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.

تعرّف المتعضية (الكائن الحي) بأنها منظومة System فيزيائية كيميائية تكون في حالة مستقرة مع وسطها الخارجي. وهذه القابلية للحفاظ على الحالة المستقرة في بيئة دائمة التغير هي التي تسهم في نجاح منظومات الحياة.

ولكي تحافظ على هذه الحالة، طورت المتعضيات، من أبسطها شكلاً إلى أكثرها تعقيداً، آليات مختلفة، تشريحية وفيزيائية وسلوكية، للوصول إلى الغاية نفسها، وهي المحافظة على وسط داخلي ثابت.

وأول من أشار إلى فائدة ثبات الوسط الداخلي لتوفير أفضل الظروف لحياة المتعضيات وتكاثرها بأقصى كفاءة ممكنة هو الفيزيولوجي الفرنسي كلود برنار عام 1857، الذي كانت تسترعي انتباهه أثناء أبحاثه الطريقة التي تستطيع المتعضيات من خلالها تنظيم متغيراتها Parameters الفيزيولوجية مثل درجة حرارة الجسم ومحتواه من الماء، وتحافظ عليها في حدود ضيقة معقولة.

وهذا المفهوم للتنظيم الذاتي الذي يؤدي إلى الاستقرار الفيزيولوجي لخّصه برنار بقوله: " ثبات الوسط الداخلي هو شرط الحياة الحرة ".

وقد ذهب برنار إلى التمييز بين الوسط الخارجي الذي تعيش فيه المتعضية والوسط الداخلي الذي تعيش فيه الخلايا. وقد أدرك أهمية الاستقرار الدائم لهذا الأخير.

وبهذا المفهوم ينظر إلى المنظومات البيولوجية على أنها لا تعمل على مستوى المتعضية فقط وإنما على مستوى الخلية أيضاً. فالمتعضية هي خلاصة مكوناتها الخلوية، وأفضل عملٍ للمتعضية يتوقف على أفضل عملٍ لكل جزء من أجزائها.

وفي عام 1932 طرح الفيزيولوجي الأمريكي وولتر كانون W. Cannon مصطلح الاستتباب Homeostasis ليصف الآليات التي تحقق ثبات الوسط الداخلي الذي أشار إليه برنار.

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 كالمُغَذّيات 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.

يظهر الجدول (1)، المكونات الهامة والخصائص الفيزيائية للسائل خارج الخلوي مع قيمها، ومجالاتها الطبيعية، وحدودها العظمى (التي لا تؤدي إلى الموت في حال استمرت لفترة قصيرة من الزمن)، ويلاحظ مدى ضيق المجال الطبيعي لكل منها، بحيث أن القيم خارج هذه المجالات تكون عادة مسببة للمرض أو ناجمة عنه.

والحدود الأكثر أهمية هي تلك التي تسبب الموت في حال تم تجاوزها، فعلى سبيل المثال، فإن زيادة **حرارة الجسم** بمقدار 6 – 7 درجات مئوية عن الدرجة الطبيعية يؤدي غالباً إلى حلقة مفرغة من زيادة الاستقلاب الخلوي، كما قد يؤدي إلى تعطّل الأنزيمات وتخرّبها وبالتالي تلف الخلايا وموتها.

كما يلاحظ أيضاً المجال الضيّق **للتوازن الحمضي – الأساسي (القلوي)** أو **درجة الحموضة** في الجسم فالقيمة الطبيعية (السوية) هي 7.4، وإن أي زيادة أو نقصان عن هذه القيمة بمقدار 0.5 قد يؤدي إلى الموت.

هناك عامل آخر هام هو **شوارد البوتاسيوم**، فعندما ينخفض تركيزها إلى ثلث الحد الطبيعي يصبح الشخص مشلولاً، لعدم قدرة الأعصاب على نقل السيالات العصبية، وإذا ما ارتفع تركيزها إلى ضعفين أو أكثر عن القيمة الطبيعية (السوية) فإن العضلة القلبية تتثبط بشدة.

أما **شوارد الكالسيوم** فعندما ينخفض تركيزها إلى أقل من نصف المقدار الطبيعي فإن الشخص يعاني من تقلصات كزازية في جميع عضلات الجسم بسبب التوليد المستمر للسيالات والدفعات العصبية في الأعصاب المحيطية، وعندما يهبط **تركيز الغلوكوز (سكر العنب)** إلى ما دون نصف تركيزه الطبيعي، يظهر على الشخص أعراض عصبية مختلفة كالارتباك، أو التشويش في الرؤية، أو السلوك الغريب والعنيف، أو الاختلاج، وقد ينتهي الأمر بالغيبوبة.

