

## مدخل إلى الفيزيولوجيا

### التنظيم الوظيفي لجسم الانسان والتحكم في المحيط الداخلي

تهتم الفيزيولوجيا البشرية بالميزات والآليات الخاصة التي تجعل من جسم الإنسان كائناً حياً. إن بقاء الانسان حياً هو خارج نطاق سيطرته حيث أن الجوع هو الذي يدفع الانسان لتناول الطعام، ويدفعه الخوف للبحث عن ملجأ، والاحساس بالبرد على تدفئة جسمه، بالإضافة إلى وجود دوافع تدفعه للبحث عن الرفقة والتوالد.

لكي يستمر الكائن الحي الفرد والنوع لابد من قيامه بجملة وظائف:

1. التغذية: تحتاج جميع الكائنات الحية إلى امداد مستمر ومناسب من المواد الغذائية طيلة حياتها تأخذها من الوسط المحيط وتستهملها في انتاج الطاقة التي يحتاجها الفرد في انجاز أنشطته الحيوية المختلفة. ويستعمل بعضها الآخر في عمليات البناء والنمو والتكاثر وصيانة الأنسجة وتنظيم فعاليته الفيزيولوجية.
2. النمو: ويقصد به الزيادة في كتلة وحجم الكائن الحي المصحوبة بالتغيرات الشكلية والبنوية لمختلف أعضاء الجسم خلال مراحل حياته.

يحصل النمو على المستوى الخلوي بتركيب مواد عضوية تضاف إلى بروتوبلاسم الخلية.

في حين يحصل النمو على مستوى الفرد ككل بزيادة عدد الخلايا بفضل عملية الانقسام الخلوي وتكوين خلايا جديدة يزداد حجمها حتى يصل إلى حجم الخلية الأم وذلك بفضل بناء مكونات البروتوبلاسم والتراكيب الخلوية. وتكرر عملية الانقسام والزيادة في الحجم في بعض الخلايا، بينما تتميز الخلايا الأخرى لتأخذ شكلاً وحجماً معيناً، يحددها نوع النسيج الذي تكونه هذه الخلايا والوظيفة التي ستقوم بها.

3. التكاثر: وهو ظاهرة مميزة للكائنات الحية ويتم من خلاله تكوين أفراد جديدة مشابهة للأبوين في معظم الصفات. ومن خلال هذه الظاهرة يتم الحفاظ على النوع وحمايته من الانقراض.

4. الاحساس والحركة: الشعور بالمؤثرات الخارجية والداخلية التي يتعرض لها في بيئته والاستجابة لها في الحركة والتنقل. ويتم ذلك بفضل أعضاء الحس والجهاز العصبي المركزي والعضلات.

5. التكيف مع الظروف البيئية: ويقصد بذلك قدرة الكائن الحي على التفاعل مع البيئة المحيطة به والتكيف مع متغيراتها ليتمكن من الاستمرار في الحياة.

## الخلايا كوحدات حية في الجسم:

تكوّن الخلية الوحدة الأساسية للجسم ويتكون كل عضو من أعضاء الجسم من تجمعات عديدة من مختلف أنواع الخلايا المتماصة مع بعضها البعض بواسطة تراكيب بين خلوية داعمة، ويتكيف كل نوع من أنواع الخلايا للقيام بوظيفة معينة خاصة به.

على الرغم من اختلاف خلايا الجسم عن بعضها إلا أنها تمتلك صفات متشابهة من حيث توليد الطاقة واستقلاب المغذيات والتكاثر. إن كل خلية من هذه الخلايا يحتاج إلى تبادل مستمر للعديد من المواد بينها وبين البيئة المحيطة وذلك لضمان حياتها وضمان استمرارها في إنجاز وظائفها فكل منها يحتاج إلى مواد غذائية وماء وأملاح وأوكسجين ومواد أخرى تأخذها من الوسط المحيط، وبالمقابل تطرح في محيطها فضلات مختلفة يجب التخلص منها.

