PHYSIOLOGY

FACULTY OF PHARMACEUTICAL SCIENCES
DR. AMJAAD ZUHIER ALROSAN

LECTURE 11, PARTS (1) & (2): FLUID COMPARTMENTS

Objectives

1. Discuss **fluid compartments and fluid homeostasis.**

2. Explore **electrolytes in body fluids.**

(Pages 1024- 1037 of the reference)

FLUID COMPARTMENTS AND FLUID HOMEOSTASIS

في البالغين النحيفين، تُشكل سوائل الجسم ما بين 55% و60% من إجمالي كتلة الجسم لدى الإناث والذكور على التوالي.

- In lean adults, **body fluids constitute between 55% and 60%** of total body mass **in females and males**, respectively.

توجد سوائل الجسم في "مقصورتين" رئيسيتين: داخل الخلايا وخارجها. حوالي ثلثي سوائل الجسم عبارة عن سائل داخل الخلايا (ICF) أو العصارة الخلوية، وهو السائل الموجود داخل الخلايا. أما الثلث الآخر، ويسمى السائل خارج الخلية (ECF)، فهو خارج الخلايا ويشمل جميع سوائل الجسم الأخرى.

- **Body fluids are present in two main "compartments"—inside cells and outside cells.** About two-thirds of body fluid is **intracellular fluid (ICF)** or cytosol, the fluid within cells. The other third, called **extracellular fluid (ECF)**, is outside cells and includes all other body fluids.

- **About 80% of the ECF is interstitial fluid**, which occupies the microscopic spaces between tissue cells, and **20% of the ECF is plasma, the liquid portion of the blood.**

حوالي 80% من ECF عبارة عن سائل خلالي، والذي يشغل المساحات المجهرية بين خلايا الأنسجة، و20% من ECF عبارة عن بلازما، الجزء السائل من الدم.

FLUID COMPARTMENTS AND FLUID HOMEOSTASIS

- **Two general "barriers" separate intracellular fluid, interstitial fluid, and blood plasma:**

يوجد حاجزان عامان يفصلان السائل داخل الخلايا، والسائل الخلالي، وبلازما الدم:

1. **The plasma membrane** of individual cells separates intracellular fluid from the surrounding interstitial fluid.

1. يفصل الغشاء البلازمي للخلايا الفردية السائل داخل الخلايا عن السائل الخلالي المحيط به.

2. **Blood vessel walls** divide the interstitial fluid from blood plasma.

2. تفصل جدران الأوعية الدموية السائل الخلالي عن بلازما الدم.

- The term body fluid refers to body water and its dissolved substances.

يشير مصطلح سائل الجسم إلى ماء الجسم ومواده المذابة.

- The body is in fluid balance when the required amounts of water and solutes are present and are correctly proportioned among the various compartments.

يكون الجسم في حالة توازن سوائل عندما تتوفر الكميات المطلوبة من الماء والمواد المذابة وتكون متناسبة بشكل صحيح بين الأجزاء المختلفة.

- Water is by far the largest single component of the body.

> الماء هو إلى حد بعيد أكبر مكون منفرد في الجسم.

FLUID COMPARTMENTS AND FLUID HOMEOSTASIS

تسمح عمليات الترشيح، وإعادة الامتصاص، والانتشار، والتناضح
بالتبادل المستمر للماء والمواد المذابة بين حجرات سوائل الجسم.

- The processes of **filtration, reabsorption, diffusion, and osmosis** allow continual exchange of water and solutes among body fluid compartments.

بما أن معظم المواد المذابة في سوائل الجسم عبارة عن إلكتروليتات، وهي مركبات غير عضوية تتفكك إلى أيونات، فإن توازن السوائل يرتبط ارتباطًا وثيقًا بتوازن الإلكتروليتات.

- Because **most solutes in body fluids** are electrolytes, inorganic compounds that dissociate into ions, fluid balance is closely related to electrolyte balance.

- **Because intake of water and electrolytes rarely occurs in exactly the same proportions as their presence in body fluids, the ability of the kidneys to excrete excess water by producing dilute urine, or to excrete excess electrolytes by producing concentrated urine, is of utmost importance in the maintenance of homeostasis.**

نظرًا لأن تناول الماء والشوارد نادرًا ما يكون بنفس نسب وجودها في سوائل الجسم، فإن قدرة الكلى على إخراج الماء الزائد عن
طريق إنتاج بول مخفف، أو إخراج الشوارد الزائدة عن طريق إنتاج بول مركّز، لها أهمية قصوى في الحفاظ على التوازن الداخلي.