الجدول (1): المكونات الهامة والخصائص الفيزيائية للسائل خارج الخلوي

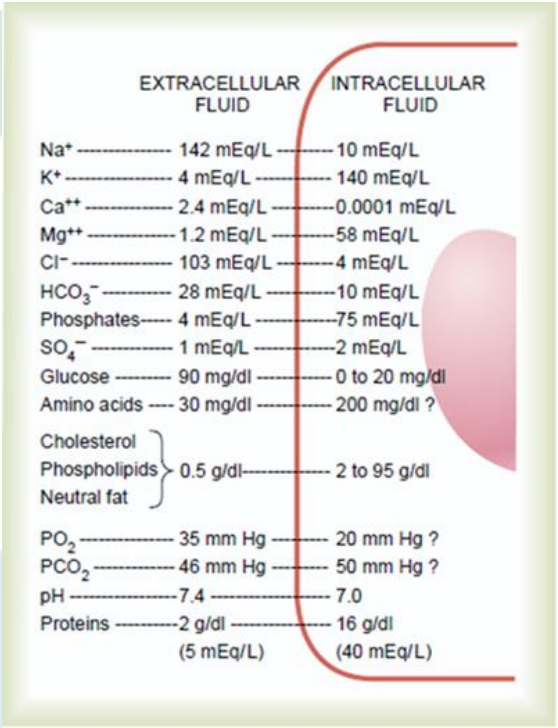
Important Constituents and Physical Characteristics of Extracellular Fluid

	Normal Value	Normal Range	Approximate Short-Term Nonlethal Limit	Unit
Oxygen	40	35–45	10–1000	mm Hg
Carbon dioxide	40	35–45	5–80	mm Hg
Sodium ion	142	138–146	115–175	mmol/L
Potassium ion	4.2	3.8–5.0	1.5–9.0	mmol/L
Calcium ion	1.2	1.0–1.4	0.5–2.0	mmol/L
Chloride ion	108	103–112	70–130	mmol/L
Bicarbonate ion	28	24–32	8–45	mmol/L
Glucose	85	75–95	20–1500	mg/dl
Body temperature	98.4 (37.0)	98–98.8 (37.0)	65–110 (18.3–43.3)	°F (°C)
Acid-base	7.4	7.3–7.5	6.9–8.0	pH

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.

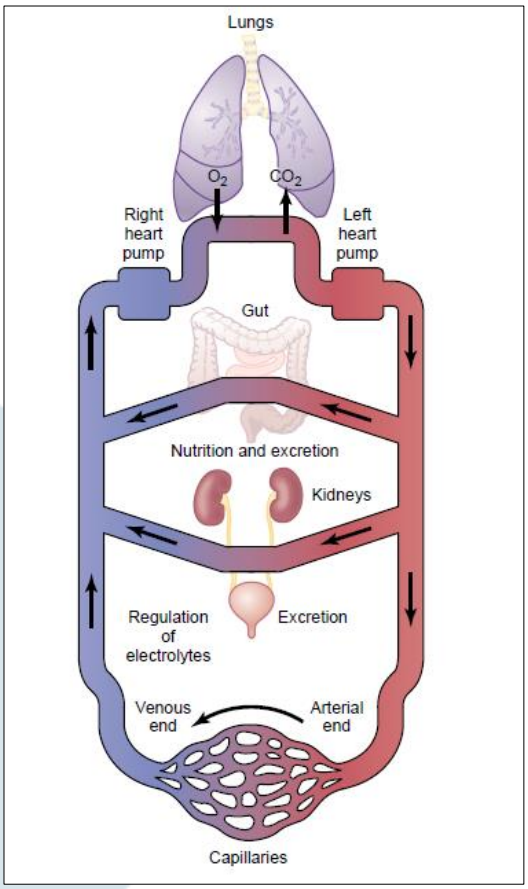
فكّر ثم أجب:

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

جهاز نقل السائل خارج الخلايا – جهاز الدوران

ينتقل السائل خارج الخلوي عبر جميع أجزاء الجسم في مرحلتين مختلفتين: **المرحلة الأولى** تستلزم تحرك الدم بشكل دائم ضمن جهاز الدوران، **والثانية** تتضمن تحرك السوائل بين الشعيرات الدموية والخلايا.

