المحاضرة الأولى

الاستتباب (الاتزان الداخلي) وتنظيم البيئة الداخلية

تهتم الفيزيولوجيا البشرية بالخصائص والآليات النوعية لجسم الإنسان التي تجعل منه كائناً حياً، وحقيقة بقائنا أحياء هي نتيجة تنظيمنا الذاتي، فالجوع يجعلنا نطلب الطعام، والخوف يجعلنا نبحث عن الملجأ، والشعور بالبرد يجعلنا نحتاط الدفء، ودوافع وقوى أخرى تجعلنا نبحث عن الرفقة والصحبة وكذلك التكاثر والتوالد، وهكذا فإن الكائن البشري هو في الحقيقة **آلة تلقائية**، وكوننا كائنات ذكية تشعر وتحس وتتعلم فإن ذلك جزء من السلسلة التلقائية للحياة، وهذه الميزات والخصائص تسمح لنا بالبقاء والاستمرار بالحياة ضمن الظروف المختلفة.

الاستتباب (الاتزان الداخلي) Homeostasis

هو محاولة الكائن الحي وسعيه إلى الحفاظ على حالة استقرارٍ نسبية لمتغيرات الوسط الداخلي أو البيئة الداخلية Internal environment للجسم ضمن مجال لا يؤثر في حياة الفرد.

يتم ذلك بتدخل آليات قادرة على تعديل **المتغيرات الفيزيائية والكيميائية** (التي يوجد كل منها عادة بمقدار ضمن مجال محدد) لهذا الوسط من خلال تدخل أعضاء الجسم وأجهزته المختلفة التي تعمل على إنجاز الفعاليات التي تساعد على الاستتباب، وإذا فقد أيُّ جهازٍ منها قدرتَه على المساهمة بنصيبه من العمل لتأمين حالة الاستتباب فستعاني عندها معظم خلايا الجسم هذا الضرر، مما يؤدي إلى ظهور أعراض مرضية، وربما حدوث الموت.

السائل خارج الخلايا – البيئة الداخلية (الوسط الداخلي)

تشكل السوائل حوالي 65% من جسم الانسان البالغ، ويمثّل السائل داخل الخلايا ثلثيها ويدعى **السائل داخل الخلايا أو داخل الخلوي** Intracellular fluid، بينما يتوضع الثلث المتبقي في الأفضية خارج الخلايا (المسافات البينية أو الخلالية) ويدعى **السائل خارج الخلايا أو الخارج الخلوي** Extracellular fluid، ويتميز هذا السائل بأنه يتحرك باستمرار، فهو يُنقل بسرعة في الدم، ومن ثم يمزج بين الدم وسوائل النسج بالانتشار عبر جدر الشعيرات الدموية. يحوي السائل خارج الخلوي الشوارد (الأيونات) والمغذيات Nutrients التي تحتاجها الخلايا لاستمرار حياتها، ولذلك فإن الخلايا كلها تعيش أساساً في البيئة نفسها وهي **السائل خارج الخلوي** ولهذا يدعى هذا السائل **بالبيئة الداخلية** Internal environment أو **الوسط الداخلي** وهذا المصطلح وضعه قبل حوالي مائة عام (في القرن التاسع عشر) الفيزيولوجي الفرنسي كلود برنار Claude Bernard.

يُوصف **الوسط الداخلي** للجسم بأنه سائل هلامي يتكون من ماء ومركبات منحلة قابلة للانتقال عبر الأغشية الخلوية كالمُغَذِّيات والأيونات (الشوارد) والجزيئات الكيميائية التي تحتاج إليها الخلايا، إضافة إلى نواتج الاستقلاب التي تطرحها في محيطها.