يتم هذا التبادل بين خلايا الجسم بمساعدة أجهزة متخصصة (جهاز الهضم، جهاز التنفس، جهاز الدوران وجهاز الاطراح). تنتقل المواد بين الأجهزة المساعدة وخلايا الجسم عبر الدوران المستمر لسوائل الجسم الذي يؤمن نقل جميع المركبات الخلوية بين أعضاء الجسم فيما بينها من جهة وبينها وبين الوسط الخارجي من جهة أخرى عبر الأجهزة المساعدة.

## مفهوم الوسط الداخلي وأهميته:

تكون السوائل 60% من جسم الإنسان البالغ (ماء، شوارد ومواد أخرى).

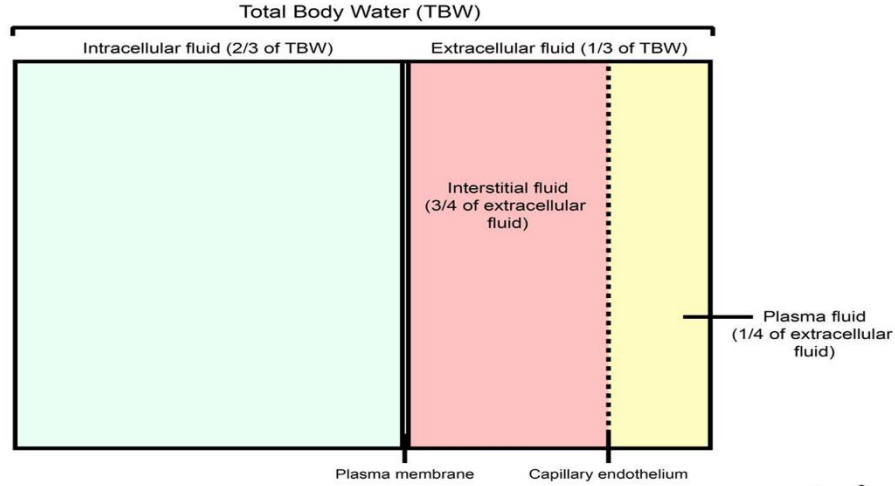
إن أغلب هذا السائل هو داخل الخلايا (intracellular fluid) ويتواجد ثلثه خارج الخلايا ويسمى السائل خارج الخلوي (extracellular fluid) وهو يشكل المحيط الداخلي للجسم (internal environment). يحتوي هذا السائل على الشوارد والمغذيات التي تحتاجها الخلية لإدامة حياتها.

تتمكن الخلايا من العيش والنمو والقيام بوظائفها الخاصة ما دام هناك تركيز مناسب من الأوكسجين والغلوكوز والشوارد المختلفة والحموض الأمينية والمواد الدهنية الكافية في هذا المحيط.

السائل داخل الخلوي: وهو السائل الموجود داخل حدود كل خلية من خلايا الجسم وهو يتكون بمعظمه من ماء تنحل فيه العديد من المركبات العضوية (بروتينات منحلّة وحموض أمينية، نيكليوتيدات، نكليوزيدات، أنواع الـ RNA الرسول والناقل والريبوزومي، حموض دسمة، سكريات أحادية وعدداً آخر من المركبات العضوية في مراحل استقلاب مختلفة) ومواد لا عضوية (شوارد معدنية موجبة وسالبة وجزيئات كيميائية مختلفة). تختلف نسبة الماء داخل الخلية باختلاف نوع النسيج حيث يمكن أن تصل إلى 85% من كتلة الخلية وتعود النسبة الباقية إلى المواد العضوية واللاعضوية.

السائل خارج الخلوي: يحيط بخلايا الجسم ويتوزع بدوره إلى سائل نسيجي (أو بيني أو خلالي interstitial fluid) وسائل ينتقل ضمن أوعية ناقلة دموية أو لمفاوية وهو يشكل البيئة الداخلية internal environment الذي تتواجد فيه الخلايا وتعيش فيه حياة معزولة ومستقرة ومحمية من تقلبات البيئة الخارجية.

### Body Fluid Compartments



© Lineage

Moises Dominguez  
Moises Dominguez

يحتوي السائل خارج الخلوي على كميات كبيرة من شوارد الصوديوم والكلور والبيكربونات بالإضافة إلى المغذيات الضرورية للخلايا كالأوكسجين والغلوكوز والحموض الأمينية والدهنية. كما يحتوي على ثاني أوكسيد الكربون الذي ينقل من الخلايا إلى الرئتين ليطرح خارج الجسم وعلى نواتج خلوية أخرى تنقل إلى الكليتين لتطرح خارجاً.