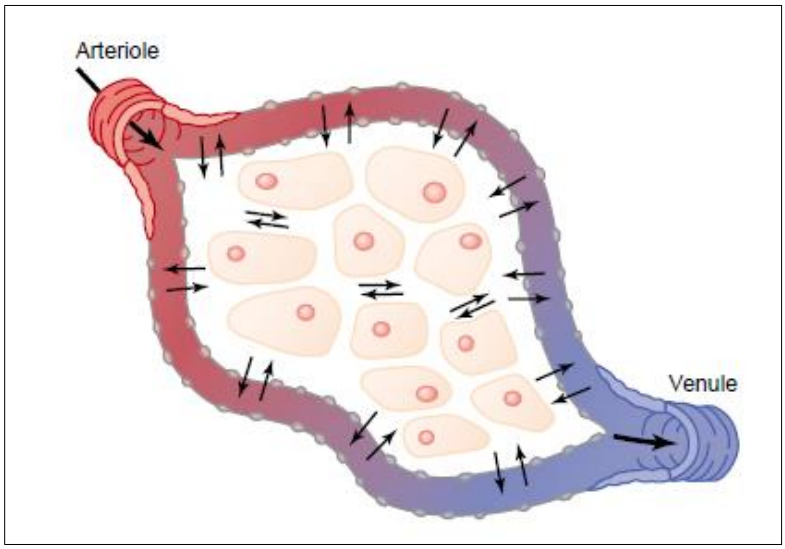
يبّن الشكل (2) دوران الدم بشكل عام؛ إذ أن الدم يُتم دورة كاملة بمعدل مرة في الدقيقة في حالة الراحة، ويتضاعف ذلك إلى ست مرات في الدقيقة عندما يقوم الشخص بجهد أو عمل شاق.



الشكل (2): التنظيم العام لجهاز الدوران.

عندما يمر **الدم خلال الشعيرات الدموية**، فإن تبادلاً مستمراً يحدث في السائل خارج الخلوي بين مصورة الدم وبين السائل الخلالي الذي يملأ الأفضية بين الخلايا الشكل (3)، وكما يلاحظ فإن الشعيرات نفوذه بحيث أن كمية كبيرة من السوائل والعناصر المنحلة فيها تستطيع الانتشار Diffuse جيئة وذهاباً بين الدم والأفضية النسيجية.

إن **عملية الانتشار** هذه تنجم عن الميل الحركي Kinetic للجزيئات في المصورة والسوائل الخلالية، ولذلك فإن السوائل والجزيئات المنحلة تتحرك باستمرار جيئة وذهاباً في كل الاتجاهات داخل السائل نفسه وعبر المسام والأفضية الخلوية.



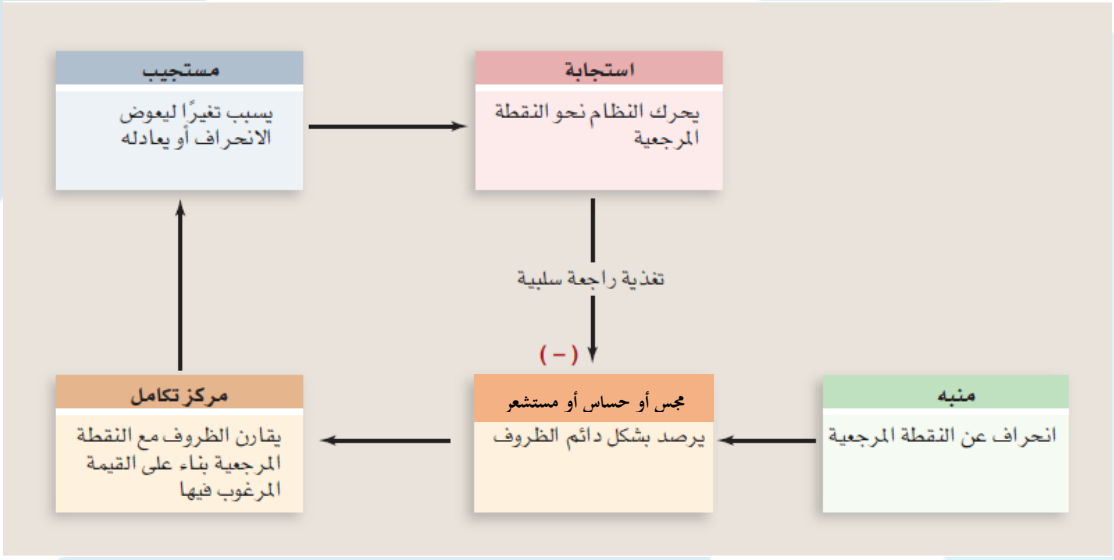
الشكل (3): انتشار السوائل عبر جدر الشعيرات الدموية وعبر الأفضية الخلالية (المسافات البينية).

