الفصل

73

درجة حرارة الجسم وتنظيمها والحمى

درجات حرارة الجسم السوية

درجة حرارة اللب ودرجة حرارة الجلد. تبقى درجة حرارة أنسجة الجسم العميقة ـ «اللب» ـ ثابتة تماماً تقريباً ضمن ± 1° ف(± 0.6° م) يوماً بعد آخر ما عدا عندما تتولد حمى فيه. وفي الواقع يمكن تعريض الإنسان العاري إلى درجات حرارة واطئة لحد 55° ف أو عالية لحد 130° ف في الهواء الجاف، ومع ذلك تبقى درجة حرارة داخل جسمه ثابتة تقريباً. ومن الواضح أن آليات التحكم في درجة حرارة الجسم تمثّل نظام تحكّم عجيب التصميم. وهدف هذا الفصل هو بحث هذا النظام كما يعمل في حالتي الصحة والمرض.

وعلى العكس من ذلك، فإن درجة حرارة الجلد ترتفع وتنخفض مع درجة حرارة المحيط. ودرجة الحرارة هذه هي مهمة عند بحث مقدرة الجلد على فقدان الحرارة للمحيط.

درجة حرارة اللب السوية. لا يمكن اعتبار مستوى واحد لدرجة الحرارة على أنه سوي لأن القياسات التي أجريت في العديد من الأشخاص الأسوياء قد أظهرت مدى range من درجات الحرارة السوية المقيسة عن طريق الفم. كما هو مبين في الشكل 73-1، يمتد من أقل من 97° ف (36° م) إلى أعلى من 99.5° ف (37.5° م). ويعتبر معدل درجة الحرارة السوية بصورة عامة بين 98° ف و 98.6° ف (36.7° م ـ 37° م) عند قياسها من الفم وحوالي 1° ف أو 0.6° م تقريباً أعلى من ذلك عند قياسها من المستقيم.

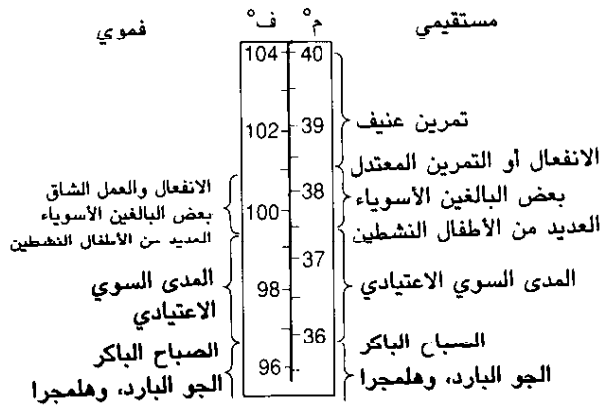
وتتفاوت درجة حرارة الجسم مع الجهد ومع درجات حرارة المحيط المتطرفة، لأن آليات تنظيم درجة الحرارة ليست دقيقة 100%. فعندما تتولد حرارة مفرطة في الجسم أثناء التمارين العنيفة فمن الممكن أن ترتفع درجة حرارة الجسم وقتياً إلى علو يصل إلى 101-104° ف. وعلى الطرف الآخر، عندما يتعرض الجسم للبرد، فإن درجة حرارة الجسم يمكن أن تنخفض في الغالب إلى قيم أدنى من 96° ف.

التحكم في درجة حرارة الجسم بموازنة توليد الحرارة مع فقدانها

عندما تكون سرعة توليد الحرارة في الجسم أكبر من سرعة فقدانها منه، فمن الواضح أن الحرارة تتجمع فيه فترتفع درجة حرارته. وعلى العكس من ذلك، عندما يكون فقدان الحرارة أكثر فإن حرارة الجسم ودرجة حرارته ينخفضان. ولهذا فإن معظم القسم الباقي من هذا الفصل سيعنى بهذا التوازن بين توليد الحرارة وفقدانها والآليات التي يتحكم بواسطتها الجسم بكل من هاتين الوظيفتين.

توليد الحرارة

إن توليد الحرارة هو أحد النواتج الثانوية الرئيسية للاستقلاب. وفي الفصل 72، الذي لخّص طاقات الجسم،



الشكل 73-1. المدى المقدّر لدرجات حرارة الجسم لدى الأشخاص الأسوياء (من E.F. DuBois:Fever. Springfield, Ill. Charles C.Thomas. 1948).

بحثنا مختلف العوامل التي تعيّن سرعة توليد الحرارة والتي تسمى سرعة استقلاب الجسم. وندرج هنا أهم هذه العوامل: (1) السرعة الأساسية لاستقلاب كل خلايا الجسم، (2) والسرعة الإضافية للاستقلاب التي تولّدها الأنشطة العضلية، والتي تشمل التقلصات العضلية التي تولدها القشعريرة، (3) والاستقلاب الإضافي الذي يسببه تأثير الثيروكسين (ولمدى أقل الهرمونات الأخرى، مثل هرمون النمو والهرمون الخُصْوي التستوستيرون) على الخلايا، (4) والاستقلاب الإضافي الذي يسببه تأثير الأبينفرين والنورابينفرين والتنبيه الودي على الخلايا. (5) والاستقلاب الإضافي الذي تسبّبه زيادة الفعالية الكيميائية في الخلايا نفسها، خصوصاً عند ارتفاع درجة حرارتها.