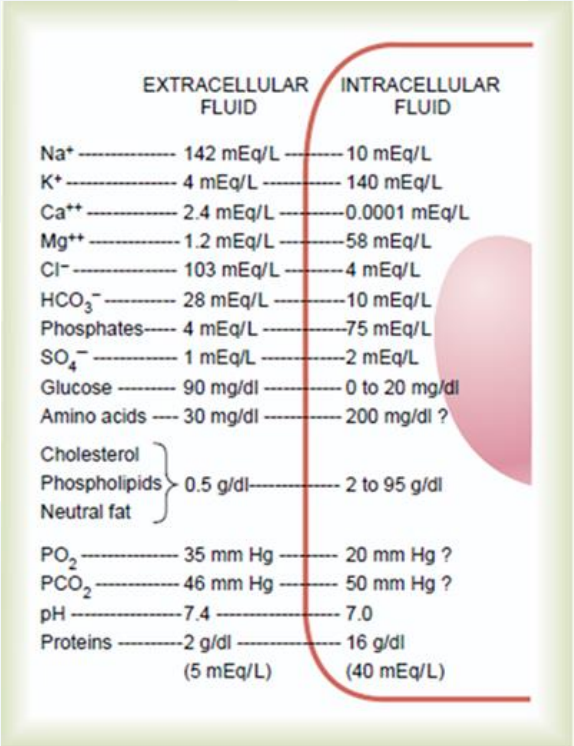
يحوي **السائل خارج الخلوي Extracellular fluid** كميات وتراكيز كبيرة من شوارد الصوديوم Sodium والكلور Chloride والبيكربونات Bicarbonate بالإضافة إلى المغذيات الخاصة بالخلية مثل الأكسجين Oxygen والغلوكوز Glucose والحموض

الدسمة Fatty acids والحموض الأمينية Amino acids، كما يحوي أيضاً ثاني أوكسيد الكربون الذي يُنقل من الخلايا إلى الرئة لإطراحه، بالإضافة إلى الفضلات الاستقلابية الأخرى التي تنقل إلى الكليتين لإفراغها.

تكون الخلايا قادرة على العيش والنمو وإنجاز وظائفها الخاصة طالما توفر التركيز المناسب للأكسجين والغلوكوز (سكر العنب) والشوارد المختلفة والحموض الأمينية والمواد الدسمة والعناصر الأخرى في هذه البيئة الداخلية.

أما بالنسبة **للسائل داخل الخلايا (داخل الخلوي) Intracellular fluid** فيختلف بشكل واضح عن السائل خارج الخلايا، فهو يحوي كميات كبيرة من شوارد البوتاسيوم Potassium والمغنيزيوم Magnesium والفوسفات Phosphate بدلاً من شوارد الصوديوم والكلور الموجودة في السائل خارج الخلايا، الشكل (1).

تتم **المحافظة** على هذا الاختلاف بين السائل خارج وداخل الخلوي بوساطة آليات خاصة تنتقل من خلالها الشوارد والجزيئات عبر أغشية الخلايا تتمثل بالانتشار (البسيط، والميسّر)، والنقل الفعال (البدئي الأولي، والثانوي).