يختلف السائل داخل الخلايا اختلافاً كبيراً عن السائل خارج الخلوي باحتوائه على كميات كبيرة من شوارد البوتاسيوم والمغنيزيوم والفوسفات بدلاً من الصوديوم والكلور الموجودة في السائل خارج الخلوي.

	Plasma	Interstitial fluid	Intracellular fluid
Na <sup>+</sup>	142	144	10
K <sup>+</sup>	4	4	160
Ca <sup>2+</sup>	2.5	2.5	1.5
Mg <sup>2+</sup>	1.0	0.5	13
Cl <sup>-</sup>	102	114	2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26	30	8
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.0	1.0	57
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.5	0.5	10
Organic acid	3	4	3
Protein	16	0	55

من المؤكد أن الخلايا تضمن استمرار حياتها إذا استمر استقرار مكونات الوسط الداخلي واستمر تبادل المواد بين الخلايا والوسط الداخلي من جهة وبين الوسط الداخلي والبيئة الخارجية من جهة أخرى. حيث أن تبادل المواد مع الوسط الخارجي يسمح بتجديد مكونات الوسط الداخلي ويسمح بإمداد الخلايا بحاجاتها من المواد التي تضمن استمرار حياتها وتجديدها وقيامها بوظائفها على الوجه الأكمل.

يتم النقل عبر الغشاء الخلوي بإحدى الطرق التالية:

- الانتشار Diffusion: عبر الطبقات الدسمة (الانتشار البسيط)، أو عبر القنوات البروتينية (الانتشار الميسر)، لا يحتاج إلى طاقة، يتم حسب المدرج الكهربائي أو الكيميائي.
- النقل الفاعل Active Transport: يتم بالارتباط بالناقل البروتينية ويكون عادة من منطقة منخفضة التركيز إلى منطقة عالية التركيز، وبالتالي يحتاج إلى طاقة لإتمام عملية النقل.

تعمل أجهزة الجسم جاهدة للحفاظ على ثبات خصائص البيئة الداخلية وذلك لضمان حياة الخلايا وحياة الكائن الحي. وبشكل عام يتم الحفاظ على حالة الكمال واستقرار حياة الكائن الحي من خلال تدخل جهازين أساسيين. يعمل الجهاز الأول وهو الجهاز المناعي على مقاومة الجراثيم والأشكال الغريبة التي تجتاح الجسم ويعمل الجهاز الثاني على تنظيم المتغيرات الفيزيائية والكيميائية للوسط الداخلي التي تضمن الحفاظ على استقرار مكوناته ضمن حدود معينة وهذا ما يعرف بالاستتباب.

#### مفهوم الاستتباب والعوامل التي تتدخل في تنظيمه:

الاستتباب Homeostasis هو مصطلح يعني استمرار سكونية أو ثبات الشروط في الوسط الداخلي ويتم ذلك بتدخل آليات قادرة على تعديل المتغيرات وذلك بمشاركة جميع أعضاء الجسم ونسجه التي تعمل على إنجاز مجموعة من الوظائف تساعد على الإبقاء على الشروط المستتابة للوسط الداخلي. وبفضل استقرار شروط

الوسط الداخلي تستمر خلايا الجسم بالعمل والعيش بشكل مناسب ويصبح الكائن الحي أقل حساسية لتبدلات شروط البيئة المحيطة بالجسم. وبذلك فإن كل خلية تستفيد من حالة الاستتباب وإن كل خلية تساهم بدورها في المحافظة على الاستتباب. وإذا فقد جهاز وظيفي أو أكثر قدرته على المساهمة في ضبط الاستتباب ستعاني معظم خلايا الجسم من ذلك مما يؤدي إلى ظهور الأعراض المرضية وربما الموت.