فقدان الحرارة

تتكون معظم الحرارة التي تولد في الجسم في أعضائه العميقة، وخاصة في الكبد والدماغ والقلب والعضلات الهيكلية أثناء الجهد الجسدي. ومن ثم تحول هذه الحرارة من الأعضاء العميقة والأنسجة إلى الجلد، حيث تفقد إلى الهواء وكل ما يحيط بالجسم. ولهذا فإن سرعة فقدان الحرارة تعيّن غالباً وبصورة تامة تقريباً بعاملين هما: (1) السرعة التي يمكن أن يتم بها توصيل الحرارة من مكان توليدها في لب الجسم إلى الجلد، (2) والسرعة التي يمكن بها تحويل الحرارة من الجلد إلى المحيط. ولنبدأ ببحث نظام العازل الذي يعزل اللب عن سطح الجلد.

نظام العازل في الجسم

يكوّن الجلد والأنسجة تحت الجلدية، وخصوصاً دهن الأنسجة تحت الجلدية عازلاً حرارياً للجسم. والشحم مهم بصورة خاصة لأنه يوصل الحرارة بثلث السرعة فقط التي توصل بها الأنسجة الأخرى. وعندما لايجري دم من الأعضاء الداخلية المسخّنة إلى الجلد، تعادل عند ذاك خواص عزل جسم الرجل السوي حوالي ثلاثة أرباع خواص عزل بدلة قماش اعتيادية. ويكون هذا العزل أحسن لدى النساء.

والعزل تحت الجلد وسيلة مؤثرة في المحافظة على درجة حرارة اللب الداخلي، بالرغم من أنه يسمح لدرجة حرارة الجلد من الاقتراب من درجة حرارة المحيط.

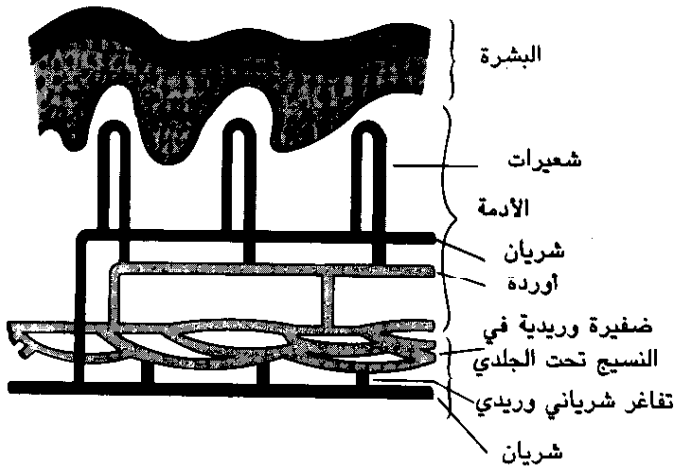
جريان الدم من لب الجسم إلى الجلد يؤمن انتقال الحرارة

تنفذ الأوعية الدموية خلال الأنسجة الدهنية تحت الجلدية العازلة لتتوزع بكثافة تحت الجلد مباشرة. وأهم ذلك بصورة خاصة الضفيرة الوريدية المتواصلة التي يغذيها جريان الدم الوارد من شعيرات الجلد كما هو مبين في الشكل 73-2. ويجهز الدم في أكثر الباحات المكشوفة من الجسم ـ اليدين والقدمين والأذنين ـ إلى الضفيرة مباشرة من الشرايين الصغيرة خلال المُفاغرة الشريانية الوريدية arteriovenous anatomoses العالية التعضّل

ويمكن أن تتغير سرعة جريان الدم إلى الضفيرة الوريدية لدرجة كبيرة ـ من ما يقارب الصفر إلى ما يصل إلى حد 30% من نتاج القلب الكلي. وتؤدي السرعة العالية لجريان الدم إلى انتقال الحرارة من لب الجسم إلى الجلد بكفاءة عالية، بينما يقلل بطء سرعة جريان الدم من كفاءة توصيلها من اللب. ويبين الشكل 3-73 كمياً تأثير جريان الدم في الجلد على توصيل الحرارة من لب الجسم إلى سطح الجلد، ويُظهر زيادة تقارب ثمانية أضعاف الإيصالية بين حالة التضيّق الوعائي التام وحالة التوسع الوعائي الكامل.