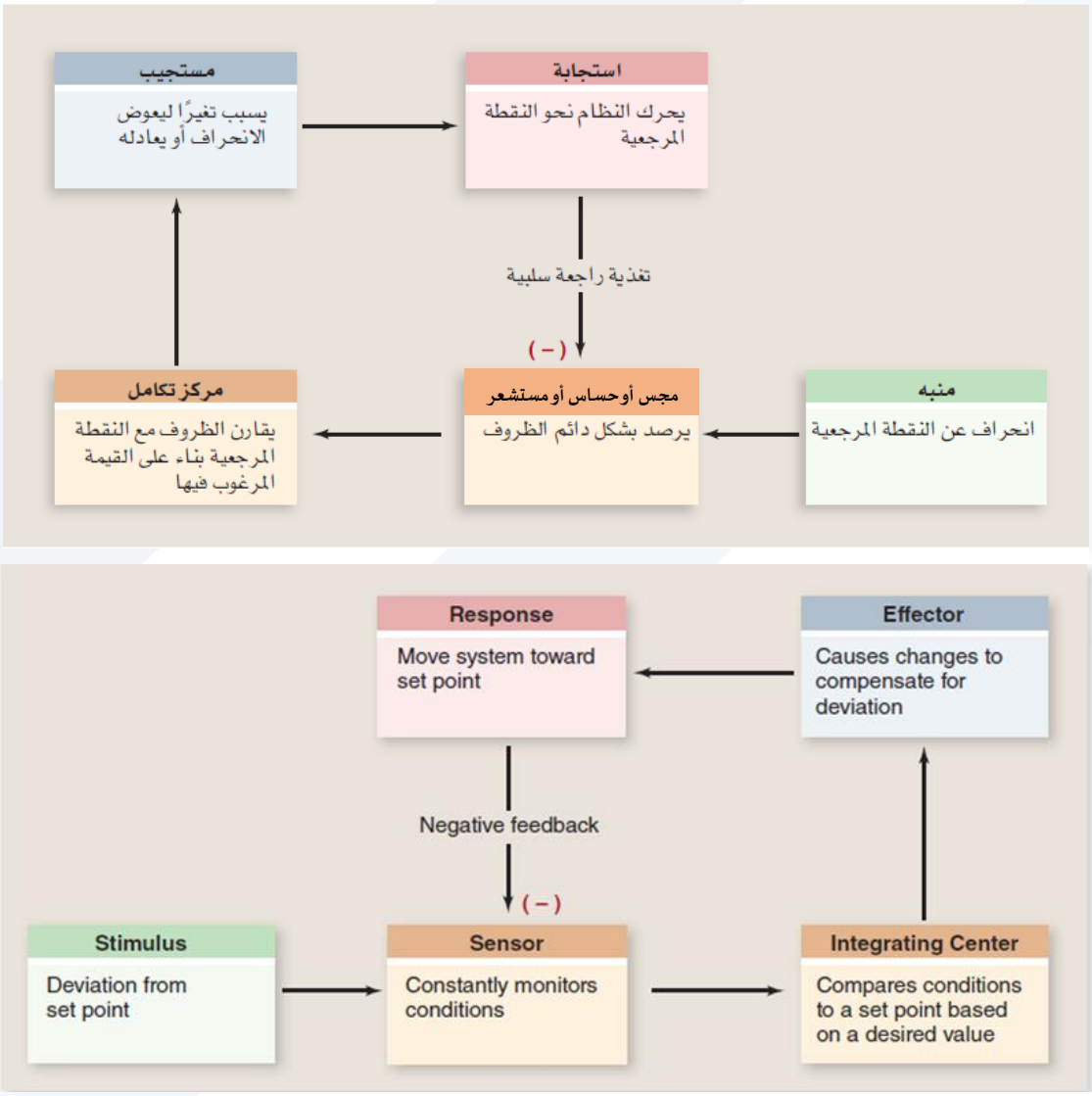
الشكل (1): التركيب الكيميائي للسائل خارج الخلوي والسائل داخل الخلوي.

فكّر ثم أجب:

هل تصنّف مصورة الدم (البلازما) كسائل خارج خلوي أم داخل خلوي؟ فسّر إجابتك.

كما ذكرنا سابقاً فإن الكائن الحي يسعى إلى استقرار وسطه أو بيئته الداخلية ويتم ذلك من خلال **التلقيم (التغذية) الراجع السلبي Negative feedback**، الشكل (1).

تعمل معظم أجهزة الجسم وفق هذا المبدأ، بمعنى أنه إذا ما ابتعد أحد متغيرات الوسط الداخلي عن الحدود الطبيعية - زيادة أو نقصاناً - تتدخل أجهزة التحكم في الجسم بجملة من ردود الفعل تعمل على إعادة هذا المتغير إلى قيمته الطبيعية.



الشكل (1): التلقيم الراجع السلبي.

تنظيم (استتباب) درجة حرارة الجسم Temperature Regulation

تتم معظم التفاعلات الاستقلابية التي تنجزها خلايا الجسم في الكائنات الحية في مجال محدد من درجة الحرارة تراوح بين -2 و +40 م° وتتضاعف سرعة هذه التفاعلات مرتين إلى ثلاث مرات مع كل ارتفاع في درجة الحرارة مقدارها 10 درجات مئوية، بدلالة زيادة استهلاك الأكسجين من قبل الكائن مع ارتفاع درجة الحرارة.