يتم المحافظة على ثباتية شروط الوسط الداخلي نسبياً بفضل تدخل الجمل التالية:

1. الكاشفات detectors: وهي أنماط مختلفة من المستقبلات النوعية التي يستجيب كل منها لمتغيرات معينة أو ما يسمى بالمنبهات (stimuli) في الوسط الداخلي أو الخارجي للجسم حيث تعمل من خلال تحويل طاقة المنبه إلى سيالات عصبية حسية ترسلها عبر الألياف العصبية الواردة afferent إلى الجهاز العصبي المركزي.
2. آليات التنسيق والتكامل وتتم بتنظيم عصبي أو هرموني حيث تتلقى المراكز العصبية معلوماتها من المستقبلات وتنسقها وتعالجها وتقدر مدى التغيرات في الوسط الداخلي ونوعها، ومن ثم ترسل الأوامر إلى الجمل الفاعلة من عضلات و غدد عبر الأعصاب الصادرة efferent.
3. الفاعلات effector: وهي الجمل المنفذة في الجسم وتشمل الغدد والعضلات التي تساهم في انجاز العديد من الوظائف الخاصة ومنها المساهمة في تأمين الوظائف الاستتبابية. حيث تستجيب الغدد للإيعازات العصبية بعملية الإفراز وأما العضلات فتستجيب بالتقلص.

يساهم جهاز التنفس في استتباب الوسط الداخلي للجسم من خلال تزويده بالأكسجين للتعويض عن الكمية التي تستهلكها الخلايا في تفاعلاتها الاستقلابية المنتجة للطاقة الحيوية، كما ويعمل جهاز التنفس على تخليص الجسم من ثاني أكسيد الكربون الذي تنتجه الخلايا وتطرحه في السائل النسيجي. ويساهم القلب وجهاز الدوران الدموي واللمفاوي عبر الدم واللمف بامتصاص الماء والمغذيات من الأنبوب الهضمي ونقلها إلى خلايا الجسم كما ويؤمن الدم نقل الغازات التنفسية بين أعضاء الجسم والرئتين ونقل الهرمونات من مصدرها إلى الخلايا المستهدفة في الجسم. وتعمل الكليتان على تخليص الجسم من الماء الزائد والشوارد وبعض المنتجات الاستقلابية للخلايا. كما ويعمل الكبد على تخليص الجسم من بعض المركبات عبر طرحها مع العصارة الصفراوية في أنبوب الهضم.

أجهزة التحكم في الجسم:

يحوي الجسم البشري آلافاً من أجهزة التحكم ويعد الجهاز الوراثي أكثر الأجهزة تعقيداً فهو يعمل في جميع الخلايا للتحكم بالوظائف داخل وخارج الخلايا على السواء. وتعمل العديد من أجهزة التحكم الأخرى في مختلف الأعضاء للتحكم في وظائفها الخاصة بينما تعمل أجهزة أخرى على مستوى كامل الجسم لتنظيم العلاقات المتبادلة بين الأعضاء.

أمثلة عن آليات التحكم:

تنظيم الضغط الشرياني:

تسهم أجهزة مختلفة في تنظيم الضغط الشرياني منها جملة مستقبلات الضغط baroreceptor system المتواجدة في جدر معظم الشرايين الكبيرة في القسم العلوي من الجسم وخاصة في منطقة تفرع السباتي carotid sinus baroreceptors وقوس الأبهري.

تتنبه هذه المستقبلات عند ازدياد الضغط الشرياني وتنقل التنبيهات إلى البصلة في الدماغ، وهناك تثبط هذه الدفعات المركز المحرك الوعائي vasomotor center والذي ينقص بدوره عدد الدفعات المنقولة عبر الجهاز العصبي الودي إلى القلب والأوعية الدموية. نقص هذه الدفعات يضعف فعالية ضخ القلب ويزيد سهولة جريان الدم عبر الأوعية المحيطية وكلاهما يخفض الضغط الشرياني إلى سويته. وبالعكس فإن هبوط الضغط الشرياني يريح مستقبلات الضغط سامحاً للمركز المحرك الوعائي أن يصبح أكثر نشاطاً من المعتاد وبذلك يسبب ارتفاع الضغط الشرياني إلى سويته الأولى.

