البقايا إلى هياكل عظمية بالكامل في غضون أسبوعين. في أشهر الشتاء الباردة وأوائل الربيع في غياب الأمطار، قد يستغرق الأمر ما يصل إلى ٤ أشهر حتى تتحول البقايا إلى هياكل عظمية.

وبالمثل، في نفس ظروف درجات الحرارة، يمكن أن يؤدي هطول الأمطار وحده إلى تغيير معدل التحلل بسبب بداية تحنيط البقايا في الظروف الحارة والجافة (**Sutton**، ٢٠١٦). يبدو أن معدل التحلل يتأثر بمتغيرات متعددة، ومن بينها درجة الحرارة والرطوبة اللتان تعتبران الأكثر فهمًا. وتشمل المتغيرات الإضافية التي قد تؤثر على معدل التحلل سبب الوفاة، وطريقة التخلص من الجثة (على سبيل المثال، دفنها، أو غمرها في الماء، أو وضعها في كيس، أو تغليفها بالخرسانة)، والغطاء الخارجي والعزل بالملابس أو الشعر، ونشاط الحشرات،

ونشاط الزبالين، والصدمات، وعوامل أخرى. هذه المتغيرات كثيرة جدًا بحيث لا يمكن مناقشتها بالكامل هنا، ولكن تم تلخيص بعض النتائج الرئيسية. على الرغم من أنه تم توثيقه جيدًا أن مواقع الصدمات الجسدية توفر مواقع بديلة لاستعمار الحشرات وبالتالي قد تؤثر على نمط التحلل، فقد تم تحديد أن وجود صدمة من جروح الطلقات النارية في الخنازير لا يؤثر بشكل كبير على معدل التحلل الإجمالي. بالإضافة إلى ذلك، فإن وجود الملابس على جثث الخنازير أبطأ معدل التحلل بشكل طفيف ولكن بشكل ملحوظ، على الرغم من أنه من خلال توفير المزيد من مواقع وضع البيض، فقد تكون الملابس قد غيرت نمط التحلل. وقد ثبت أن التعرض للحشرات والحرارة الناتجة عن كتل الحشرات هي عامل رئيسي في معدل التحلل.

أظهرت دراسة أجريت باستخدام الأرانب أن الأرانب المعرضة باستمرار للحشرات تحللت بشكل أسرع من تلك المعرضة للحشرات ثم دُفنت لاحقًا. تحللت كلتا المجموعتين بشكل أسرع من الأرانب التي لم تتعرض أبدًا للحشرات، سواء فوق الأرض أو مدفونة. وقد قُدِّر عمومًا أن بقايا السطح المكشوفة تتحلل أسرع مرتين من البقايا المغمورة وثماني مرات أسرع من البقايا المدفونة. تم تطوير نظام **TBS** مؤخرًا للاستخدام في أجساد البشر المغمورة على الرغم من عدم تطوير أي نظام على وجه التحديد للاستخدام في البقايا المدفونة. كما ثبت أن الضرر الذي يلحقه الزبالون بالجثث يؤثر بشكل كبير على التحلل وتقدير **PMI**. أظهرت إحدى الدراسات أن الضرر الذي يلحقه الذئاب بجثث الغزلان أدى إلى زيادة معدل التحلل مع استهلاك الجثة وحركتها، وانخفاض حجم الجثة، وتغير تعاقب الحشرات.

تم الإبلاغ عن تسارع تحلل الجثث البشرية في ظل مجموعة متنوعة من الظروف بما في ذلك درجات الحرارة المحيطة المرتفعة (نتيجة للظروف الجوية الطبيعية، والحرائق، والتدفئة الداخلية، والحمام/الساونا)، وارتفاع درجة حرارة الجسم (نتيجة للحمى أو تعاطي المخدرات)، وتسمم الدم، ومرض السكري، والسمنة.

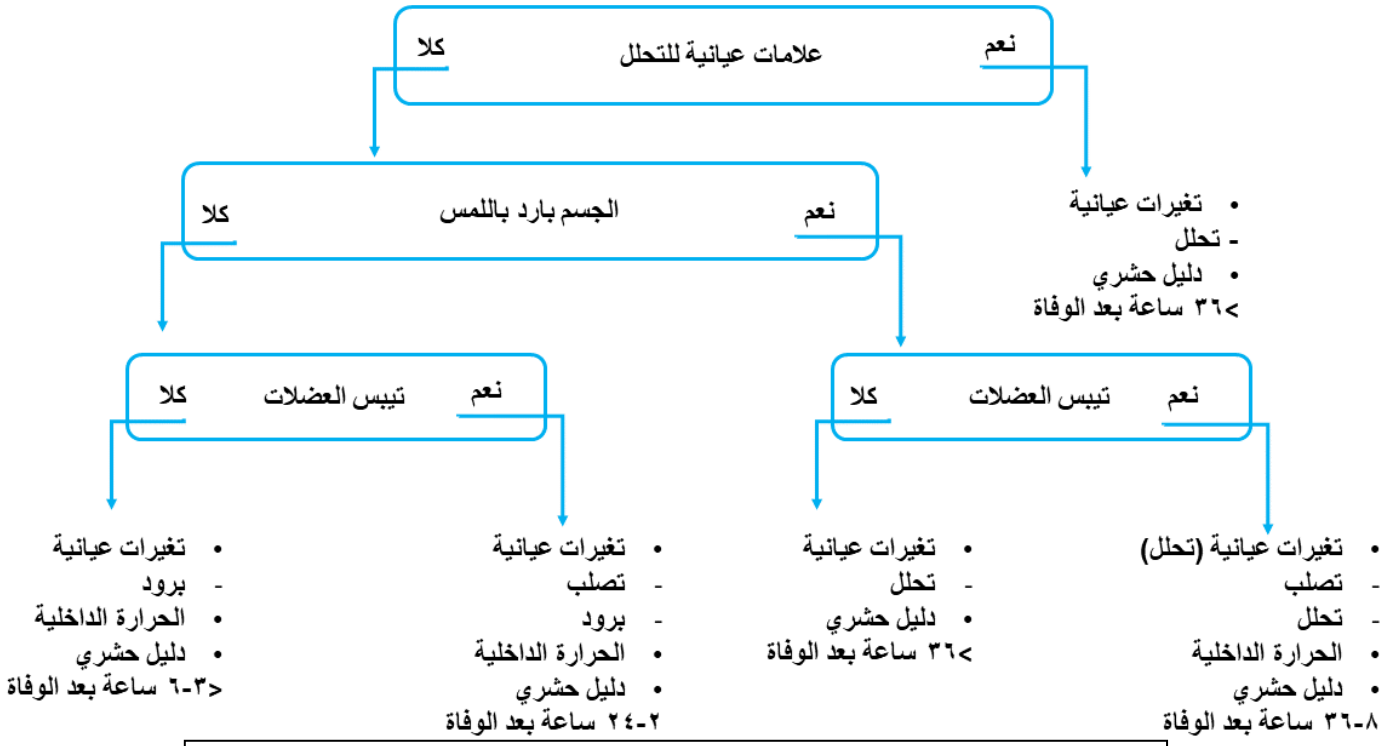
٤-٢-٦- التحنط: (Mummification)

