

Animal Ecophysiology – Lecture (5)

فسيولوجيا بيئة حيوان – محاضرة (5)

الحرارة المفقودة Heat Lost

أما الطاقة المفقودة فهي تتأثر بالفارق الحراري بين درجة حرارة الجسم ودرجة حرارة الجو المحيط وكذلك بمدى تشبع الهواء بالرطوبة. وتنقسم وسائل فقد الحرارة إلى:-

أولاً: وسائل محسوسة **Sensible Heat Loss**: وتشمل الحرارة المفقودة في البول والروث.

ثانياً: وسائل غير محسوسة **Nonsensible Heat Loss**: وهذه تشمل بدورها:

1- الحرارة المفقودة بالوسائل الفيزيائية **Physical Heat Loss**: وتشمل الحرارة المفقودة بالتوصيل **Conduction** (لا يوجد حركه لجزيئات الهواء)، وتيارات الحمل **Convection** (تنتج من حركة جزيئات الهواء الساخن إلى أعلى وإحلال هواء بارد محله)، والإشعاع **Radiation**.

2- الحرارة المفقودة بالتبخير **Evaporative Heat Loss**.

1 - **التوصيل Conduction**: انتقال الحرارة بواسطة التوصيل يعتمد أساساً على التدرج الحراري بين جسمين يتصلان ببعضهما البعض ومساحة السطح ومعامل التوصيل للجسمين. ولكل مادة معامل عزل معروف. تفقد الحرارة بواسطة التوصيل عن طريق الالتصاق الطبيعي بين الإنسان أو الحيوان والأجسام التي حوله أو التي يجلس عليها. ويقلل الفقد الحراري عن طريق التوصيل إذا كانت هناك مادة عازلة مثل الفراء والغطاء الصوفي والملابس. ويعتمد **عامل التوصيل Conduction Factor** على مقدار العزل **Insulation** المتوفر لدى الحيوان وهذا العزل مقلوب التوصيل ويعتمد على أشياء فيزيائية وتركيبية كالآتي:-

✚ يعتمد على تمدد وتضييق الأوعية الدموية: فيقل العزل ويقل التوصيل عند التوسع والعكس بالعكس، أي انه يعتمد على كمية الدم المار خلال الجلد والطبقة السطحية للعضلات.

✚ وجود الشعر **Hair**، والفرو **Fur**، والريش **Feather**، والطبقات الشحمية **Blubber**. أن وجود الريش أو الشعر يولد طبقة عازلة خارج الجلد، بينما الطبقة الشحمية تولد طبقة عازلة على الجهة

الثانية من الجلد. الدور العازل للطبقة الشحمية لا يعوض بالريش أو الشعر والعكس بالعكس لأسباب بيئية يعيش بها الحيوان.

2 - **الحمل Convection**: يتم انتقال الطاقة الحرارية من الجسم عن طريق ملامسة الهواء المحيط بالجسم لسطح الجلد، حيث يؤدي التيار الهوائي إلى إزاحة الهواء السابق، وإحلال هواء آخر، وهكذا يتم من خلال هذه العملية انتقال الطاقة الحرارية بالحمل، فعندما يكون الهواء المحيط بالجسم باردا مقارنة بدرجة حرارة سطح الجلد، فإنه يكتسب الحرارة ثم يسخن فينتقل بعيدا عن سطح الجسم، لتأتي جزيئات أخرى من الهواء وتلامس سطح الجلد وتكتسب الحرارة وهكذا، والعكس صحيح بالنسبة للهواء الحار الملامس لسطح الجلد، فإنه يفقد الحرارة ويكتسبها سطح الجلد عندما تكون درجة الهواء المحيط أعلى من درجة حرارة سطح الجلد. ويزداد معدل انتقال الحرارة بالحمل كلما كانت حركة جزيئات الهواء المحيطة بالجسم عالية. كما يمكن للسوائل أيضا توصيل الحرارة بواسطة الحمل. هو مشابه للتوصيل لكن في حالة الحمل تنتقل الحرارة للهواء الذي يسخن (تزداد درجة حرارته) ويرتفع إلى أعلى أخذًا معه الحرارة العالية ثم يأتي الهواء البارد.