إذا **زادت درجة الحرارة** الداخلية للجسم عن 40 م° فإن ذلك يؤدي إلى خلل في التفاعلات الحيوية نتيجة **تعطل** عمل الإنزيمات المشرفة على هذه التفاعلات، علماً أن الإنزيمات **تتخرب** كلياً إذا تجاوزت درجة حرارة الجسم 45 م°، وبعكس ذلك ينخفض معدل الاستقلاب مع انخفاض درجة حرارة الجسم، وتقل معها كمية الطاقة التي يستطيع الجسم أن يحشدها لأوجه نشاطه الحيوي؛ لذلك تسعى الكائنات الحية جاهدة إلى إيجاد البيئة المناسبة التي لا تتطلب منها بذل جهد كبير للحفاظ على نشاطها الحيوي لمواجهة تبدلاتِ درجة حرارة الوسط المحيط باستجاباتٍ سلوكيةٍ وأخرى فيزيولوجيةٍ تعتمد فيها على جملة تنظيم تتحكم بدرجة حرارة الجسم.

تذكّر:

تقسم الحيوانات إلى مجموعتين أساسيتين، متبدلة الحرارة Poikilotherms، ومتجانسة الحرارة Homeotherms:

1. **الحيوانات متبدلة الحرارة، وتعرف أيضاً بذوات الدم البارد**، وهي تضم جميع اللافقاريات والأسماك والبرمائيات والزواحف من الفقاريات، وتتميز بأن درجة حرارة أجسامها الداخلية تتغير بتغير درجة حرارة الوسط المحيط، وبأنها لا تصرف الكثير من الطاقة الحيوية لمقاومة تبدلات درجة حرارة البيئة التي يعيش فيها الكائن الحي.
2. **الحيوانات متجانسة الحرارة، أو ذوات الدم الحار**، وتضم الطيور والثدييات، وتتميز بثبات درجة حرارة أجسامها ضمن حدود ضيقة لا تتغير مهما تغيرت درجة حرارة الوسط، وهي تراوح بين 36 و 38 م° في معظم الثدييات، وبين 40 و 42 م° عند الطيور. وهي تُسخّر جزءاً من طاقتها الحيوية لاستتباب درجة حرارة أجسامها.

يضبط الانسان (متجانس الحرارة) حرارة جسمه المركزية (نحو 37 م°) من خلال تحقيق التوازن بين إنتاج الجسم للحرارة وفقده للحرارة، بفضل عمل جهاز تنظيم حراري يشترك به عددٌ من الأجهزة والأعضاء قد تطال معظم خلايا الجسم.

يتم تنظيم درجة حرارة الجسم على مستوى الجزء من الدرجة المئوية بفضل التدفق المستمر للمعلومات القادمة من المستقبِلات الحرارية المحيطية (مستقبلات للسخونة، وأخرى للبرودة) لمختلف مناطق الجسم إلى مركز التنظيم الحراري الموجود في الوطاء Hypothalamus.

يقوم المركز العصبي المنظِّم لحرارة الجسم بتحليل المعلومات الحسّية القادمة من المستقبلات الحرارية، ويقدّر الموقف الحراري للجسم. وبناءً على ذلك يرسل إيعازات إلى الفاعلات ليدفعها إلى إنتاج الحرارة أو طرحها اعتماداً على مبدأ التلقيم الراجع السلبي لضبط درجة حرارة الداخل، هذا وإن أي انحرافٍ في درجة حرارة الداخل عن قيمة نقطة البدء (أو النقطة المرجعية Set point وهي 37 م°) زيادةً أو نقصاناً يؤدي إلى انطلاق إشارة خطأ Error signal تعمل على ضبط الأمور وذلك بتسيير آلياتِ إنتاجٍ للحرارة أو فقدها (تبديدها أو طرحها)، الشكل (2).

عند **ارتفاع درجة حرارة الجسم** من جراء التعرض للظروف الحارة، أو لدى قيام الفرد بأعمال مجهدة، أو عند إصابته بالحمى، تتفوق عندئذٍ المعلومات الحرارية القادمة من مستقبِلات السخونة على المعلومات الحرارية القادمة من مستقبلات البرودة، ويؤدي ذلك إلى تفوق إشارة الخطأ الناجمة عن السخونة، ويتنبه على أثرها مركز تبديد (طرح) الحرارة في **الوطاء الأمامي** وتدفعه إلى تسيير آليات متعددة تعمل على خفض درجة حرارة الجسم وإعادتها إلى مستوى النقطة المرجعية.