SOURCES OF BODY WATER GAIN AND LOSS

- The main sources of body water are **ingested liquids (about 1600 mL)** and **moist foods (about 700 mL)** absorbed from the gastrointestinal (GI) tract, which **total about 2300 mL/day**.

المصادر الرئيسية لمياه الجسم هي السوائل المبتلعة (حوالي 1600 مل) والأطعمة الرطبة (حوالي 700 مل) الممتصة من الجهاز الهضمي (GI)، والتي يبلغ مجموعها حوالي 2300 مل / يوم.

- The other source of water is **metabolic water** that is **produced in the body mainly when electrons are accepted by oxygen during aerobic respiration**.

المصدر الآخر للمياه هو الماء الأيضي الذي يتم إنتاجه في الجسم بشكل رئيسي عندما يتم قبول الإلكترونات بواسطة الأكسجين أثناء التنفس الهوائي.

- Normally, **body fluid volume remains constant because water loss equals water gain. Water loss occurs in four ways.** Each day **the kidneys excrete** about 1500 mL in urine, the **skin evaporates** about 600 mL (400 mL through insensible perspiration— sweat that evaporates before it is perceived as moisture—and 200 mL as sweat), the **lungs exhale** about 300 mL as water vapor, and the **gastrointestinal tract eliminates** about 100 mL in feces. In women of reproductive age, **additional water is lost in menstrual flow**. On average, daily water loss totals about 2500 mL.

عادة، يظل حجم سوائل الجسم ثابتًا لأن فقدان الماء يساوي اكتساب الماء. يحدث فقدان الماء بأربع طرق. تفرز الكلى كل يوم حوالي 1500 مل في البول، ويتبخر الجلد حوالي 600 مل (400 مل من خلال العرق غير المحسوس - العرق الذي يتبخر قبل أن يتم إدراكه على أنه رطوبة - و200 مل على شكل عرق)، وتزفر الرئتان حوالي 300 مل على شكل بخار ماء، ويتخلص الجهاز الهضمي من حوالي 100 مل في البراز. عند النساء في سن الإنجاب، يتم فقدان كمية إضافية من الماء أثناء تدفق الدورة الشهرية. في المتوسط، يبلغ إجمالي فقدان الماء يوميًا حوالي 2500 مل.