في ظل الظروف المحيطة الجافة، بغض النظر عن درجة الحرارة، حيث تكون الرطوبة منخفضة والتهوية كافية مع نشاط حشري محدود، قد يصبح الجسم جافًا بشكل عام بدلاً من التقدم خلال المراحل النموذجية للتحلل. في هذه الحالة، غالبًا ما يصبح الجلد مشدودًا، ويميل إلى اللون البني المصفر أو الأسود، وقد يكون له قوام جلدي أو ورق رق. نتيجة للتعرض لمثل هذه الظروف الجافة، يتم تثبيط عمليات التحلل الذاتي والتعفن، وتصبح الأنسجة مجففة. يؤدي هذا الجفاف إلى تغييرات مرئية في الجسم بما في ذلك انكماش أو تجعد الجلد، وانكماش فراش الأظافر وأطراف الأصابع، وتقلص عضلات منتصبة الشعر (الشكل ٤,٧). الوقت المطلوب لحدوث التحنيط متغير، على الرغم من أنه قد يُعتبر عمومًا أنه يتطلب عدة أسابيع على الأقل.

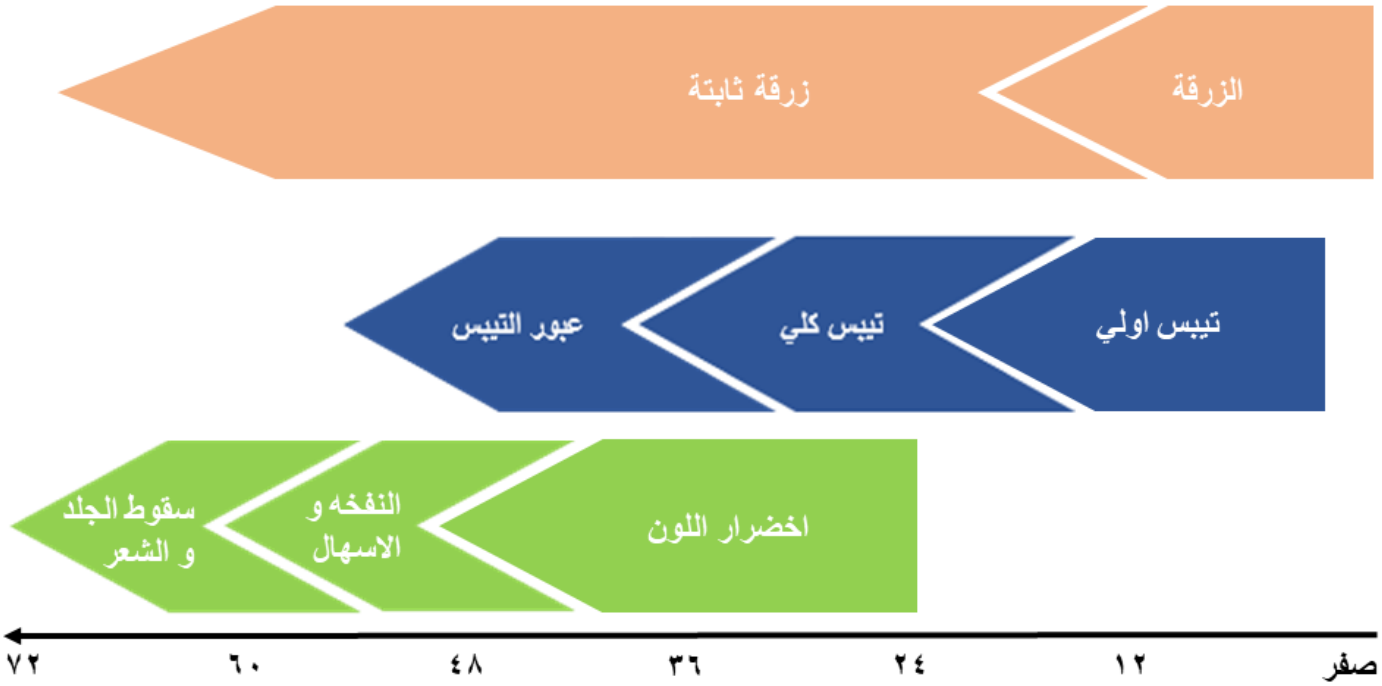
الشكل (٤-٧) تحنيط كلب أدى إلى تحول جلده إلى اللون الأسود. تم نقل هذا الكلب مؤخرًا من البيئة التي تم تحنيطه فيها وتم إلقاؤه في حاوية قمامة مما سمح باستعماره بواسطة ذباب النفخ

٤-٣- تقدير الفاصل الزمني بعد الوفاة: (Estimating the Postmortem Interval)

من المرجح أن يكون عدد قليل من التقنيات مفيدًا عمليًا لتقدير فترة ما بعد الوفاة في الحالات البيطرية. ستختلف الطرق التي يستخدمها أخصائي علم الأمراض لتقدير **PMI** وفقًا لفترة ما بعد الوفاة الفعلية (الشكل ٤,٨).



الشكل (٤-٨) الأساليب المستخدمة لتقدير فترة ما بعد الوفاة وفقًا للوقت الفعلي منذ الوفاة