يبدأ تنسيق آليّات تبديد الحرارة في الوطاء الأماميّ؛ إذ تنخفض الفعاليّة الوديّة في الأوعية الدمويّة للجلد لتتوسع هذه الأوعية، ويزداد تدفّق الدم عبر شُريّنات الجلد نتيجة انخفاض المقويّة الوعائية الوديّة، وبالتالي يُحوَّل الدم الدافئ من مركز الجسم إلى سطح الجسم (ويتضح ذلك من خلال احمراء ودفء الجلد)، ويتمّ فقد الحرارة عن طريق:

- **الإشعاع Radiation:** خسارة الحرارة على شكل أشعة حرارة تحت حمراء.
- **الحمل الحراريّ Convection:** خسارة الحرارة بوساطة تيارات الحمل الهوائية؛ إذ تنتقل الحرارة إلى الهواء الملامس للجلد **بالتوصيل (التماس أو النقل) Conduction** والذي يكون أبرد من الجسم ليسخن هذا الهواء ويتحرك بعيداً عن الجلد، ليأتي هواء جديد غير مسخن يلامس الجلد مرة أخرى، وهكذا يستمر حمل المزيد من الحرارة ونقلها بعيداً عن الجسم.

  يمكن أن يتم التوصيل والحمل عن طريق الماء أيضاً، ويتميز بأنه أكثر كفاءة من الهواء كون الماء يتمتع بسعة حرارية عالية.

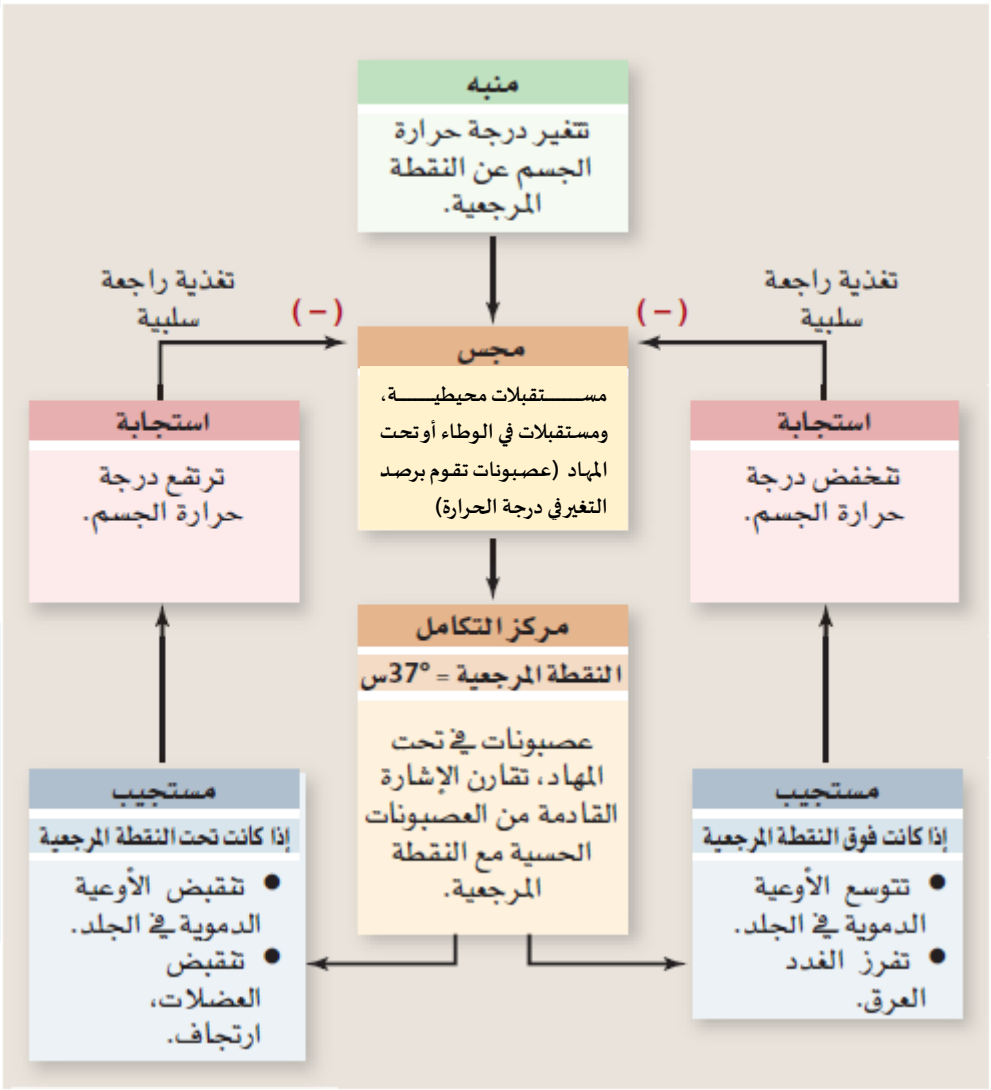
  نشير إلى أن خسارة الحرارة بالتوصيل والحمل تتم عندما تكون درجة حرارة الجسم أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط
- **التبخر Evaporation:** إذا كانت درجة حرارة الجسم **أقل** من درجة حرارة الوسط المحيط فعندئذ يعد تبخر الماء - الناجم عن **التعرق** أو **اللهاث** - الطريق الوحيد للتخلص من الحرارة الزائدة، حيث تزداد فعالية الألياف الوديّة المعصّبة للغدد العرقيّة لتحضها على إفراز العرق وبالتالي زيادة عملية التعرق (تبريد).