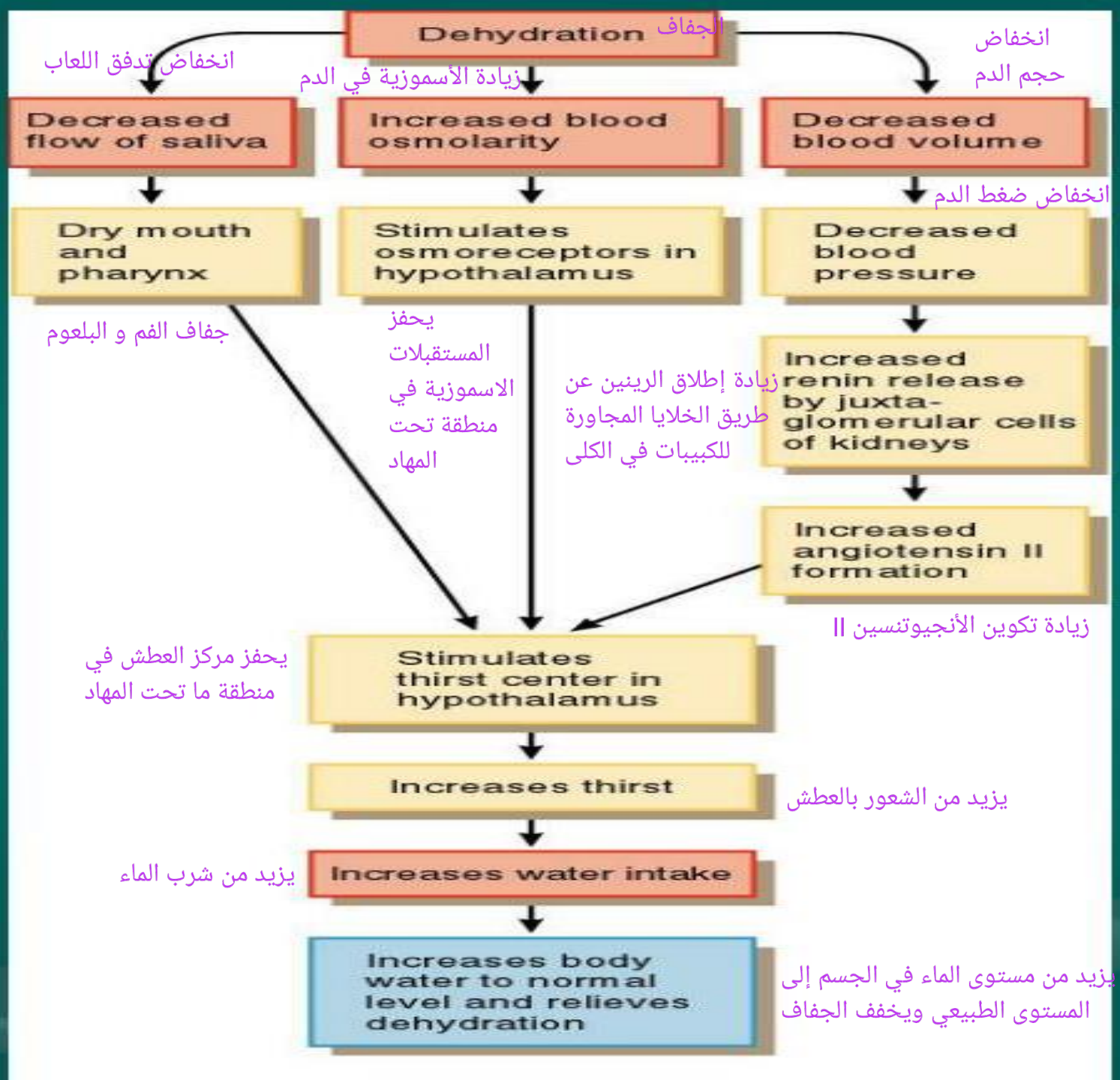
REGULATION OF BODY WATER GAIN

- **An area in the hypothalamus known as the thirst center governs the urge to drink.**

تتحكم منطقة في منطقة تحت المهاد تُعرف بمركز العطش في الرغبة في الشرب.

- ✓ **When water loss is greater than water gain, dehydration—a decrease in volume and an increase in osmolarity of body fluids— stimulates thirst.**

عندما يكون فقدان الماء أكبر من اكتسابه، فإن الجفاف - وهو انخفاض في حجم سوائل الجسم وزيادة في تركيزها الأسمولي - يُحفز الشعور بالعطش.


Dehydration
الجفاف
انخفاض تدفق اللعاب
زيادة الأسموزية في الدم
انخفاض
حجم الدم
Decreased flow of saliva
Increased blood osmolarity
Decreased blood volume
انخفاض ضغط الدم
Dry mouth and pharynx
Stimulates osmoreceptors in hypothalamus
Decreased blood pressure
جفاف الفم و البلعوم
يحفز
المستقبلات
الاسموزية في
منطقة تحت
المهاد
زيادة إطلاق الرينين عن
طريق الخلايا المجاورة
للكبيبات في الكلى
Increased renin release by juxta-glomerular cells of kidneys
Increased angiotensin II formation
زيادة تكوين الأنجيوتنسين II
يحفز مركز العطش في
منطقة ما تحت المهاد
Stimulates thirst center in hypothalamus
Increases thirst
يزيد من الشعور بالعطش
يزيد من شرب الماء
Increases water intake
Increases body water to normal level and relieves dehydration
يزيد من مستوى الماء في الجسم إلى
المستوى الطبيعي ويخفف الجفاف