خصائص أجهزة التحكم:

تعمل معظم أجهزة التحكم في الجسم بآلية التلقين الراجع السلبي Negative Feedback ويعني ذلك إذا ابتعدت بعض متغيرات الوسط الداخلي عن الحدود الطبيعية زيادة أو نقصاناً تتدخل أجهزة التحكم في الجسم بجملة من ردود الفعل التي تعمل على إعادة هذا المتغير إلى قيمته الطبيعية بآلية التلقين الراجع السلبي وذلك حفاظاً على حالة الاستتباب المرتبطة به.

يمكن إيضاح دور أجهزة التحكم في استتباب الوسط الداخلي بآلية التغذية الراجعة السلبية من خلال الأمثلة التالية:

آلية تنظيم تركيز CO<sub>2</sub> في الوسط الداخلي: يؤدي ارتفاع تركيز CO<sub>2</sub> في الدم والسائل الخلالي إلى تنبيه المراكز العصبية التنفسية لزيادة عمليات التهوية الرئوية للتخلص من القدر الزائد من CO<sub>2</sub> وهي بذلك تعمل على خفض تركيز CO<sub>2</sub> في الوسط خارج الخلوي. أي أن زيادة CO<sub>2</sub> يؤدي عبر جملة التحكم والتنظيم إلى خفض تركيزه لذلك يدعى هذا بالتلقين الراجع السلبي. وعلى العكس ينتج عن انخفاض تركيز CO<sub>2</sub> في الدم والسائل النسيجي إلى دفع جملة التحكم والتنظيم إلى زيادة تركيزه بتلقين راجع سلبي ولكنه معاكس للأول.

ومن الأمثلة الأخرى: تنظيم نسبة السكر في الوسط الداخلي للجسم، تنظيم درجة حرارة الجسم، تنظيم درجة حموضة الوسط الداخلي وتنظيم الضغط الشرياني.

لا تعمل جميع أجهزة التحكم في الجسم على مبدأ التلقيح الراجع السلبي بل يعمل بعضها على مبدأ التلقيح الراجع الايجابي Positive Feedback بمعنى أن التنبيه البدئي المعني بإنجاز وظيفة معينة قد يسبب زيادة من نوعية المنبه ذاته.

مثال: دور البروترومبين أثناء عملية التخثر الذي يشكل دائرة تلقيح راجع ايجابي حيث يعزز انتاج نفسه ويعزز بالتالي عملية التخثر ولكن هذه الدارة الايجابية تكون مراقبة من قبل دائرة تلقيح راجع سلبي توقفها في اللحظة المناسبة ففي مثال الترومبين، يعمل الفيبرين الذي يشكل المنتج الأخير لعملية التخثر على امتصاص الترومبين وبالتالي يوقف دائرة التلقيح الراجع الايجابي.

إن التلقيح الراجع الايجابي لا يؤدي إلى الاستقرار بل إلى عدم الاستقرار وغالباً الموت. مثال: يضخ قلب الانسان السوي حوالي 5 لترات من الدم في الدقيقة فإذا ما نزع الشخص فجأة حوالي لترين من الدم فإن كمية الدم في الجسم ستنقص إلى درجة كبيرة وغير كافية ليضخها القلب بفعالية وبالنتيجة يهبط الضغط الشرياني ويضعف جريان الدم إلى العضلة القلبية عبر الأوعية الإكليلية ويتبع اضعاف للقلب وبالتالي إنقاص أكبر للضخ ومن ثم إنقاص أكثر لجريان الدم الإكليلي واضعاف أكثر للقلب وتبقى هذه الحلقة تكرر نفسها مرات ومرات حتى الموت. ويلاحظ ان كل دورة في التلقيح الراجع الايجابي تضعف القلب أكثر من سابقتها وبمعنى آخر فالتنبيه البدئي يسبب زيادة من نوعية المنبه نفسه وهذا هو التلقيح الراجع الايجابي. ويعرف التلقيح الراجع الايجابي بالحلقة المفرغة Vicious Cycle

تستطيع آليات التحكم بالتلقيح الراجع السلبي أن تتغلب على الدرجات المتوسطة من التلقيح الراجع الايجابي وبالتالي تقطع الطريق أمام تكامل وتطور الحلقة المفرغة.