الشكل (٤-٩) التغييرات المتوقعة بعد الوفاة بمرور الوقت

٤-٣-١- التغيرات العيانية: **(Gross Changes)**

يبدأ الجسم بالتحلل فورًا تقريبًا بعد الوفاة، أولاً من خلال التحلل الذاتي ثم لاحقًا من خلال التعفن البكتيري. وعلى الرغم من أن التحلل يتطلب عدة ساعات على الأقل قبل أن يصبح واضحًا بشكل صارخ، فقد تحدث تغييرات أخرى أكثر وضوحًا في وقت سابق مثل تيبس الموت وتصلب الكبد. وبينما تتأثر هذه العمليات بشكل كبير بالعديد من المتغيرات كما نوقش سابقًا، يمكن توقع تقدم نموذجي للتغيرات الجسيمة بمرور الوقت (الشكل ٤,٩). أثناء مسار التحلل، يخضع الجسم لتسلسل متوقع إلى حد ما من التغييرات بما في ذلك التغيرات في اللون، وتصلب العضلات المؤقت، والتمدد بالغاز الحر، وإنتاج سائل التطهير، وانزلاق البشرة، وتدمير الأنسجة الرخوة، وتدمير العظام في النهاية. يرجع ظهور تيبس الكبد المعتمد على الجاذبية باللون الأرجواني والأحمر في الساعات القليلة الأولى إلى ترسب الدم داخل الأوعية الدموية بعد الوفاة. قد يكون تيبس الكبد مرئيًا في غضون ٣٠ دقيقة بعد الوفاة ويتطور بشكل كامل عادةً بعد حوالي ١٠-١٢ ساعة من الوفاة عند البشر؛ ومع ذلك، فإن الزرقة ليست سمة بارزة في معظم جثث الحيوانات. بعد نموها الكامل، تصبح الجثة الميتة ثابتة ولا يمكن تبييضها بالضغط. الوقت المطلوب لحدوث التثبيت متغير وقد يتراوح من ١٢ ساعة إلى ٣ أيام عند البشر. يبدأ تيبس الجثة عادة بعد حوالي ٢-٦ ساعات من الوفاة، ويتطور بشكل كامل بحلول ٦-١٢ ساعة، ثم يبدأ في الاختفاء بعد حوالي ٣٦ ساعة عند البشر. يمكن تفسير تيبس الجثة بالتزامن مع درجة حرارة الجسم لإنتاج نافذة ما بعد الوفاة، على الرغم من أن توقيت هذه النوافذ قد يكون خاصًا بالأنواع. مع زيادة الوقت بعد الوفاة، تصبح تأثيرات التحلل الذاتي والتعفن واضحة بشكل متزايد. غالبًا ما تصبح تغيرات اللون في الجلد والأنسجة الرخوة مرئية بعد حوالي ٢٤-٣٠ ساعة، وغالبًا ما يتم ملاحظتها أولاً على أنها تغير في لون الجلد البطني نتيجة لتحلل الهيموجلوبين إلى بيليفيردين وتفاعله مع سيانيد الهيدروجين، وهو غاز تعفن بارز. وقد ورد أن هذا التغير في لون البطن إلى الأخضر قد لا يتطور في الكلاب والقطط التي تعاني من سوء التغذية. وبالإضافة إلى تغيرات اللون، فإن تجاويف

الجسم والأعضاء الداخلية غالبًا ما تتمدد بسبب الغازات نتيجة للتعفن البكتيري. وقد تشمل هذه الغازات الميثان وثاني أكسيد الكربون والهيدروجين والأمونيا وكبريتيد الهيدروجين والمركابتان وهي مسؤولة إلى حد كبير عن الرائحة التي ينتجها الجسم المتحلل. ويكون الانتفاخ الغازي في معظم جثث الحيوانات أكثر وضوحًا في البطن وقد يؤدي إلى انتفاخ أو تدلي المستقيم. وقد تتأثر مجموعة متنوعة من الأنسجة الرخوة بالانتفاخ الغازي الذي يتطور غالبًا بعد حوالي ٦٠-٧٢ ساعة من الوفاة عند البشر؛ ومع ذلك، قد يحدث هذا بشكل أسرع أو أبطأ بشكل ملحوظ اعتمادًا على نوع الحيوان والظروف البيئية. على سبيل المثال، في المجترات، قد يحدث الانتفاخ البطني مبكرًا بشكل ملحوظ، وخاصة أثناء درجات الحرارة المحيطة المرتفعة. بدلاً من ذلك، قد لا تتطور لدى الحيوانات أحادية المعدة الصغيرة التي يتم الحفاظ عليها في درجات حرارة محيطة منخفضة أي انتفاخ بطني ملحوظ.

مع تقدم عملية التحلل، تصبح سلامة الجلد معرضة للخطر وقد يؤدي ذلك إلى انزلاق البشرة أو تساقط شعر الجسم. في البشر، قد تتكون حويصلات جلدية مليئة بالسوائل أو الغازات، على الرغم من أن هذه السمة لا تُلاحظ عادةً في جثث الحيوانات. غالبًا ما ينضح السائل البني المحمر الناتج عن التحلل الذاتي والتحلل، والمعروف باسم سائل التطهير، من الفم والأنف وقد ينضح لاحقًا من فتحة الشرج أو الفتحات الأخرى [٢٢]. في الكلاب، قد يُلاحظ تغير لون الأسنان إلى اللون الوردي بعد عدة أيام إلى أسابيع من الوفاة [١٨]. على مدار الأسابيع المتعاقبة، يكون التحلل المستمر للأنسجة الرخوة عن طريق التعفن البكتيري ونشاط الحشرات وتلف الزبالين أمرًا شبه مؤكد ولكنه متغير للغاية. ستؤدي هذه العمليات إلى تعرض العظام لعدة أيام إلى أشهر بعد الوفاة، مما ينتج عنه بقايا هياكل عظمية. من المعروف أن درجة الحرارة لها تأثير كبير على التحلل الذاتي والتعفن، وقد تؤثر درجات الحرارة المحيطة المرتفعة أو المنخفضة على معدل أو نمط التحلل. بشكل عام، تؤدي درجات الحرارة البيئية المتزايدة إلى زيادة في معدل التحلل الإجمالي. ومع ذلك، قد يؤدي تجميد الجثة إلى تقليل معدل التحلل وكذلك تغيير النمط الذي يحدث به التحلل [٤٥]. أظهرت الجثث المجمدة معدل تحلل أبطأ بشكل عام، وتعفن داخلي

أقل، وجفاف خارجي أكبر ووضع بيض بواسطة ذباب البحر مقارنة بالجثث الطازجة [٤٥]. حاولت الاستراتيجيات التي تم تطويرها مؤخرًا تحديد كمية عملية التحلل وتوحيد الوقت الذي يستغرقه الوصول إلى مراحل مختلفة من التحلل باستخدام الوحدات الحرارية بدلاً من الأيام التقويمية. تستخدم هذه الدراسات درجة الجسم الكلية (**TBS**)، والتي تحدد كمية مراحل التحلل بشكل مستقل في ثلاث مناطق من الجسم (الرأس والجذع والأطراف/الأطراف). تُستخدم في هذه الدراسة طريقة الأيام التراكمية (**ADD**) - وهي الطريقة الأكثر استخدامًا من قبل علماء الحشرات للتنبؤ وتحديد عمر وتطور المفصليات - لربط **TBS** بالوقت الذي يستغرقه الوصول إلى كل مرحلة من مراحل التحلل بالوحدات الحرارية خلال فترة زمنية مدتها ٢٤ ساعة. لحساب **ADD**، ما عليك سوى إضافة مجموع متوسط درجة الحرارة اليومية لجميع الأيام خلال الفترة المعنية، بما في ذلك الأيام التي كانت فيها درجة الحرارة المتوسطة أعلى من ٠ درجة مئوية فقط، وهي العتبة التي يمكن أن يحدث عندها التحلل. بهذه الطريقة، يتم حساب مجموع الوحدات الحرارية المتراكمة بمرور الوقت. وفقًا لهذه النظرية، يتلقى الجسم المعرض لمدة يومين عند ١٥ درجة مئوية (**ADD = 30**) نفس عدد الوحدات الحرارية مثل الجسم المعرض لمدة يوم واحد عند ٣٠ درجة مئوية (**ADD = 30**). ومن المتوقع أن تعمل الأبحاث الجارية على تحسين تطبيق طرق **TBS/ADD**، لكنها حاليًا قليلة الاستخدام العملي في هذا المجال. ومع ذلك، تُظهر هذه الطرق إمكانات كبيرة لتصبح معيارًا للممارسة في المستقبل القريب. على الرغم من أن درجة الحرارة والظروف البيئية الأخرى تشكل عوامل مهمة في تقدير درجة التحلل، إلا أن الأبحاث الجديدة تشير إلى أن النوع نفسه قد يلعب دورًا أكبر في معدل التحلل، مما قد يغير الطريقة التي تُجرى بها أبحاث التحلل في المستقبل. لقد تم قبول عمومًا أن الخنازير تمثل بديلاً مناسبًا للبشر في أبحاث التحلل بسبب حجمها وتوزيع شعرها وتفضيل الحشرات لها مقارنة بجثث البشر. ومع ذلك، لا يأخذ هذا النوع من الأبحاث عادةً في الاعتبار تفضيل الحيوانات الزبالة والطرق التي يؤثر بها البحث عن الفضلات على معدل التحلل. قارنت دراسة أجريت في جامعة تينيسي معدلات