وهناك نوعين مختلفين من الحمل هما:

A- **الحمل الطبيعي Natural convection**: وهو الذي تنتقل فيه الحرارة للهواء حيث يرتفع الهواء الساخن ليحل محله الهواء البارد (تيارات الحمل).

B- **الحمل القسري أو الاضطرابي Forced Convection**: وهو الذي يحدث فيه زيادة سرعة الهواء أو الماء نتيجة لمؤثر خارجي (سرعة الرياح مثلا) وبالتالي فالفقد الحراري عن طريق الحمل يتأثر بمساحة مسطح الجسم بالإضافة إلى سرعة الهواء.

3 - **الإشعاع Radiation**: هناك نوعين من الإشعاع:-

الأول: هو ذو الموجات القصيرة **Short Waves**: الموجات القصيرة مصدرها أشعة الشمس واللهب شديد الحرارة والكائن الحي يكون هو المستقبل دائما.

الثاني: هو ذو الموجات الطويلة **Long Waves**: الموجات الطويلة تنبعث من جميع الأجسام والسطوح بما فيها أجسام الكائنات الحية. والكائن الحي يمكن أن يفقد أو يكتسب حرارة بواسطة الإشعاع، وهذا يعتمد على درجة حرارة الوسط، فإذا كانت درجة حرارة سطح جسم الحيوان أعلى من الوسط المحيط به، فإن الحيوان

يشع للبيئة الخارجية والعكس صحيح. ومعروف أن الإبل في الصيف يجلس باتجاه موازي لأشعة الشمس وذلك ليقبل من مساحة السطح المعرض لأشعة الشمس.

الإشعاع ولون السطح: هو انتقال الطاقة الحرارية على صورة موجات كهرومغناطيسية (شبيهة بحزم الأشعة الضوئية) من جسم إلى آخر، فالشمس مثلا تعطي طاقة حرارية بالإشعاع للإنسان الذي من الممكن أن يفقد كذلك طاقة حرارية بالإشعاع للأجسام المحيطة، وفي الواقع يمكن لشخص موجود في بيئة حرارية معتدلة (12-25 درجة مئوية) لا يرتدي أي ملابس أن يفقد حوالي 60% من الطاقة المخزنة في جسمه عن طريق الإشعاع. ويمثل الإشعاع هو الفقد الحراري عن طريق الموجات الكهرومغناطيسية للأشعة تحت الحمراء وكمية الحرارة المفقودة عن طريق الإشعاع لا تعتمد فقط على درجة حرارة جسم المشع لكنها تعتمد أيضا على لونه ونوع مادته.

الأشعة ذات الموجات القصيرة: تتميز الأسطح الفاتحة اللون بأنها تعكس جزء كبير من الأشعة الساقطة عليها والأسطح الداكنة اللون تمتص أغلب الأشعة الساقطة عليها.

الأشعة ذات الموجات الطويلة: لون السطح لا يكون له أي أهمية في الأشعة ذات الموجات الطويلة عكس الأشعة ذات الموجات القصيرة، ويعتمد التبادل الحراري في هذه الحالة على درجة حرارة السطح وقدرة السطح على الانعكاس.

وتتأثر هذه الوسائل بقوانين الفيزياء حيث تنتقل الحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد وكلما زاد الفارق الحراري زاد معدل الفقد الحراري، ولذا يلاحظ أنه إذا تساوت درجة حرارة الجسم مع درجة حرارة الجو أو قلت عنها أصبحت هذه الوسائل وسائل لاكتساب الحرارة أو تتوقف تماما بدلا من أن تكون وسائل لفقد الحرارة أي تمثل عبء حراري على الحيوان يضاف إلى الحرارة الناتجة.

4 - الفقد الحراري عن طريق تبخير الماء Water Evaporation :

وهي تعتبر من أهم وسائل فقد الحرارة خاصة إذا ارتفعت درجة حرارة الجو عن درجة حرارة الجسم حيث تصبح الوسيلة الوحيدة لفقد الحرارة. يتم فقد الطاقة الحرارية من سطح الجسم بواسطة التبخر الذي يحدث لوسائل العرق، ويعد التبخر من الطرق الأساسية والمهمة التي يتمكن الجسم خلالها من التخلص من الحرارة العالية الناتجة عن الجهد البدني العنيف. إلا أن زيادة الرطوبة النسبية في الجو المحيط (زيادة جزيئات بخار الماء في الجو) تؤدي إلى انخفاض قدرة العرق على التبخر، لتصبح صفرا عند درجة رطوبة مقدارها