REGULATION OF WATER AND SOLUTE LOSS

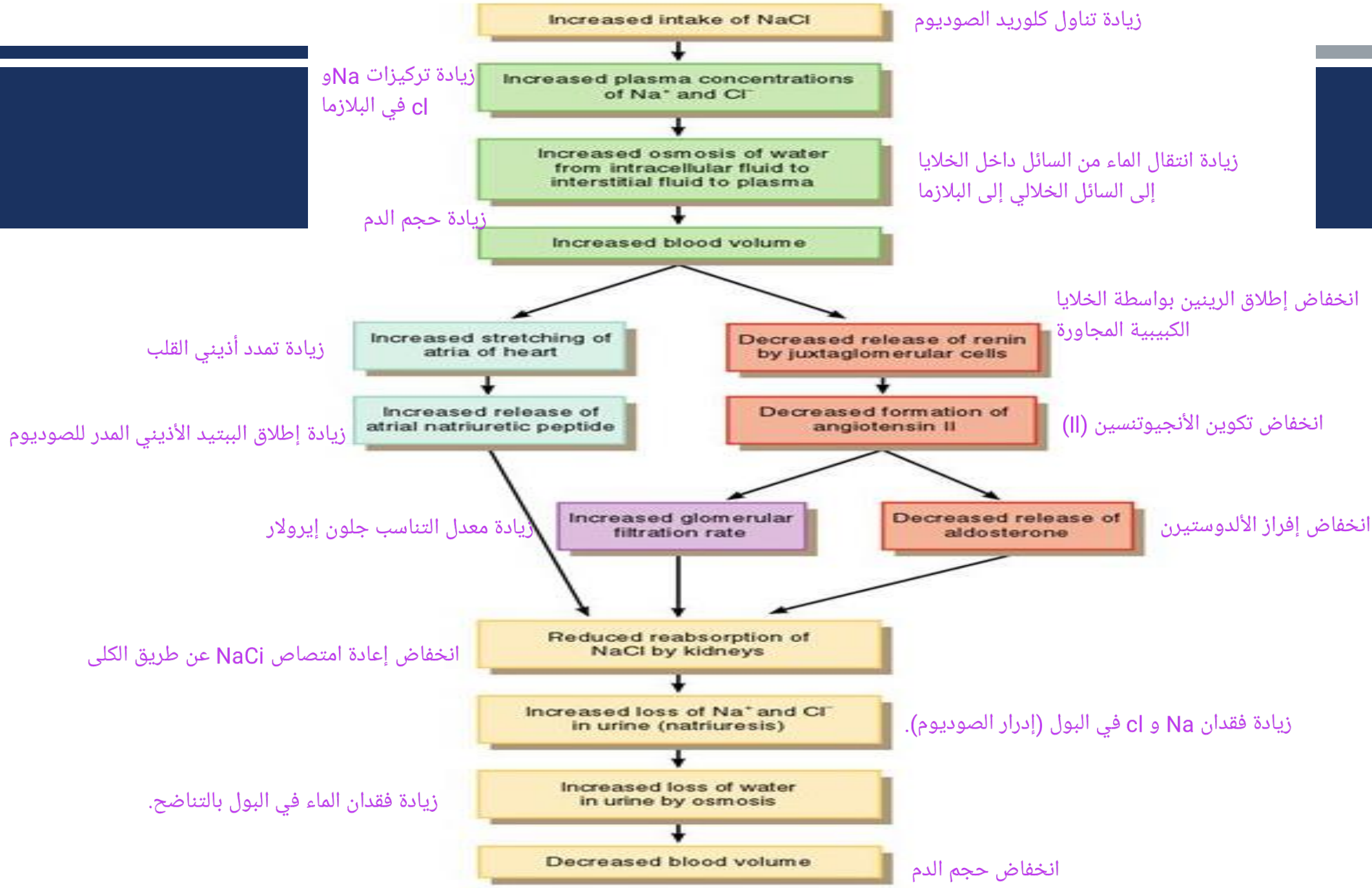
تنظيم فقدان الماء والمواد المذابة

على الرغم من أن فقدان الماء والمواد المذابة من خلال التعرق والزفير يزداد أثناء ممارسة الرياضة، إلا أن التخلص من الماء الزائد أو المواد المذابة في الجسم يحدث بشكل رئيسي عن طريق التحكم في فقدانها في البول.

Even though the loss of water and solutes through sweating and exhalation increases during exercise, elimination of excess body water or solutes occurs mainly by control of their loss in urine.

يُعد مقدار فقدان ملح البول (كلوريد الصوديوم) العامل الرئيسي الذي يحدد حجم سوائل الجسم. أهم ثلاثة هرمونات تنظم مدى إعادة امتصاص أيونات الصوديوم والكلوريد الكلوية (وبالتالي مقدار فقدانها في البول) هي الأنجيوتنسين II، والألدوستيرون، والببتيد الأذيني المدر للصوديوم (ANP).

The extent of urinary salt (NaCl) loss is the main factor that determines body fluid volume. The three most important hormones that regulate the extent of renal sodium and chloride ions reabsorption (and thus how much is lost in the urine) are angiotensin II, aldosterone, and atrial natriuretic peptide (ANP).