تحلل الأرانب والخنازير والبشر، وتضمنت بشكل فريد البحث عن الفضلات الحيوانية كعامل. اقترحت الدراسة، كما هو موثق باستمرار في الأدبيات، أن استعمار الذباب كان أكثر انتشارًا في الأشهر الأكثر دفئًا وأن البحث عن الفضلات الحيوانية كان عاملًا أكثر أهمية في الشتاء عندما كان نشاط الحشرات أبطأ. اقترحت أيضًا أن نمط البحث عن الفضلات الحيوانية يختلف بين الأنواع. تميل الخنازير إلى تجربة التهام الجيف في منطقة الجذع/الجذع، في حين كان البشر غالبًا ما يتغذون على الأطراف (وقائع الجمعية الأمريكية لعلوم الحيوان، ٢٠١٦). في تحقيق الطب الشرعي، سيتم بالتأكيد تناول التغيرات التابونومية بما في ذلك أدلة التهام الحيوانات للبقايا. ونتيجة لذلك، هناك حاجة إلى مزيد من البحث لفهم الآثار المترتبة على الاختلافات بين الأنواع بشكل كامل فيما يتعلق بتفضيل الحيوانات للتغذي على الجيف.

٤-٣-٢- تغيرات الحرارة (**Temperature change**)

إن استخدام نموذج تحلل درجة الحرارة بعد الوفاة هو طريقة شائعة لتقدير مؤشر **PMI** في أجسام البشر؛ ومع ذلك، يجب النظر في أي تقدير من هذا القبيل في سياق الأنواع المعنية بدلاً من الاستقراء البسيط من البيانات المستمدة من الدراسات البشرية. النهج المثالي للمحقق البيطري هو الحصول على البيانات من الدراسات الخاضعة للرقابة والبيانات القائمة على الحالات التي تم جمعها من الأنواع المعنية. لسوء الحظ، لا يوجد سوى عدد صغير من هذه الدراسات حاليًا، والبيانات الناتجة ذات فائدة محدودة للتطبيق العملي. لذلك، قد ينظر المحقق البيطري في الطرق العملية التالية لتفسير درجات الحرارة الأساسية في الميدان لتقدير مؤشر **PMI**. تم تطوير الطرق الثلاث الأولى بناءً على دراسات أجريت على أجسام البشر، بينما تم تطوير الطريقة الرابعة بناءً على البيانات التي تم جمعها من الكلاب. يجب توخي الحذر في تطبيق هذه الطرق.

يُنصح عمومًا بأن يأخذ المحقق في الاعتبار نطاق التقديرات التي تنتجها العديد من هذه الطرق:

١- "القاعدة العامة التي تنص على أن الجسم يبرد بمعدل ١ درجة مئوية في الساعة بعد الوفاة، بالإضافة إلى عامل ٣ ساعات لحساب إجمالي درجة الحرارة. ويمكن التعبير عن ذلك على النحو التالي:"

فترة مابعد الموت (PMI) بالساعات = ٣٧° مئوية – درجة حرارة المخرج (مئوية) +٣

٢- متوسط معدل التبريد المذكور هو ١,٥-٢,٠ درجة فهرنهايت (٠,٨٣-١,١١ درجة مئوية) لأول ١٢ ساعة بعد الوفاة، يليه ١ درجة فهرنهايت (٠,٥٥ درجة مئوية) لكل ساعة بعد ذلك. ويمكن التعبير عن ذلك على النحو التالي:

تقريبًا ومثل PMI (بالساعات) = (٣٧ درجة مئوية - درجة حرارة المستقيم درجة مئوية) / ٠,٨٣

مؤشر كتلة الجسم (بالساعات) = (٩٨,٦ درجة فهرنهايت – درجة حرارة المستقيم درجة فهرنهايت) / ١,٥

٣- نموذج ثنائي الأسي صقله هينسجيند وقدمه في شكل مخطط بياني سهل الاستخدام بدلاً من الحساب. المخطط البياني متاح للاستخدام على العديد من المواقع الإلكترونية ويتم نشره على نطاق واسع في العديد من الكتب المدرسية. يتطلب استخدامه درجة حرارة مستقيمية واحدة فقط ودرجة حرارة المحيط ووزن الجسم ويسمح بالتصحيح بسبب الملابس والظروف البيئية.

٤- انخفضت درجة حرارة المستقيم بمقدار ٠,٥ درجة مئوية في الساعة لدى الكلاب. كان وزن الجسم وحجم الجسم متناسبين عكسياً مع معدل التبريد، على الرغم من أنه لم يتم العثور على أي تأثير للجنس وكثافة كتلة الجسم وكثافة الشعر.