100%. بالإضافة إلى تبخر العرق، فإن جزءا بسيطا من الطاقة الحرارية المخزنة في الجسم يتم فقده عن طريق تبخر هواء الزفير في المجاري التنفسية من جراء التهوية الرئوية العالية أثناء الجهد البدني، ويبلغ مقدار الطاقة الحرارية المفقودة عبر تبخر هواء التنفس حوالي 5% من الطاقة الحرارية المنبعثة من التبخر، ويتم بطريقتين هما:-

A- الجهاز التنفسي Respiratory System.

B- الغدد العرقية Sweat glands. أو قد يتم التبخير عن الطريقتين معا.

وتختلف الحيوانات حسب اعتمادها على الفقد الحراري بالتبخير عن طريق التنفس أو الجلد فنجد أن الأغنام في الغالب تعتمد على التبخير عن طريق الجهاز التنفسي بينما لا يوجد فقد عن طريق الجلد أما الجمال والأبقار والجاموس فالغالب هو فقد الحرارة بالتبخير عن طريق الجلد.

وبالتالي تنقسم الحيوانات بالنسبة للفقد الحراري عن طريق التبخير إلى ثلاث مجموعات هي:-

حيوانات اللهثان Panting Animals: كما في حالة الكلب والدجاج فهذه الحيوانات تفقد الحرارة بالتبخير عن طريق التنفس من الجهاز التنفسي Respiratory Evaporation كما أنها ليس لها غدد عرقية.

حيوانات التعرق Sweating Animals: وهي التي تفقد حرارتها عن طريق تبخير العرق من على سطح الجلد كما في حالة الإنسان.

حيوانات اللهثان والتعرق Panting And Sweating Animals: وهذه المجموعة من الحيوانات تفقد حرارتها عن طريق التبخير من الجهاز التنفسي Respiratory evaporation وأيضا عن طريق العرق أو تبخير العرق من على سطح الجلد.

تشمل الحيوانات التي تعتمد في التخلص من الحرارة بالتبخير عن طريق الجهاز التنفسي الكلب والدجاج فمثلا في حالة الكلب فإن معدل التنفس في الحالات العادية يكون 15-30 حركة تنفسية في الدقيقة الواحدة بينما يزداد عند تعرضه لدرجات حرارة عالية ليصل إلى أكثر من 300 حركة في الدقيقة الواحدة ويسمى هذا التنفس السريع Rapid Shallow Panting وهذه الحالة تؤثر على توازن القاعدية - الحامضية Acid Base Balance في الجسم حيث تتغير قيم pH وتميل إلى القلوية كنتيجة للخلل في ائزان دخول الأوكسجين إلى الرئتين وخروج أوكسيد الكربون منها حيث سرعة دخول الهواء وخروجه تسبب عدم خروج ثاني

أوكسيد الكربون كما في الحالات العادية وبالتالي تميل pH الدم للقلوية. والشكل أدناه يوضح موقع الإنسان وبعض حيوانات المزرعة بالنسبة للفقد الحراري عن طريق التبخير.