Increased intake of NaCl
زيادة تناول كلوريد الصوديوم
Increased plasma concentrations of Na+ and Cl−
زيادة تركيزات Naو cl في البلازما
Increased osmosis of water from intracellular fluid to interstitial fluid to plasma
زيادة انتقال الماء من السائل داخل الخلايا إلى السائل الخلالي إلى البلازما
Increased blood volume
زيادة حجم الدم
Increased stretching of atria of heart
زيادة تمدد أذيني القلب
Decreased release of renin by juxtaglomerular cells
انخفاض إطلاق الرينين بواسطة الخلايا الكبيبية المجاورة
Increased release of atrial natriuretic peptide
زيادة إطلاق الببتيد الأذيني المدر للصوديوم
Decreased formation of angiotensin II
انخفاض تكوين الأنجيوتنسين (II)
Increased glomerular filtration rate
زيادة معدل التناسب جلون إيرولار
Decreased release of aldosterone
انخفاض إفراز الألدوستيرن
Reduced reabsorption of NaCl by kidneys
انخفاض إعادة امتصاص NaCi عن طريق الكلى
Increased loss of Na+ and Cl− in urine (natriuresis)
زيادة فقدان Na و cl في البول (إدرار الصوديوم).
Increased loss of water in urine by osmosis
زيادة فقدان الماء في البول بالتناضح.
Decreased blood volume
انخفاض حجم الدم

Summary of Factors That Maintain Body Water Balance

FACTOR	MECHANISM	EFFECT
مركز العطش في منطقة ما تحت المهاد Thirst center in hypothalamus	يحفز الرغبة في شرب السوائل. Stimulates desire to drink fluids.	اكتساب الماء إذا روى العطش. Water gain if thirst is quenched.
Angiotensin II	يحفز إفراز هرمون الألدوستيرون. Stimulates secretion of aldosterone.	يقلل من فقدان الماء في البول. Reduces loss of water in urine.
Aldosterone	من خلال تعزيز إعادة امتصاص Nat وCl في البول. يزيد من إعادة امتصاص الماء عن طريق التناضح. By promoting urinary reabsorption of Na^+ and Cl^-, increases water reabsorption via osmosis.	Reduces loss of water in urine. يقلل من فقدان الماء في البول.
Atrial natriuretic peptide (ANP)	يعزز إدرار البول، وارتفاع إفراز Na (وCl) في البول، مصحوبًا بالماء. Promotes natriuresis, elevated urinary excretion of Na^+ (and Cl^-), accompanied by water.	Increases loss of water in urine. يزيد من فقدان الماء في البول.
Antidiuretic hormone (ADH), also known as vasopressin	يعزز إدخال بروتينات القنوات المائية (أكوابورين-2) في الأغشية القمية للخلايا الخلايا الرئيسية في القنوات الجامعة في الكلى. ونتيجة لذلك، تزداد نفاذية الماء لهذه الخلايا ويتم إعادة امتصاص المزيد من الماء. Promotes insertion of water-channel proteins (aquaporin-2) into the apical membranes of principal cells in the collecting ducts of the kidneys. As a result, the water permeability of these cells increases and more water is reabsorbed.	Reduces loss of water in urine. يقلل من فقدان الماء في البول.