بالنسبة للتطبيق على الحيوانات التي تختلف درجة حرارة أجسامها الأساسية عن درجة حرارة أجسام البشر، يجب تعديل هذه الصيغ عن طريق استبدال ٣٧ درجة مئوية (٩٨,٦ درجة فهرنهايت) بدرجة الحرارة الأساسية المتوقعة للأنواع المعنية. يجب على المحقق البيطري أن يأخذ في الاعتبار وجود درجة من الخطأ

المتأصل في كل من الطرق حتى عند تطبيقها على الأنواع التي تم تطويرها من أجلها. بشكل عام، يوجد هامش خطأ لا يقل عن ساعتين في أول ٦ ساعات بعد الوفاة، وهامش خطأ لا يقل عن ٣ ساعات في الـ ١٤ ساعة التالية، وهامش خطأ لا يقل عن ٤,٥ ساعات في الـ ١٠ ساعات التالية. تؤدي طريقة الرسم البياني على وجه التحديد إلى خطأ يتراوح بين ٢,٨ و٧ ساعات في أجسام البشر، ولم تقيم أي دراسات مدى صلاحيتها في جثث الحيوانات. بعد حوالي ٢٤ ساعة، عندما تتوازن درجة حرارة الجسم مع درجة حرارة البيئة، لم تعد هذه الطرق مفيدة. وعلى هذا، ينبغي للمحقق أن يأخذ في الاعتبار القيود والخطأ المتأصل في مثل هذه الأساليب، ومن الناحية المثالية أن يأخذ في الاعتبار أساليب أخرى في نفس الوقت، وخاصة عندما تستخدم في المحكمة كدليل لتقدير وقت الوفاة. وتستمر النماذج في التحسن، كما تم تطوير أساليب جديدة تعتمد على درجة الحرارة مؤخرًا؛ ومع ذلك، لا يوجد منها عملي للتطبيق الميداني حتى الآن. وفي حين تم التحقيق في العديد من الأساليب، ربما تكون الأساليب الأكثر وعدًا هي الأساليب القائمة على تسجيل درجات حرارة المستقيم المتعددة أو قياسات درجة الحرارة من العين أو الأذن. وتستند إحدى الطرق التي تم تطويرها مؤخرًا إلى تسجيل ثلاث درجات حرارة مستقيمية على الأقل واستخدام طريقة المربعات الصغرى غير الخطية لحساب مؤشر درجة حرارة الجسم المقدر بهامش خطأ منخفض مقارنة بطريقة الرسم البياني. وقد ارتبطت قياسات درجة حرارة الأذن في أجسام البشر بواسطة مسبار يتم إدخاله في قناة الأذن ارتباطًا جيدًا بمؤشر درجة حرارة الجسم المقدر عندما كانت درجة حرارة البيئة أعلى من ١٥ درجة مئوية، مما لا يُظهر تأثير الهضبة، وهي متفوقة على طريقة الرسم البياني أو غيرها من صيغ "القاعدة العامة" التقليدية لتقدير مؤشر درجة حرارة الجسم المقدر. أظهرت درجات حرارة الأنسجة الرخوة في العين والمدار لدى البشر، والتي تم قياسها بواسطة مسبار دبوس تم إدخاله في الكرة الأرضية من خلال الصلبة، انخفاضًا أسرع في درجة الحرارة بعد الوفاة مقارنة بدرجات حرارة المستقيم، وعدم وجود تأثير هضبة، وعدم وجود تأثير

بسبب كتلة الجسم وانخفاض الخطأ مقارنة بدرجة حرارة المستقيم. وبالمثل، كانت درجة حرارة العين أكثر دقة في تقدير **PMI** في الخنازير خلال أول ١٣ ساعة بعد الوفاة. وبالتالي، يستمر البحث، ومن المرجح أن يتم تحسين نماذج تقدير **PMI** بناءً على درجات حرارة الأذن أو العين أو درجات حرارة المستقيم المتعددة في المستقبل القريب.

٤-٣-٣- علم الحشرات: (**Entomology**)

إن التقييم الدقيق للجسم وبيئته المباشرة وأخذ العينات المناسبة من مراحل حياة الحشرات المناسبة قد يوفر معلومات قيمة لتقدير **PMI**. قد توفر أدلة الحشرات، في بعض الحالات، أفضل تقدير لوقت الوفاة أو وقت استعمار الأنسجة كما قد يحدث قبل الوفاة في حالة وجود جرح غير معالج؛ ومع ذلك، يجب على المرء أن يأخذ بعين الاعتبار بعناية أن العمليات الحيوية للحشرات ذات الصلة عرضة بدرجة كبيرة للتغيرات في الظروف البيئية ودرجة الحرارة. إن تحديد وتقييم الحشرات بشكل أكبر يقع خارج نطاق ممارسة معظم علماء الأمراض البيطريين ويتم تناوله في مكان آخر وبالتالي لا تتم مناقشته هنا. ومع ذلك، فإن الجمع السليم والمحافظة على الحشرات من الجسم و/أو المشهد هي مهارة يجب أن يتقنها أخصائي علم الأمراض لاستخدامها في الحالات التي يُتوقع أن يكون فيها الدليل الحشري ذا أهمية بالغة. في حين أن هناك العديد من المبادئ التوجيهية فيما يتعلق بالجمع السليم والمحافظة على العينات الحشرية في الأدبيات الحالية، إلا أن نظرة عامة أساسية مفصلة هنا لاستخدامها من قبل أخصائي علم الأمراض البيطري.

يجب جمع الحشرات البالغة في مكان الحادث إذا أمكن ذلك لأنها ستتبدد بسرعة عندما يبدأ التفاعل البشري مع البقايا. يمكن جمع الحشرات البالغة باستخدام شبكة حشرات بحركة مسح على شكل "رقم ٨". بمجرد جمعها، يجب حفظها من خلال وضعها في قارورة ذات غطاء لولبي مملوءة إما بـ **KAA** (محلول من الكيروسين وحمض الأسيتيك والكحول) أو **EtOH**. لا يلزم جمع الحشرات البالغة حية. يجب جمع عينات

اليرقات (أي الديدان) حية وميتة ويمكن غالبًا جمعها من المختبر إذا لم يتم إجراء جمع في مكان الحادث. تأكد من جمع الحشرات ذات الجسم الناعم مثل الديدان باستخدام ملقط خفيف الوزن لمنع تلف اليرقات. يوصى بتبييض اليرقات قبل الحفظ لمنع اليرقات نفسها من التحلل مما قد يجعل تحديد النوع صعبًا. ضع اليرقات في ماء ساخن جدًا لمدة ١٥ ثانية، ثم أخرجها وضعها في **KAA** أو **EtOH**. إذا أمكن، يجب جمع ٥٠-٦٠ فردًا وحفظها لجمع اليرقات الميتة. إذا كان هناك عدد كافٍ من اليرقات، فيجب جمعها حية أيضًا. اجمع اليرقات باستخدام ملقط خفيف الوزن وضعها في حاوية بلاستيكية. داخل الحاوية البلاستيكية، يجب وضع بديل للتربة في القاع؛ يمكن استخدام التربة نفسها أو بديل للتربة مثل الفيرميكوليت