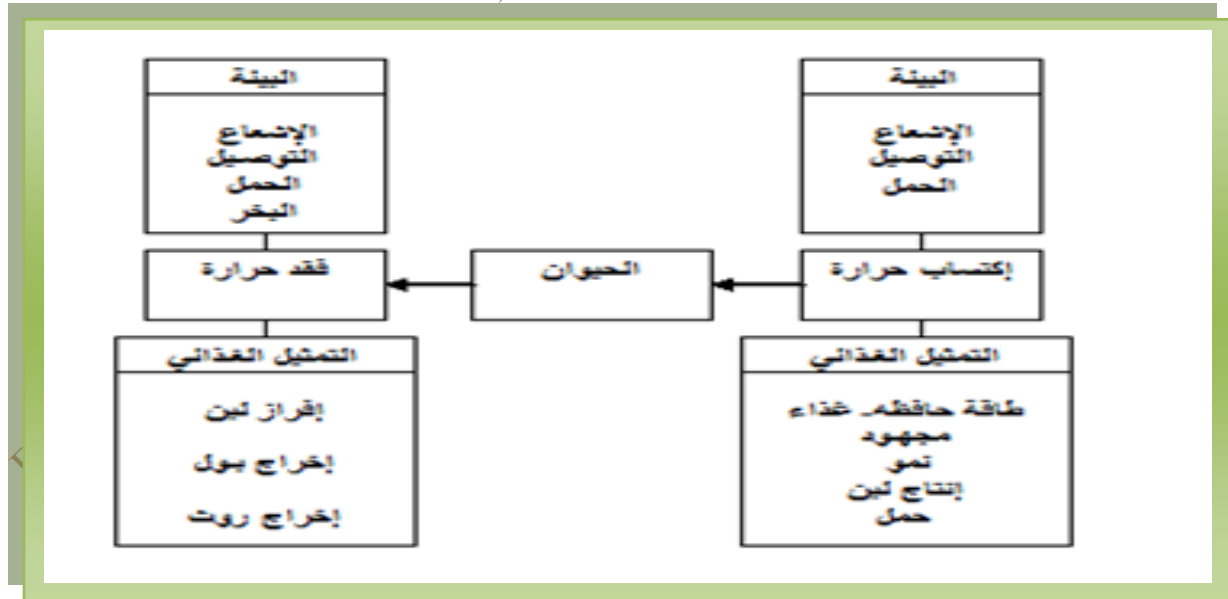
يوضح الشكل أعلاه أن الفقد الحراري عن طريق التبخير يكون 100% عن طريق التنفس في الدجاجة والكلب و100% عن طريق العرق في الإنسان، أما باقي الأنواع الموجودة في الشكل فيتم فيها الفقد الحراري بالطريقتين. ويلاحظ أن الجسم يمكنه اكتساب وفقد الطاقة الحرارية بالطرق الثلاث الأولى وهي: الإشعاع والتوصيل والحمل، بينما يتم فقط من خلال عملية التبخر فقدان الطاقة الحرارية من الجسم إلى المحيط الخارجي، ولا بد لقطرات العرق أن تتبخر حتى يتم فقدان الطاقة الحرارية منها، وبالتالي تبريد سطح الجلد، أما إذا سقطت قطرات العرق على الأرض أو تم مسحها بقطعة قماش أو منديل من سطح الجلد فلن يتم فقدان الحرارة منها. ومن المعروف أن تبخر العرق من سطح الجسم يؤدي إلى تصريف كمية كبيرة من الحرارة (540 سعرة حرارية لكل غرام من العرق) من الجسم.

مميزات وعيوب فقد الحرارة بالتبخير عن طريق الجهاز التنفسي أو الجلد:

من أهم مميزات فقد الحرارة بالتبخير عن طريق التنفس أن درجة الحرارة داخل الجهاز التنفسي تزيد عن درجة حرارة الجو لذا تزيد مقدرة الهواء على التشبع ببخار الماء مما يؤدي إلى توقف الفقد الحراري في حالة ارتفاع الرطوبة النسبية في الهواء الجوى، بينما إذا وصلت الرطوبة النسبية إلى 100% قد يتوقف الفقد

الحراري عن طريق التبخير من الجلد كذلك لا يصاحب التبخير من الجهاز التنفسي فقد أملاح (صوديوم أو بوتاسيوم حسب الحيوان) كما هو الحال في العرق والذي قد يؤدي إلى نقص أوزموزية البلازما مما قد يؤثر على حجم البلازما والدم وبالتالي قد يحدث احتباس حراري (مثل ضربة الشمس أثناء الحج). أما عن أهم عيوب التبخير من الجهاز التنفسي فهي أن زيادة معدل التنفس تؤدي إلى زيادة تبادل الغازات خاصة إذا كان التنفس عميق (حجم الهواء الذي يمر على الحويصلات الهوائية كبير) حيث يزيد معدل التخلص من ثاني أكسيد الكربون مما يؤدي إلى تحلل حامض الكربونيك H_2CO_3 إلى ماء وثاني أكسيد الكربون وبالتالي تزداد قلوية الدم Blood Alkalosis. يجب الإشارة إلى أن الفقد الحراري يتأثر بشده بالفارق الحراري بين درجة حرارة الجسم ودرجة حرارة الجو وبمساحة سطح الجسم $0.75 (BW)$ تناسب طردي كذلك فإن الفقد الحراري يتم على مرحلتين:

الخطوة الأولى: انتقال الحرارة من داخل الجسم Core إلى سطح الجسم حيث أن الحرارة تنتقل عن طريق التوصيل بين الأنسجة وعن طريق التوصيل بواسطة الدم، لذا فإن نقص حجم الدم أو معدل ضربات القلب قد يؤدي إلى الاحتباس الحراري (زيادة الطاقة المخزنة) نتيجة نقص التوصيل الداخلي بين داخل الجسم وسطحه. الخطوة الثانية فهي فقد الحرارة من سطح الجسم إلى الهواء الجوي والتي سبق شرحها. يعتمد الفقد الحراري بالوسائل السابقة أساساً على التدرج الحراري بين الحيوان والبيئة المحيطة به، وعند غياب التدرج الحراري، لا تكون هذه الوسائل فعالة.



شكل يبين الاتزان الحراري بين الحيوان والبيئة

المدى الحراري:

يقع المدى الحراري بين درجتين من حرارة الجو والذي تكون فيه درجة حرارة الجسم ثابتة منتظمة طبيعياً وبدون أي اضطراب في النشاط الحيوي لأجهزة الجسم المختلفة ويختلف المدى الحراري باختلاف جنس ونوع الحيوان. في حالة انخفاض درجة الحرارة عن منطقة الراحة Comfort Zone ففي هذه الحالة يكتسب الحيوان حرارة من الجو المحيط به وبالتالي يزداد العبء الحراري Heat Load على الحيوان وفي هذه الحالة فإن الحيوان يحتاج إلى تقليل الإنتاج الحراري وزيادة الفقد الحراري في نفس الوقت.

تحدث معالجة معلومات التنظيم الحراري في ثلاث مراحل:

- استشعار حراري وارد afferent thermal sensing،
- تنظيم مركزي central regulation،
- واستجابات صادرة efferent responses.

استشعار حراري وارد: يتم إدخال الواردة من خلال خلايا حساسة للحرارة (مستقبلات receptors) موجودة ليس فقط في الجلد ولكن في معظم أجزاء الجسم. تتميز المستقبلات البرودة تشريحياً وفسولوجياً عن المستقبلات الحرارية. يتم تحفيز المستقبلات البرودة عند درجات حرارية أقل من عتبة محددة وتوليد نبضات التي تنتقل بشكل رئيسي من خلال الألياف العصبية. تثير درجات الحرارة فوق العتبة المستقبلات الحرارية التي تولد نبضات على طول ألياف العصبية غير المبطنة، والتي تؤدي أيضاً إلى الإحساس بالألم. لهذا السبب، غالباً ما يكون المرضى غير قادرين على التمييز بين الألم الحاد والحرارة الشديدة. ثم يتم دمج المعلومات في عدة مستويات في الحبل الشوكي والدماغ، وأخيراً الوصول إلى مركز تنظيم الحرارة الأساسي في منطقة ما تحت المهاد.

التحكم المركزي: على الرغم من أن بعض تنظيم درجة الحرارة والدمج يمكن أن يحدث عند مستوى الحبل الشوكي، فإن منطقة تحت المهاد تعد المركز الرئيسي للتحكم الحراري، ودمج معظم المدخلات الواردة، وأيضاً تنسيق المخرجات الصادرة المختلفة واللازمة للحفاظ على المستوى الحراري الطبيعي. أن الطريقة الدقيقة التي من خلالها يضبط الجسم عتبات درجة الحرارة غير واضحة، ولكنها تظهر لإشراك تفاعلات العديد من أجهزة المرسلات العصبية، بما في ذلك نور الإبينيفرين nor epinephrine والدوبامين

dopamine والسيروتونين serotonin والبيبتيدات العصبية الأخرى. هناك عوامل أخرى مثل التمرين، تناول الطعام، العدوى، خلل في الغدة الدرقية، التخدير، وأدوية أخرى معروفة بتغيير عتبات درجة الحرارة.