MOVEMENT OF WATER BETWEEN BODY FLUID COMPARTMENTS

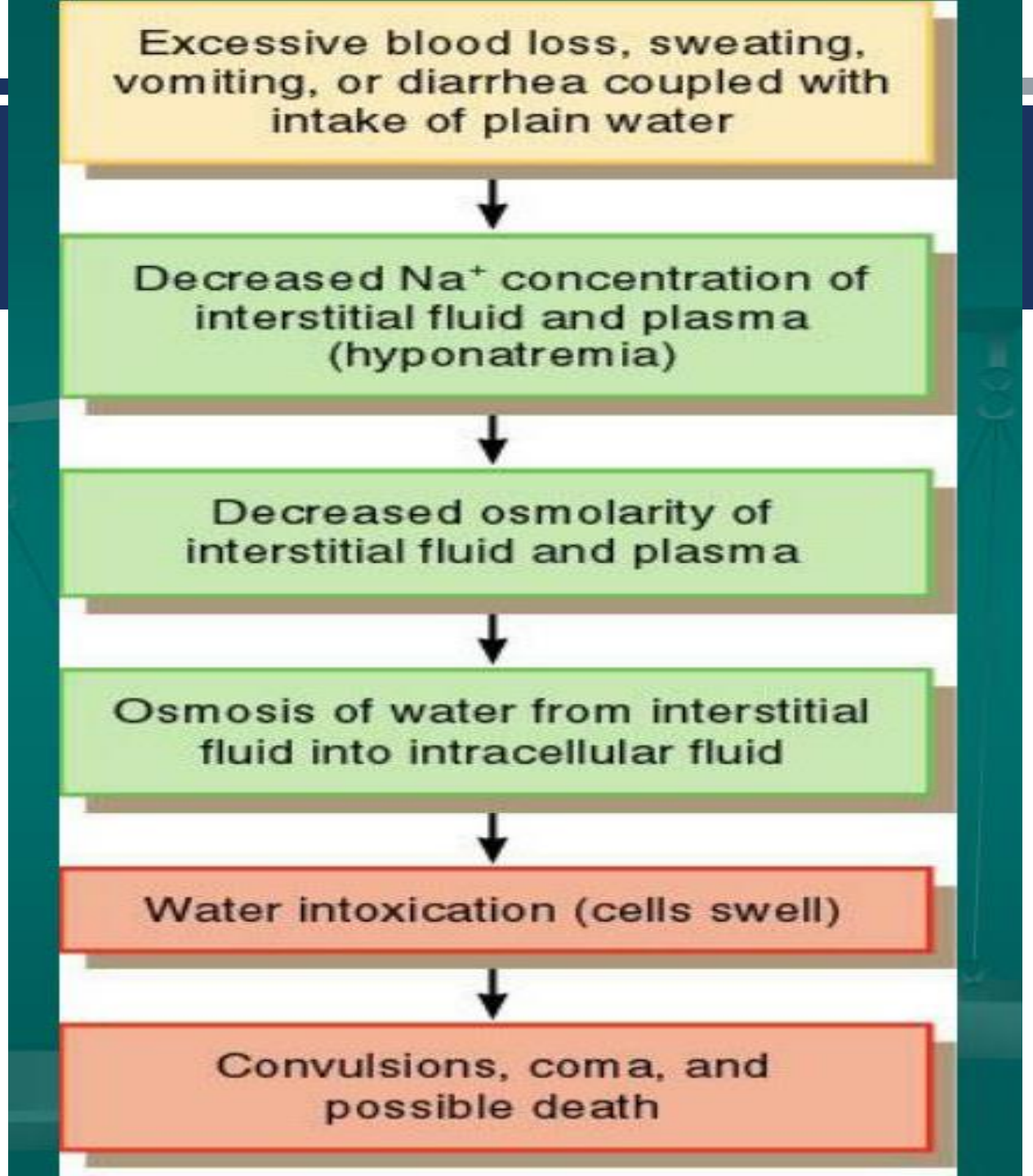
في الحالة الطبيعية، لا تنكمش الخلايا ولا تنتفخ، لأن السوائل داخل الخلايا والسوائل الخلالية لها نفس الأسمولية. ومع ذلك، فإن التغيرات في الأسمولية للسائل الخلالي تسبب اختلال توازن السوائل. تؤدي الزيادة في الأسمولية للسائل الخلالي إلى سحب الماء من الخلايا، فتتقلص قليلاً. وعلى النقيض من ذلك، يؤدي انخفاض سمولية السائل الخلالي إلى تضخم الخلايا.

- Normally, **cells neither shrink nor swell because intracellular and interstitial fluids have the same osmolarity.** Changes in the osmolarity of interstitial fluid, however, cause fluid imbalances. An increase in the osmolarity of interstitial fluid draws water out of cells, and they shrink slightly. A decrease in the osmolarity of interstitial fluid, by contrast, causes cells to swell.

- **Water intoxication** is a state in which excessive body water causes cells to swell.

التسمم المائي هو حالة يتسبب فيها فرط الماء في الجسم في انتفاخ الخلايا.

فقدان دم مفرط، تعرق، قيء، أو إسهال، مصحوبًا بشرب الماء العادي.



انخفاض تركيز Na في السائل الخلالي والبلازما (نقص صوديوم الدم)

انخفاض الضغط الأسموزي في السائل الخلالي والبلازما.

تناضح الماء من السائل الخلالي إلى السائل داخل الخلايا.

التسمم المائي (انتفاخ الخلايا).

التشنجات، والغيبوبة، واحتمال الوفاة

ELECTROLYTES IN BODY FLUIDS

تؤدي الأيونات المتكونة عند ذوبان وتفكك الكهارل أربع وظائف عامة في الجسم.

- **The ions** formed when electrolytes dissolve and dissociate serve four general functions in the body.

< (١) نظرًا لاحتواء هذه الأيونات بشكل كبير على حجرات سوائل محددة، ولأنها أكثر عددًا من غير الإلكتروليتات، فإن بعض الأيونات تتحكم في تناضح الماء بين حجرات السوائل.

- (1) Because **they are largely confined to particular fluid compartments** and are more numerous than nonelectrolytes, certain ions control the osmosis of water between fluid compartments.

< (٢) تساعد الأيونات في الحفاظ على توازن الحمض والقاعدة اللازم للأنشطة الخلوية الطبيعية.