مقبول أيضًا. يجب وضع مصدر غذائي مثل كبد البقر أو حتى طعام القطط في كمية صغيرة من ورق القصدير ووضعه فوق بديل التربة. ضع اليرقات الحية مباشرة على مصدر الغذاء داخل ورق القصدير، وأغلق ورق القصدير برفق، مما يجعل كيسًا لإيواء اليرقات للنقل. لا تغلق ورق القصدير بإحكام شديد بحيث لا تتلقى اليرقات تدفقًا للهواء. ضع غطاءً على الحاوية البلاستيكية التي تحتوي على التربة وورق القصدير والطعام واليرقات، ثم اثقب ثقوبًا صغيرة للسماح بتدفق الهواء ولكن ليس كبيرة جدًا بحيث تتمكن اليرقات من الهروب. ضع ملصقًا على جميع الحاويات برقم الحالة واسم الجامع والوقت والتاريخ ومكان الجمع. سيحتاج عالم الحشرات إلى كل هذه المعلومات لكتابة تقريره بشكل صحيح. إذا كان من الممكن إجراء جمع في مكان الحادث، فيجب جمع العذارى أيضًا. فهي صغيرة وداكنة اللون ولها غلاف خارجي صلب. يجب جمعها بنفس طريقة جمع عينات اليرقات باستثناء التبييض في الماء، وهو ليس ضروريًا للعذارى. قد تكون البيض موجودة على الجسم ولكن قد يكون من الصعب جمعها. تكون عادةً بيضاء اللون وتوجد في كتل في الشعر على رأس الجسم، وغالبًا بالقرب من العينين أو الأذنين أو الأنف أو الفم. يجب توثيقها فوتوغرافيًا إذا لم يكن الجمع ممكنًا. كما هو الحال مع العذارى، يجب جمعها بنفس طريقة جمع عينات اليرقات. من

منظور عملي، يمكن لعالم الحشرات تفسير النتائج الحشرية الجنائية الأساسية وفقًا للمبادئ التوجيهية التالية. عادةً، تكون أول الحشرات التي تصل إلى الجثة الميتة في بيئة أرضية هي الذباب الأزرق. يختلف التأخير بين الوفاة والوصول الأولي للذباب الأزرق بشكل كبير ويعتمد على العديد من العوامل ولكنه قد يحدث في غضون ثوانٍ إلى دقائق. هذه سمة بالغة الأهمية في تفسير الأدلة الحشرية وفائدتها في تقدير الحد الأدنى للوقت منذ الوفاة. تضع أنثى الذباب الأزرق البالغة بيضها على الجسم في أماكن يمكن التنبؤ بها، بما في ذلك فتحات الرأس (العينين والأنف والفم والأذنين) ومنطقة الشرج والتناسل؛ أي انحراف في هذا النمط يشير إلى الصدمة، حيث تستعمر الحشرات أيضًا مناطق أخرى من الجسم تحتوي على جلد مصاب أو سوائل جسم مكشوفة. يعتمد معدل تطور المراحل الحياتية اللاحقة بشكل كبير على الظروف البيئية ويتم تفسيره بدقة من حيث الساعات أو الأيام المتراكمة. وكنموذج عام للغاية، تم تقديم تقديرات ساوكو لمراحل الحياة، على الرغم من أنه يجب استخدامها بحذر شديد. تفقس البيض إلى يرقات المرحلة الأولى، أو الطور الأول، عادةً في غضون ٨-١٤ ساعة تقريبًا من وضع البيض. ثم ينتقل الطور الأول إلى الطور الثاني بعد ٨-١٤ ساعة إضافية. يتغذى الطور الثاني لمدة ٢-٣ أيام قبل الانسلاخ إلى الطور الثالث، وبعد ذلك الوقت يتغذى لمدة ٦ أيام تقريبًا قبل مغادرة العائل للتحول إلى شرنقة. تخرج الشرانق على شكل ذباب بالغ بعد حوالي ١٢ يومًا. وبالتالي، فإن دورة حياة الذبابة بالكامل من البيضة إلى الطور البالغ هي حوالي ١٨-٢٤ يومًا، اعتمادًا على الظروف. بعد استعمار الجسم بواسطة الذباب، تصل أنواع حشرات إضافية عادةً، بما في ذلك أنواع أخرى من الذباب والخنافس. وكما ذكرنا سابقًا، فإن الجمع والحفظ المناسبين أمر بالغ الأهمية لتحليل الأدلة الحشرية، والتعرف المناسب على الحشرات والبيانات البيئية المناسبة أمران ضروريان لتقدير الحد الأدنى للوقت منذ الوفاة.

٤-٤- الاساليب المساعدة: (**Ancillary Methods**)

٤-٤-١- علم النبات: ()

إن الطبيعة المنتشرة للنباتات في البيئة تجعل الأدلة النباتية مفيدة بشكل محتمل في إثبات ارتباط جغرافي بين الضحية والمشتبه به أو مسرح الجريمة، بل ويمكن أن تكون مفيدة أيضًا في تحديد مواقع الدفن والمساعدة في تقدير **PMI**. قد توجد أدلة نباتية على جسد المتوفى أو داخله، أو في المنطقة المحيطة بجسد المتوفى، أو على جسد المشتبه به وقد تتراوح من نباتات أو أوراق كاملة، إلى شظايا نباتية صغيرة أو حبوب لقاح مجهرية أو طحالب. قد يكون عالم النبات الجنائي المختص، إذا تم تزويده بعينات مناسبة، قادرًا على تحديد أنواع النباتات بناءً على التصنيف أو تسلسل الحمض النووي الذي قد يشير إلى المنطقة التي نشأت منها شظية النبات بناءً على التوزيع الجغرافي المعروف لأنواع النباتات. قد تساعد المرحلة العمرية لعينة النبات أيضًا في تحديد الوقت من العام الذي من المحتمل أن يكون فيه هيكل النبات موجودًا في الطبيعة. قد يساعد هذا في تقدير **PMI** أو في التحقق من صحة شهادة الشهود. بالإضافة إلى ذلك، قد تساهم الأدلة النباتية في التقريب التقريبي لمؤشر **PMI** من خلال تقدير الحد الأدنى من الوقت المطلوب لنمو النبات إلى المرحلة المرصودة داخل الجسم أو على قبر الجثة المدفونة. من أجل تفسير الأدلة النباتية بشكل صحيح، من الضروري استخدام تقنيات الجمع المناسبة وتقييم العينات من قبل عالم نبات جنائي. تتم مراجعة الجمع المناسب للأدلة النباتية في مكان آخر. بشكل عام، تشمل العينات المناسبة مواد مثل عينات النباتات المرجعية من مسرح الجريمة؛ عينات الأدلة الأثرية بما في ذلك النباتات الكاملة أو أجزاء النبات مثل البذور أو الزهور أو الأوراق أو شظايا النبات؛ وحبوب اللقاح أو الجراثيم أو الطحالب من التربة أو الماء.