الاستجابات الصادرة (الفعالة): يعد السلوك الاستجابة الأكثر فعالية للتنظيم الحراري. ويشمل ذلك ارتداء الملابس بشكل مناسب، وتعديل درجة الحرارة البيئية، بافتراض الموضع الجسدية التي تقل أو تزيد من فقدان الحرارة، وتزيد من الحركة الطوعية لإنتاج الحرارة. من الواضح أنه يجب معالجة هذه الأهمية قبل تخدير المريض. عندما تقوم مستقبلات درجة الحرارة بنقل المعلومات إلى منطقة ما تحت المهاد، يتم الجمع بينها ومقارنتها بخلفية العتبة. تحديد القيم أعلى أو أسفل هذه العتبة الاستجابة الصادرة أو الفعالة التي يتم توليدها. المخرجات المنبعثة من منطقة تحت المهاد ينظم درجة حرارة الجسم عن طريق تغيير تدفق الدم تحت الجلد، وأنقباض العضلات الهيكلية، والتعرق، والنشاط الأيضي الكلي. يتم تعزيز فقدان الحرارة عبر توسع الأوعية والتعرق، في حين يتم الحفاظ على الحرارة عن طريق تثبيط هذه العمليات. يتم تعزيز إنتاج الحرارة (تكوين حراري) عن طريق الارتعاش ويرفع معدل الأيض الكلي.

الصفات الشريحية الملائمة للمناخ:

يعتبر الجلد والجهاز التنفسي هما العضوين اللذين يتم من خلالهما التبادل الحراري مع البيئة، وبالتالي يكون لهما دوراً في تحديد قدرة الحيوان على تحمل ظروف البيئة.

تركيب الجلد Skin Structure:

يختلف تركيب الجلد من حيث طبيعة طبقاته وتركيب مكوناته مثل الغدد العرقية والدهنية، الشعر أو الصوف، جيب الشعرة وعضلتها الناصبة باختلاف أنواع وسلاسل الحيوانات مما يحدد قدرتها على المعيشة في بيئات مختلفة المناخ. فمثلاً جلد الطيور لا يحتوي على غدد عرقية ولكن توجد به غدة دهنية بالجلد أعلى الفقرات الأخيرة ويقوم الطائر بتوزيع الدهن الناتج منها على الريش بمنقاره.

الغدد العرقية: يختلف عددها وشكلها فيما بين الحيوانات المختلفة فالجمال والأغنام بها عدد قليل من الغدد في حين أن الخيل والماشية بها عدد أكبر. شكل الغدد العرقية يختلف فيما بين الأنواع فهي كيسية الشكل في الماشية إلى كيسية طويلة ملتفة في الأغنام وأنبوبية في الخيل أو أنبوبية ملتفة في الإنسان.

النوع الأول: (غدد كيسية الشكل) تكون نشطة وتفرغ إفرازها مباشرة من الدم لتجفيف الغدة ليخرج العرق على سطح الجلد بمعدل سريع وقدر كبير ويسمى هذا النوع الغدد جزيئية الإفراز Merocrine ويوجد في الخيول وماشية المناطق الحارة.

النوع الثاني: (غدد انبوبية الشكل) تكون بطيئة الإفراز ويتجمع الإفراز على السطح الداخلى للخلايا المجاور لتجفيف الغدة العرقية فينقطع هذا الغشاء ويخرج الإفراز محتوياً على بعض مكونات الخلية التي تجدد غشائها وتعيد دورة الإفراز. ويسمى هذا النوع Apocrine بالغدد الأنبوبية الطويلة الملتفة، ويوجد في ماشية المناطق الباردة، الجاموس، الأغنام، الماعز. من الحيوانات التي تعرق الخيل والجمال تليها الماشية والأغنام، على الترتيب. حيوانات المناطق الحارة تفرز كميات من العرق أكبر من المستوردة والذي عند تبخره يؤدي لفقد الحرارة من الحيوان.

الغدد الدهنية: تنتج إفرازاً دهنياً ينتشر على الجلد لحمايته من المؤثرات الكيماوية الخارجية خاصة تلك التي تعوم في الماء. ولذلك تكثر هذه الغدد ويكون حجمها وإفرازها أكبر في الجاموس.

عضلات الشعر: عضلات لاإرادية تزداد سمكاً وقوة وفعالية في ماشية المناطق الباردة، حيث يؤدي إنقباضها لشد جيب الشعرة إلى وضع رأسي بدلاً من الوضع المائل وبذلك تقف الشعرة ويزيد سمك الغطاء العازل ليحسن العزل الحراري وحفظ حرارة الجسم. وتقل أهمية هذه العضلات كلما كان غطاء الجسم خفيف وتكون العضلات رقيقة كما في الجاموس.