- (2) Ions **help maintain the acid– base balance required for normal cellular activities**.

< (٣) تحمل الأيونات تيارًا كهربائيًا، مما يسمح بإنتاج جهد الفعل والجهد المتدرج.

- (3) Ions **carry electrical current**, which allows production of action potentials and graded potentials.

< (4) تعمل العديد من الأيونات كعوامل مساعدة ضرورية للنشاط الأمثل للإنزيمات.

- (4) Several ions serve as **cofactors needed for optimal activity of enzymes**.

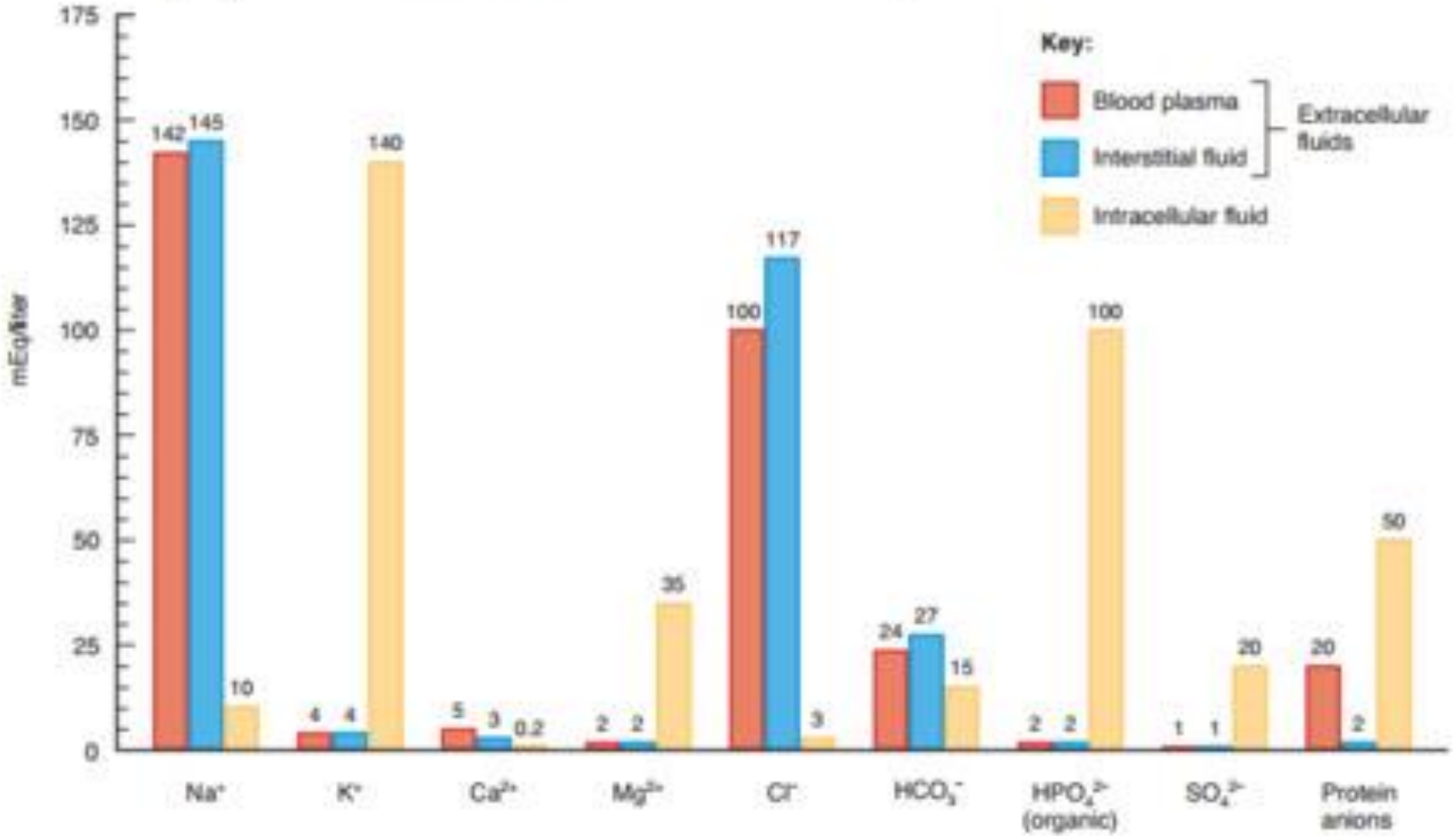
CONCENTRATIONS OF ELECTROLYTES IN BODY FLUIDS

- The **concentration of ions** is typically expressed in units of **milliequivalents per liter (mEq/liter).**These units give the concentration of cations or anions in a given volume of solution.