٤-٤-٢- كيمياء ما بعد الوفاة: (Postmortem Chemistry)

لقد تم محاولة إجراء تحليل كيميائي لسوائل الجسم لتقدير **PMI** لعقود عديدة؛ ومع ذلك، لم يتم تحديد الطريقة المثالية بعد. لقد أدت عقود من البحث في سوائل الجسم المختلفة إلى توليد بيانات غير دقيقة وغير موثوقة وغير عملية للاستخدام في هذا المجال. وبالتالي، لا تُستخدم هذه الأساليب بشكل شائع في التحقيقات الحديثة. في حين ركزت الدراسات المبكرة على تحليل المصل، لاحظت الدراسات الأحدث أن الجسم الزجاجي أقل عرضة للتحلل الذاتي. تم توثيق انخفاض الجلوكوز في الجسم الزجاجي وزيادة البوتاسيوم والهيبوكسانثين بشكل جيد. ومع ذلك، فإن عودة الاهتمام الأحدث بالكيمياء الزجاجية باستخدام تقنيات تحليلية أحدث قد ضيق التركيز على البوتاسيوم والصوديوم والجلوكوز في الجسم الزجاجي كمؤشرات محتملة لـ **PMI**. قام أحد الباحثين مؤخرًا بتطوير تطبيق قائم على الويب لإجراء الحسابات لتفسير البوتاسيوم في الجسم الزجاجي لتقدير **PMI**. ومن المتوقع أن تصبح هذه الأساليب أكثر دقة وتتحسن دقتها، مما يجعلها إضافة مفيدة لتقدير **PMI**.

٤-٤-٣- قياس ضغط العين: (Ocular Tonometry)

وقد تم ربط مجموعة من التغيرات العينية بـ **PMI**، بما في ذلك التغيرات في عتامة القرنية، وقطر الحدقة، وخطوط الأوعية الدموية في الشبكية، ولون الشبكية، وضغط العين. ومن بين هذه التغيرات، فإن عتامة القرنية وضغط العين هما الأكثر ارتباطًا بـ **PMI**. وقد وجد أن عتامة القرنية تزداد بشكل ملحوظ بعد أكثر من ٨ ساعات من الوفاة؛ ومع ذلك، يصعب تقييم عتامة القرنية بشكل موضوعي وتحديد كميتها. ومع ذلك، يمكن تحديد كمية ضغط العين بسهولة باستخدام مقياس توتر العين المحمول باليد وقد ثبت أنه ينخفض بشكل كبير خلال أول ١٢ ساعة بعد الوفاة. وهناك حاجة إلى مزيد من البحث قبل أن يتم تطبيق هذه التقنية في الميدان.

٤-٤-٤- الطرق الجزيئية: (**Molecular Methods**)

لقد تم التحقيق في التقنيات المستخدمة في الكشف عن التغيرات في الأحماض النووية والبروتينات لمعرفة فائدتها في تقدير الوقت منذ الوفاة. وقد تم تقييم تحلل الحمض النووي أو الحمض النووي الريبي من خلال التضخيم الكمي للجينات المستهدفة أو من خلال تقييم سلامة الأحماض النووية. وقد أظهر كل من الحمض النووي والحمض النووي الريبي انخفاضات في السلامة تعتمد على الوقت؛ ومع ذلك، تختلف هذه الانخفاضات بين الأنسجة والظروف البيئية مثل درجة الحرارة. يكون معدل تحلل الحمض النووي أو الحمض النووي الريبي أقل عمومًا في درجات الحرارة المنخفضة ويحدث بمعدلات مختلفة في الأنسجة المختلفة. بشكل عام، تُظهر طرق تقدير **PMI** القائمة على تقييم سلامة الحمض النووي أو الحمض النووي الريبي وعدًا كبيرًا، لكن مثل هذه الأساليب غير عملية حاليًا للتطبيق الميداني. وبخلاف الأحماض النووية، قد تساعد التغييرات في ملفات البروتين أو مستويات المركبات العضوية الأخرى في الأنسجة أثناء فترة ما بعد الوفاة في تقدير **PMI**. يمكن قياس مثل هذه المركبات عن طريق النقل الغربي، ومطيافية التأين بالليزر بمساعدة المصفوفة (**MALDI-MS**)، ومطيافية الرنين المغناطيسي ١**H**، وطرق أخرى. وقد لوحظ أن عددًا من البروتينات المحددة تتناقص بكميات نسبية مع زيادة الوقت بعد الوفاة، بما في ذلك خيوط وسيطة مختلفة مثل الديسمين والتروبونين، والكالبين، والكالسينيورين أ، والبروتين الفوسفاتيز ٢أ، و**N**-أسيتيل أسبارتات، في حين وجد أن بعض المركبات تزداد مع تقدم التحلل، مثل الزبدات والأسيتات. وعلى الرغم من أن هذه الأساليب قد تساهم في فهم التحلل وكيمياء ما بعد الوفاة، إلا أنها لا تقدم حاليًا أي قيمة عملية لتقدير **PMI**.

٤-٤-٥- التحليل الميكروبي: (Microbial Assay)

تسمح تقنيات تسلسل الحمض النووي الحالية بتحليل واسع النطاق لمجتمعات كاملة من البكتيريا وجيناتها داخل النظم البيئية. ويشار إلى مثل هذه المجموعة من الجينات البكتيرية من الكائنات الحية المقيمة في مكانة بيئية محددة باسم الميكروبيوم. وقد أظهرت تحليلات الميكروبيومات العضوية، وخاصة ميكروبيوم الجهاز الهضمي، تغييرات كبيرة في مجموعات البكتيريا في فترات مختلفة بعد الوفاة وفي مواقع مختلفة داخل الجسم. وعلاوة على ذلك، وجد أن تكوين المجتمعات البكتيرية داخل التربة تحت بقايا بشرية متحللة يتغير في مراحل مختلفة من التحلل. وقد تؤدي هذه النتائج إلى تطوير أساليب لتقدير **PMI** بناءً على تكوين مجموعات البكتيريا إما داخل الجسم أو عليه أو البيئة المحيطة؛ ومع ذلك، فهي ليست ذات فائدة عملية حاليًا.

٤-٤-٦- التغيرات المجهرية: (Microscopic Changes)

على الرغم من عدم محاولة تقدير **PMI** بشكل متكرر، فقد تم الإبلاغ عن تغييرات يمكن التنبؤ بها في التشريح الدقيق أو البنية التحتية في مراحل مختلفة بعد الوفاة. يجب أن يكون أخصائي علم الأمراض على دراية بالأهمية الحاسمة للتثبيت الفعال والتباين بين المثبتات المختلفة للسماح بالتفسير السليم للنتائج النسيجية المرضية. في غضون ١-٣ أيام بعد الوفاة، يتم ملاحظة فقاعات الغاز والبكتيريا المتحللة وفقدان امتصاص البقع الخلوية وفقدان بنية الأنسجة. نظرًا للتباين الكبير في بداية التحلل الذاتي والتحلل، لم يتم إنتاج إطار زمني لمثل هذه التغييرات في معظم الأنسجة. لذلك، فإن علم الأنسجة له فائدة محدودة حاليًا في تقدير **PMI**. ومع ذلك، أظهرت إحدى الدراسات التي أجريت على الكلاب تغييرات نسيجية لوحظت في فترات مختلفة بعد الوفاة، بينما ربطت دراسة أخرى أجريت على الفئران بين التغيرات المجهرية في الخصيتين وبين فترة ما بعد الوفاة. تم استخدام أنماط التلوين المناعي الكيميائي في الخلايا الليمفاوية **B** و **T** في الكلاب وفي خلايا البنكرياس والغدة الدرقية البشرية للأنسولين والجلوكاجون والثيروجلوبولين والكالسيتونين؛ ومع ذلك، تفتقر هذه الطرق إلى الدقة. تم ربط التغيرات

البنيوية الدقيقة في خلايا عضلة القلب لدى الكلاب التي تم فحصها بواسطة المجهر الإلكتروني النافذ خلال أول ٤ ساعات بعد الوفاة بـ **PMI** بسبب التغيرات في بنية الميتوكوندريا التي حدثت في غضون ١٥-٤٥ دقيقة بعد الوفاة. على الرغم من أن هذه التغييرات المجهرية في الأنسجة وحدها من غير المرجح أن تسفر عن تقدير معقول لـ **PMI**، إلا أنه يمكن استخدام هذه الطرق لتوفير أدلة داعمة في بعض الحالات.