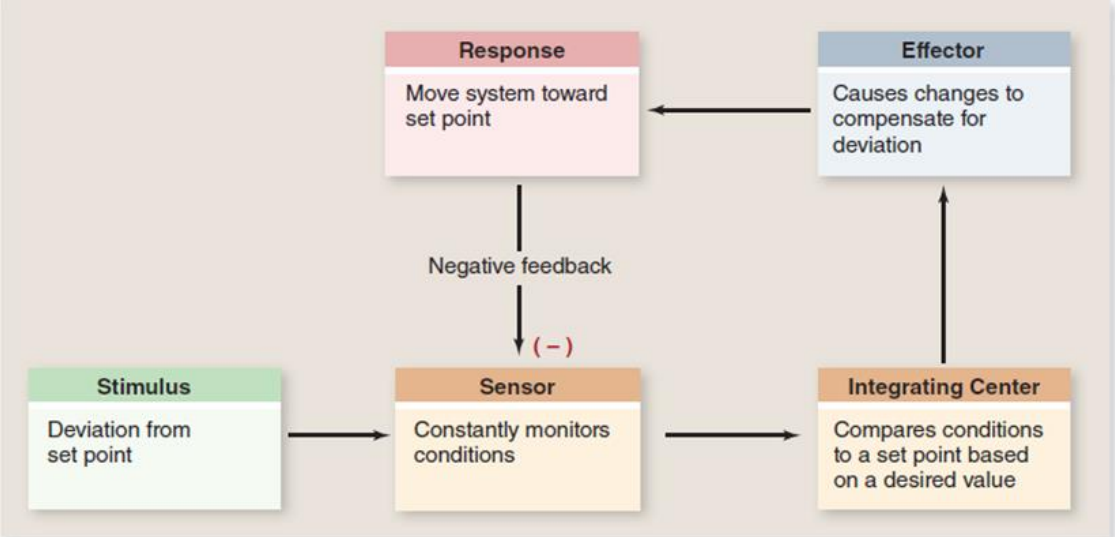
لا توجد أية خلية في الجسم تبعد تقريباً عن الشعيرات الدموية أكثر من 25 – 50 ميكرومتر، وهذا يؤمن انتشار لكل مادة تقريباً من الشعيرات الدموية إلى الخلية في غضون بضعة ثوانٍ. ولذلك فإن السوائل خارج الخلايا تكون في كل مكان في الجسم سواء تلك السوائل في المصورة، أو في الأفضية الخلالية، كما أنها تُمزج باستمرار للمحافظة على التجانس التام نسبياً.

التلقيم الراجع السلبي

يسعى الكائن الحي إلى استقرار وسطه أو بيئته الداخلية ويتم ذلك من خلال **التلقيم (التغذية) الراجع السلبي Negative feedback**، الشكل (4).

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 (4): 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، ويقَدِّر 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 وهي37 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).

عند **ارتفاع درجة حرارة الجسم** من جراء التعرض للظروف الحارة، أو لدى قيام الفرد بأعمال مجهِدة، 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:

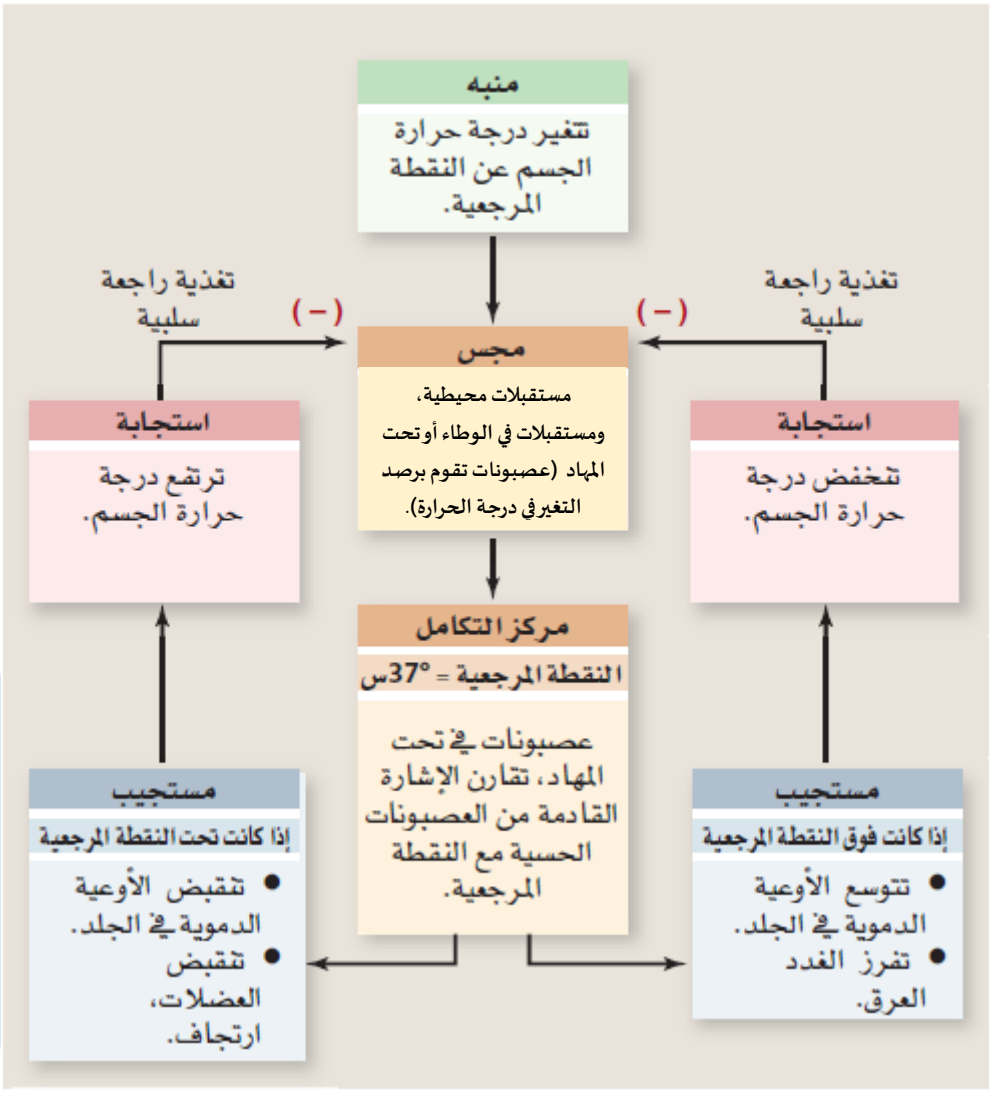
- **الإشعاع Radiation:** خسارة الحرارة على شكل أشعة حرارة تحت حمراء.
- **الحمل الحراريّ Convection:** خسارة الحرارة بوساطة تيارات الحمل الهوائية؛ إذ تنتقل الحرارة إلى الهواء الملامس للجلد **بالتوصيل (التماس أو النقل) Conduction** والذي يكون أبرد من الجسم ليسخن هذا الهواء ويتحرك بعيداً عن الجلد، ليأتي 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 لتحثّها 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 (5).

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



الشكل (5): آلية تنظيم درجة حرارة الجسم وفق التلقيم الراجع السلبي.

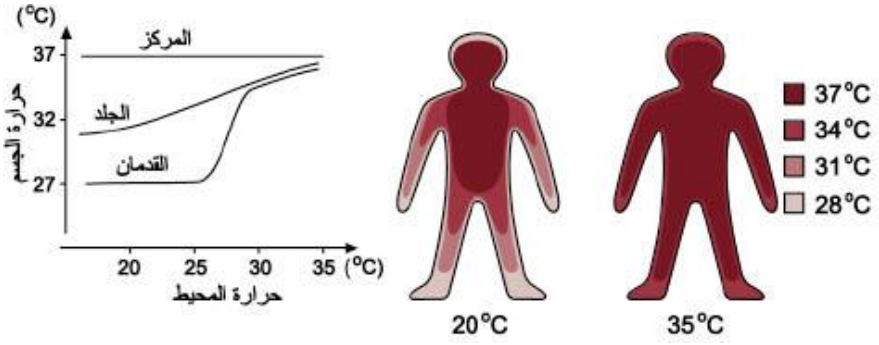
أما لدى **انخفاض درجة حرارة الجسم** من جراء التعرض للأوساط الباردة فيتنبه مركز التنظيم الحراري الذي يغير إشارة الخطأ في الاتجاه المعاكس للحالة السابقة. ويعمل عندئذٍ جهازُ ضبطِ الحرارة على رفع درجة حرارة مركز الجسم بتدخل عدة آليات، منها:

- **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 يحرِّض 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 (6).