وبالنتيجة يكون **معدل فقد الجسم للحرارة أكبر من إنتاجها**، وتصبح الفروق الحرارية بين المركز والأطراف **قليلة** نتيجة استمرار تدفق الدم المحمل بالحرارة من المركز باتجاه المحيط، الشكل (3).

أما فيما يتعلق **بالاستجابات السلوكية لتبديد الحرارة** فهي تتمثل بزيادة تعرض الجلد للهواء، على سبيل المثال: ارتداء الملابس الخفيفة، التعرض لهواء المروحة.

ادرس الحالة:

تستخدم الكثير من الحيوانات كالكلاب آلية اللهاث Panting كوسيلة لتبديد وخسارة الحرارة.



الشكل (2): آلية تنظيم درجة حرارة الجسم وفق التلقيم الراجع السلبي.

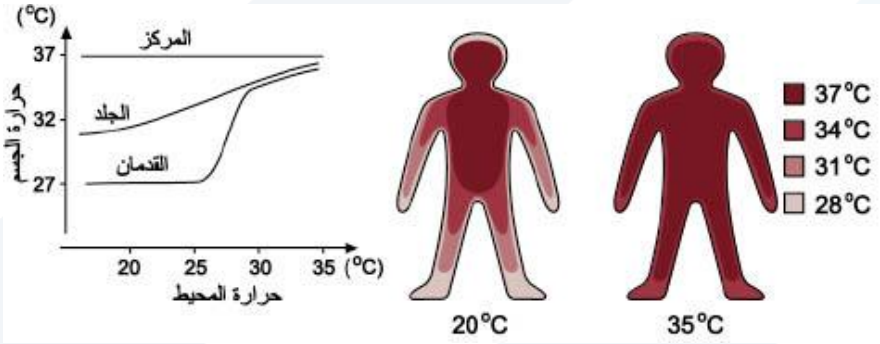
أما لدى **انخفاض درجة حرارة الجسم** من جراء التعرض للأوساط الباردة فيتنبه مركز التنظيم الحراري الذي يغير إشارة الخطأ في الاتجاه المعاكس للحالة السابقة. ويعمل عندئذٍ جهازُ ضبطِ الحرارة على رفع درجة حرارة مركز الجسم بتدخل عدة آليات، منها:

- **تنشيط آليات إنتاج الحرارة بالقشعريرة Shivering:** وهي رجفة عضلية لا إرادية، حيث يفعّل انخفاض درجة الحرارة مراكزاً في **الوطاء الخلفي**، والذي يفعّل بدوره عصبونات محركة معصّبة للعضلات الهيكلية، مما يؤدي إلى **زيادة في التقلص العضلي**، مولداً حرارة ورافعاً لدرجة حرارة الجسم.
- زيادة **نشاط الجهاز العصبي الودي** الذي يحرّض خلايا غدة الكظر على إفراز الأدرينالين والنورأدرينالين في الدم لينشط عمليات تقويض واستهلاك الشحوم وزيادة معدل استقلابها لزيادة إنتاج الحرارة.
- زيادة إنتاج **التيروكسين** في الغدة الدرقية وإفرازه في الدم لرفع مستوى الاستقلاب الأساسي في الخلايا.

- **تثبيط آليات طرح الحرارة عبر الجلد:** وذلك بتنشيط عمل الجملة الودية التي تسبب تضيق الأوعية الدموية وبالتالي الحد من تدفق الدم إلى الجلد.

وبالنتيجة يكون **معدل إنتاج الجسم للحرارة أكبر من فقدها**، وينكمش معها المركز الحراري ليقتصر على الرأس والجذع. وتصبح الفروق الحرارية بين المركز والأطراف كبيرة نتيجة قلة تدفق الدم باتجاه المحيط، الشكل (3).

أما فيما يتعلق **بالاستجابات السلوكية** لتجنب خسارة الحرارة فهي تتمثل بتقليل تعريض الجلد للبرد، على سبيل المثال: ارتداء المزيد من الملابس، لف الذراعين، تكوّر الشخص حول نفسه.

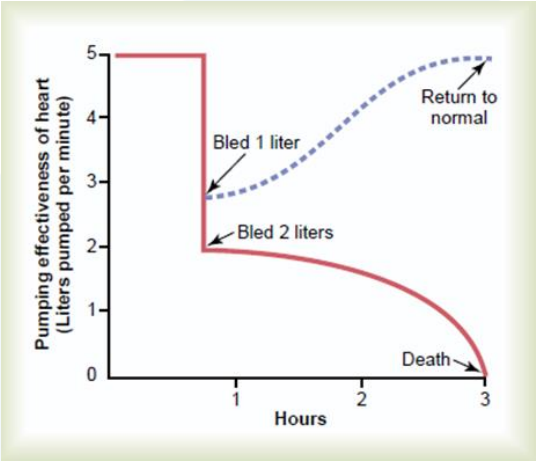


الشكل (3): يوضح العلاقة بين درجة حرارة الجسم ودرجة حرارة الوسط المحيط، وأثر ذلك في اختلاف درجة حرارة المركز والجلد والأطراف.

التلقيم الراجع الإيجابي

قد يسأل أحدهم: لماذا تعمل أجهزة التحكم في الجسم بالضرورة بالتلقيم الراجع السلبي بدلاً من التلقيم الراجع الإيجابي؟ وللإجابة عن هذا السؤال، تمت دراسة طبيعة التلقيم الراجع الإيجابي، ليتبيّن بأنه **لا يؤدي إلى الاستقرار بل إلى عدمه، وغالباً إلى الموت**، فهل ذلك ينطبق على كل آليات التلقيم الراجع الإيجابي؟

بيّن الشكل (4)، مثالاً عن الموت الذي يحدث نتيجة التلقيم الراجع الإيجابي؛ حيث أن قلب الإنسان السوي يضخ حوالي **5 ليترات من الدم في الدقيقة**، فاذا ما نزف هذا الشخص فجأة **أكثر من ليترين من الدم**، فإن كمية الدم في الجسم ستنقص إلى درجة كبيرة وغير كافية ليضخّها القلب بفعالية، وبالنتيجة يهبط الضغط الشرياني، ويضعف جريان الدم إلى العضلة القلبية عبر الأوعية الإكليلية، ويتبعها **إضعاف القلب**، وبالتالي إنقاص أكثر للضخ، ومن ثم إنقاص أكثر لجريان الدم الإكليلي، وإضعاف أكثر للقلب، وتبقى هذه **الحلقة تكرر نفسها مرات ومرات حتى الموت**. ويلاحظ أن كل دورة في التلقيم الراجع الإيجابي تضعف القلب أكثر من سابقتها، وبمعنى آخر فالتنبيه البدئي يسبب زيادة في المنبه نفسه أو **تعزيز المتغيّر** بدلاً من تصحيحه وإعادته إلى النقطة المرجعية.