٤-٤-٧- الأساليب المعتمدة على النويدات المشعة: (**Radionuclide-Based Methods**)

بالنسبة للحالات التي تتضمن بقايا عظام، تم محاولة استخدام تقنيات خاصة لتحديد عمر العظام. وقد تضمنت هذه الأساليب تحليل النويدات المشعة مثل الرصاص ٢١٠ والبولون ٢١٠، وتأريخ الكربون المشع **C**١٤، ومحتوى السترات، ومحتوى النيتروجين، والعديد من الطرق الأخرى. وعادة ما يكون تطبيق هذه التقنيات خارج نطاق اختصاص أخصائي علم الأمراض.

٤-٥- الخلاصة: (**Summary**)

يظل تقدير وقت الوفاة موضوعًا مركزيًا في أبحاث الطب الشرعي، ومن الواضح أن هناك حاجة إلى دراسة مستمرة. لا شك أن التقنيات القادرة على تحسين الدقة في تقدير الفاصل الزمني بعد الوفاة ستساعد في التحقيقات الجنائية البيطرية ومن المرجح أن يتم التحقيق فيها لمعرفة مدى قابليتها للتطبيق على التحقيقات الجنائية البشرية. يُنصح المحققون بالنظر في أن الأساليب التي تمت مناقشتها في هذا الفصل تظل غير دقيقة وأنه لا يمكن استخدام طريقة واحدة، أو حتى مجموعة من الأساليب، لتقدير **PMI** بشكل موثوق وبدقة كبيرة.

يجب توخي الحذر عند محاولة استقراء البيانات والصيغ بناءً على الدراسات البشرية لاستخدامها في حالات الحيوانات. في الممارسة العملية، من المرجح أن يجد أخصائي علم الأمراض مجموعة صغيرة فقط من هذه النتائج يمكن استخدامها للتطبيق في الحالات البيطرية. على الرغم من أن جميع حالات الحيوانات تقريبًا المقدمة إلى أخصائي علم الأمراض من المرجح أن تصل خلال فترة ما بعد الوفاة المتأخرة، إلا أنه يجب أن يكون

أخصائي علم الأمراض على دراية بالتقنيات القابلة للتطبيق على كل من فترة ما بعد الوفاة المبكرة والمتأخرة.

في أغلب الحالات، من المرجح أن يعتمد تقدير **PMI** في فترة ما بعد الوفاة المبكرة على التغيرات الإجمالية بما في ذلك جودة تيبس الموت والتحلل المبكر وانخفاض درجة حرارة المستقيم وربما أدلة الحشرات المبكرة. ومن المرجح أن يعتمد تقدير **PMI** في فترة ما بعد الوفاة المتأخرة على علم الحشرات والتغيرات الإجمالية بما في ذلك جودة تيبس الموت ومرحلة التحلل كما ملخص ادناه:

فترة ما بعد الوفاة المبكرة (تقريبًا <٢٤–٣٦ ساعة بعد الظهر)

انخفاض درجة حرارة الجسم

يمكن توقع انخفاض بمقدار ٠,٥–١,٥ درجة مئوية تقريبًا في الساعة

التغيرات الجسيمة

تصلب الجثة

- البداية (٣٠ دقيقة–ساعتين)
- ثابتة ومستمرة (تبدأ من ٨–٧٢ ساعة)

تيبس الجثة

- البداية (٢–٦ ساعات بعد الظهر)
- مكتمل النمو (٦–٣٦ ساعة بعد الظهر)
- التحلل (>٣٦ ساعة بعد الظهر)

التحلل

- لا يوجد تغير في اللون أو نشاط للحشرات (٠–٥ أيام بعد الظهر)
- الانتفاخ (بمجرد يوم واحد)
- تغير اللون: رمادي-أخضر (بمجرد يوم واحد)
- تساقط الجلد/الشعر (بمجرد يوم واحد)

الأدلة الحشرية

مراحل حياة الذبابة (تم الإبلاغ عنها كوقت منذ وضع البيض)

- البيض (متغير للغاية—قد يتم وضعه في أي وقت بعد الوفاة)
- الطور الأول (٨-١٤ ساعة)
- الطور الثاني (١٦-٢٨ ساعة)

فترة ما بعد الوفاة المتأخرة (تقريبًا >٢٤-٣٦ ساعة بعد الظهر)

انخفاض درجة حرارة الجسم الأساسية يتوازن مع البيئة في حوالي٢٤-٤٨ ساعة بعد الظهر

التغيرات الجسيمة

التخشب الجثوي

- ثابت ومستمر (يبدأ في ٨-٧٢ ساعة)

تيبس الموت

- مكتمل النمو (٦-٣٦ ساعة بعد الظهر)
- التحلل (>٣٦ ساعة بعد الظهر)

التحلل

- الانتفاخ (يبدأ في ٤٨-٧٢ ساعة، ويتحلل في غضون ٧-١٣ يومًا)
- تغير اللون: رمادي-أخضر (يبدأ في ٢٤-٣٠ ساعة)
- تقشير الجلد/الشعر (يبدأ في ١-٥ أيام)
- سائل التطهير (يبدأ في ٤٨-٧٢ ساعة)
- تدمير الأنسجة الرخوة (٣ أيام-٣ سنوات)
- الهيكل العظمي (١٣ أسابيع - ٣ سنوات)

الأدلة الحشرية

مراحل حياة الذبابة (تم الإبلاغ عنها باعتبارها الوقت منذ وضع البيض)

- البيض (متغير للغاية - قد يكون في غضون دقائق من الموت)
- الطور الأول (٨-١٤ ساعة)
- الطور الثاني (١٦-٢٨ ساعة)
- الطور الثالث (٣-٤ أيام)
- العذراء (٩-١٠ أيام)
- البالغ (١٨-٢٤ يومًا)

يتباطأ التحلل بشكل عام بنسبة ٥٠٪ أو أكثر أثناء الغمر أو الدفن