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.

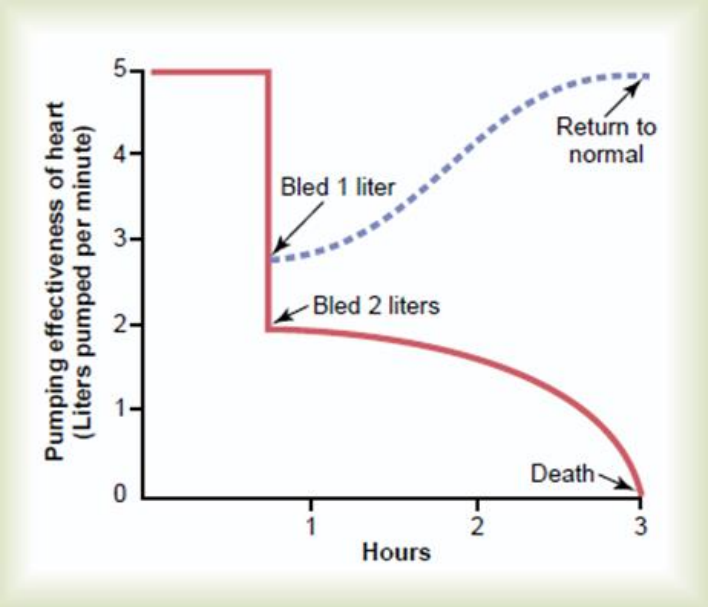


الشكل (6): يوضح العلاقة بين درجة حرارة الجسم ودرجة حرارة الوسط المحيط، و أثر ذلك في اختلاف درجة حرارة المركز والجلد والأطراف.

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

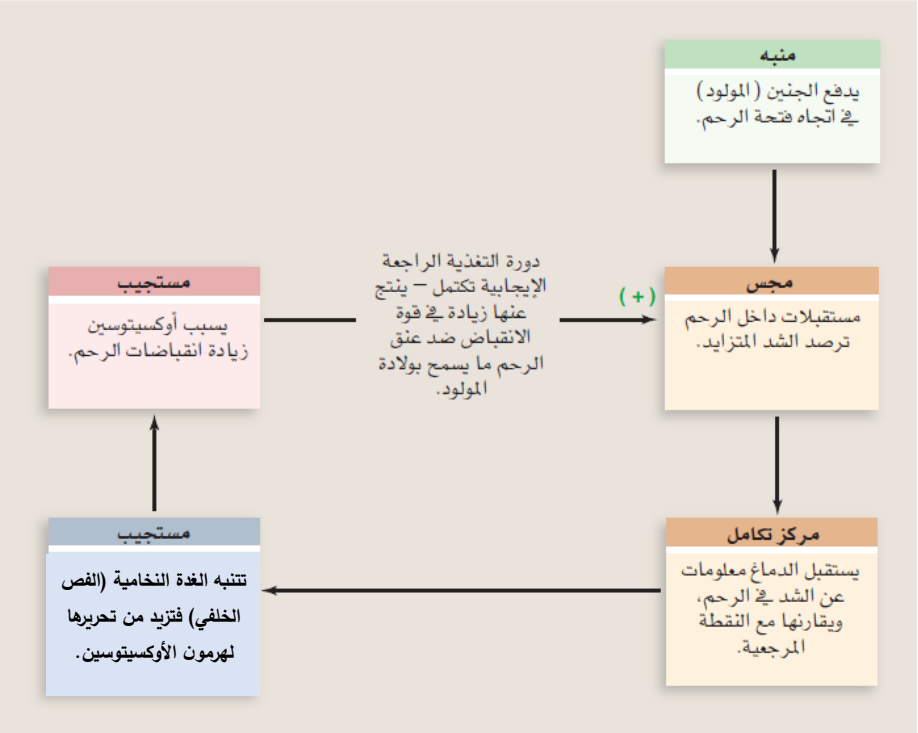
فكّر ثم أجب:

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 (8)، 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 (8): يوضح دور التلقيم الراجع الإيجابي أثناء الولادة.

انتهت المحاضرة ... بالتوفيق للجميع