الشكل (4): يوضح الموت الناجم عن التلقيم الراجع الإيجابي عند نزف لترين من الدم.

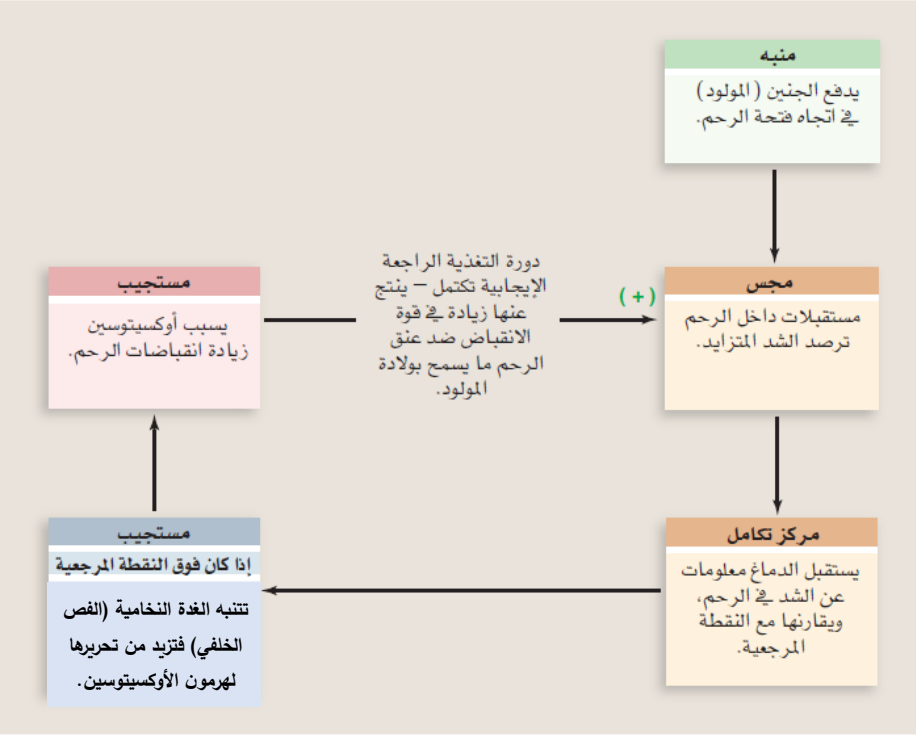
فكّر ثم أجب:

في حال الشخص المذكور سابقاً نزف ليتراً واحداً بدلاً من الليترين، ما هي آلية التلقيم التي ستتفعّل لديه؟ مع التفسير.

ولكن قد يكون التلقيم الراجع الإيجابي **مفيداً في بعض الحالات**؛ إذ استطاع الجسم في حالات نادرة أن يتعلم كيف يستخدم التلقيم الراجع الإيجابي لمصلحته. وكمثال عن ذلك نذكر حادثة الولادة، فعندما تصبح تقلصات الرحم قوية بشكل كافٍ لدفع رأس الجنين عبر عنق الرحم، فإن **تمدد العنق** يرسل إشارات تؤدي إلى **تقلصات أقوى** وتمدد أكبر للعنق، وبالتالي ولادة الطفل الشكل (5)، فالتلقيم الراجع الإيجابي في هذه الحالة عزّز المتغيرات، وأنجز في النهاية **وظيفة متخصصة** في الجسم.

ادرس الحالة:

يعد التلقيم الراجع الايجابي المفيد جزء أو حلقة من التلقيم الراجع السلبي.



الشكل (5): يوضح دور التلقيم الراجع الإيجابي أثناء الولادة.

انتهت المحاضرة ... بالتوفيق للجميع