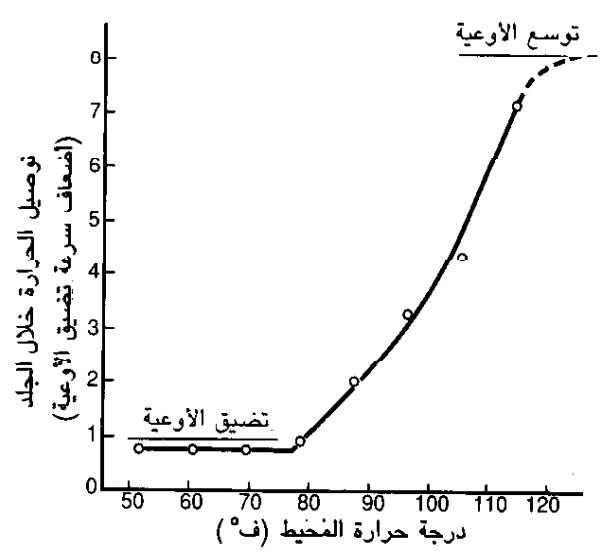
ولذلك فمن الواضح أن الجلد هو نظام «مشعاع حراري» heat radiator كفوء، وأن جريان الدم إلى الجلد هو آلية كفوءة في نقل الحرارة من لب الجسم إلى الجلد.

التحكم في توصيل الحرارة إلى الجلد بالجهاز العصبي الودي. يُحْكَم توصيل الحرارة إلى الجلد



الشكل 73-2. الدوران في الجلد.

بواسطة الدم بدرجة التضيق الوعائي للشرينات وللمفاغرات الشريانية الوريدية التي تغذي الدم إلى الضفيرة الوريدية في الجلد. ويُحْكَم هذا التضيق الوعائي بدوره بصورة تامة تقريباً بالجهاز العصبي الودي استجابة للتغييرات في درجة حرارة لب الجسم وللتغييرات في درجة حرارة المحيط. وسيبحث ذلك لاحقاً في هذا الفصل مع علاقته بتحكم الوطاء بدرجة حرارة الجسم.



الشكل 73-3. تأثير تغيرات درجة حرارة المحيط على إيصالية الحرارة من لب الجسم إلى سطح الجلد (مأخوذ بتحوير من Benzinger: Heat & Temperature: Fundamentals of Medical Physiology, New York Dowden, Hutchinson & Ross 1980).

الفيزياء الأساسية لكيفية فقدان الحرارة من سطح الجلد

يبين الشكل 73-4 الطرق المختلفة التي تفقد بها الحرارة من الجلد إلى المحيط. وتشمل هذه الطرق الإشعاع، والتوصيل، والتبخر والتي يمكن توضيحها كما يلي:

الإشعاع. كما هو مبين في الشكل 73-4، يفقد الشخص العاري في غرفة ذات درجة حرارة عادية، بالإشعاع radiation، حوالي 60% من كل الحرارة التي يفقدها جسمه (حوالي 15%).

ويعني فقدان الحرارة بالإشعاع فقدانها بشكل أشعة حرارية تحت حمراء، وهي نمط من الموجات الكهرمغناطيسية. ولمعظم الأشعة الحرارية تحت الحمراء، التي تشع من الجسم، موجات بأطوال 5-20 ميكرومتراً، وهي 10-30 ضعفاً طول الأشعة الضوئية. وكل الأجسام التي لها درجة حرارة أعلى من الصفرالمطلق تشع مثل هذه الأشعة. ولهذا فإن جسم الإنسان يشع أشعة حرارية في كل الاتجاهات. ولكن الأشعة الحرارية تشع أيضاً من الجدران ومن الأجسام الأخرى نحو الجسم. فإذا كانت درجة حرارة الجسم أعلى من درجة حرارة المحيط، تشعّ كمية أكبر من الحرارة من الجسم مما يُشَع نحوه.

التوصيل. كما هو مبين في الشكل 73-4، تفقد من الجسم كميات صغيرة فقط بالتوصيل conduction المباشر في سطح الجسم إلى الأجسام الأخرى، كالفراش والمقعد. وعلى الطرف الآخر، فإن فقدان الحرارة بالتوصيل إلى الهواء يمثل فعلاً نسبة كبيرة من فقدان الحرارة من الجسم (حوالي 15%) حتى في ظروف التوصيل السوية. ونتذكر هنا أن الحرارة في الواقع هي طاقة حركية للحركة الجزيئية، وأن جزيئات الجلد تخضع باستمرار لحركات اهتزازية. ومن الممكن نقل الكثير من هذه الحركة إلى الهواء إذا كان أبرد من الجلد. فيزيد ذلك من سرعة حركة جزيئات الهواء. ولكن متى ما تساوت درجة حرارة الهواء المجاور مباشرة للجلد بدرجة حرارة الجلد، فلن يكون عند ذاك بالإمكان فقدان حرارة من الجلد إلى الهواء. ولهذا فإن توصيل الحرارة من الجسم إلى الهواء يحدد ذاتياً إلا إذا تحرك الهواء الساخن بعيداً عن الجلد بحيث يجري دائماً هواء جديد غير مسخن وباستمرار ليلامس الجلد، وهي ظاهرة تسمى حَمَلان الهواء.