يُعبَّر عادةً عن تركيز الأيونات بوحدات الملي مكافئ لكل لتر (mEq/liter). تُعطي هذه الوحدات تركيز الكاتيونات أو الأنيونات في حجم مُحدد من المحلول.

Figure 27.6 Electrolyte and protein anion concentrations in plasma, interstitial fluid, and intracellular fluid. The height of each column represents milliequivalents per liter (mEq/liter).

The electrolytes present in extracellular fluids are different from those present in intracellular fluid.



SODIUM

أيونات الصوديوم هي الأيونات الأكثر وفرة في السائل خارج الخلية، حيث تمثل 90٪ من الكاتيونات خارج الخلية. التركيز الطبيعي لأيونات الصوديوم في بلازما الدم هو 136-148 ملي مكافئ/لتر.

- Sodium ions **are the most abundant ions** in extracellular fluid, accounting for 90% of the extracellular cations. **The normal blood plasma sodium ions concentration is 136–148 mEq/liter.**

تلعب أيونات الصوديوم دورًا محوريًا في توازن السوائل والكهارل لأنها تمثل ما يقرب من نصف الأسمولية للسائل خارج الخلية.

- Sodium ions plays a **pivotal role in fluid and electrolyte balance** because it accounts for almost half of the osmolarity of extracellular fluid.

يتم التحكم في مستوى أيونات الصوديوم في الدم عن طريق الألدوستيرون، والهرمون المضاد لإدرار البول (ADH)، والببتيد الأذيني المدر للصوديوم (ANP)

- The sodium ions level in the blood is **controlled by aldosterone, antidiuretic hormone (ADH), and atrial natriuretic peptide (ANP).**

يزيد الألدوستيرون من إعادة امتصاص الكلى لأيونات الصوديوم

- Aldosterone increases renal reabsorption of sodium ions.

- When the blood plasma concentration of sodium ions drops below 135 mEq/liter, a condition called **hyponatremia, ADH release ceases**.

عندما ينخفض تركيز أيونات الصوديوم في بلازما الدم إلى أقل من 135 ملي مكافئ/لتر، وهي حالة تسمى نقص صوديوم الدم، يتوقف إطلاق الهرمون المضاد لإدرار البول (ADH).

- The lack of ADH in turn permits **greater excretion of water in urine and restoration of the normal sodium ions level in ECF. Atrial natriuretic peptide increases sodium ions excretion by the kidneys when the sodium ions level is above normal, a condition called hypernatremia.**

يؤدي نقص ADH بدوره إلى زيادة إفراز الماء في البول واستعادة مستوى أيونات الصوديوم الطبيعي في ECF. يزيد الببتيد الأذيني المدر للصوديوم من إفراز أيونات الصوديوم عن طريق الكلى عندما يكون مستوى أيونات الصوديوم أعلى من المعدل الطبيعي، وهي حالة تسمى فرط صوديوم الدم.

CHLORIDE

أيونات الكلوريد هي الأنيونات الأكثر انتشارًا في السائل خارج الخلية.

- Chloride ions are the **most prevalent anions in extracellular fluid**.

يتراوح تركيز أيونات الكلوريد في بلازما الدم الطبيعي بين ٩٥ و١٠٥ ملي مكافئ/لتر.

- **The normal blood plasma chloride ions concentration is 95–105 mEq/liter.**
- **Chloride ions moves relatively easily between the extracellular and intracellular compartments** because most plasma membranes contain many chloride ions leakage channels and antiporters.
- **Processes that increase or decrease renal reabsorption of sodium ions also affect reabsorption of chloride ions.**

تؤثر العمليات التي تزيد أو تقلل من إعادة امتصاص أيونات الصوديوم في الكلى أيضًا على إعادة امتصاص أيونات الكلوريد.

تنتقل أيونات الكلوريد بسهولة نسبية بين الحيزات خارج الخلايا وداخلها، لأن معظم الأغشية البلازمية تحتوي على العديد من قنوات تسرب أيونات الكلوريد والناقلات المضادة.

POTASSIUM

تلعب أيونات البوتاسيوم دورًا رئيسيًا في تحديد جهد الغشاء في حالة الراحة وفي مرحلة إعادة استقطاب جهود الفعل في الخلايا العصبية والألياف العضلية. كما تساعد أيونات البوتاسيوم في الحفاظ على حجم طبيعي للسوائل داخل الخلايا.

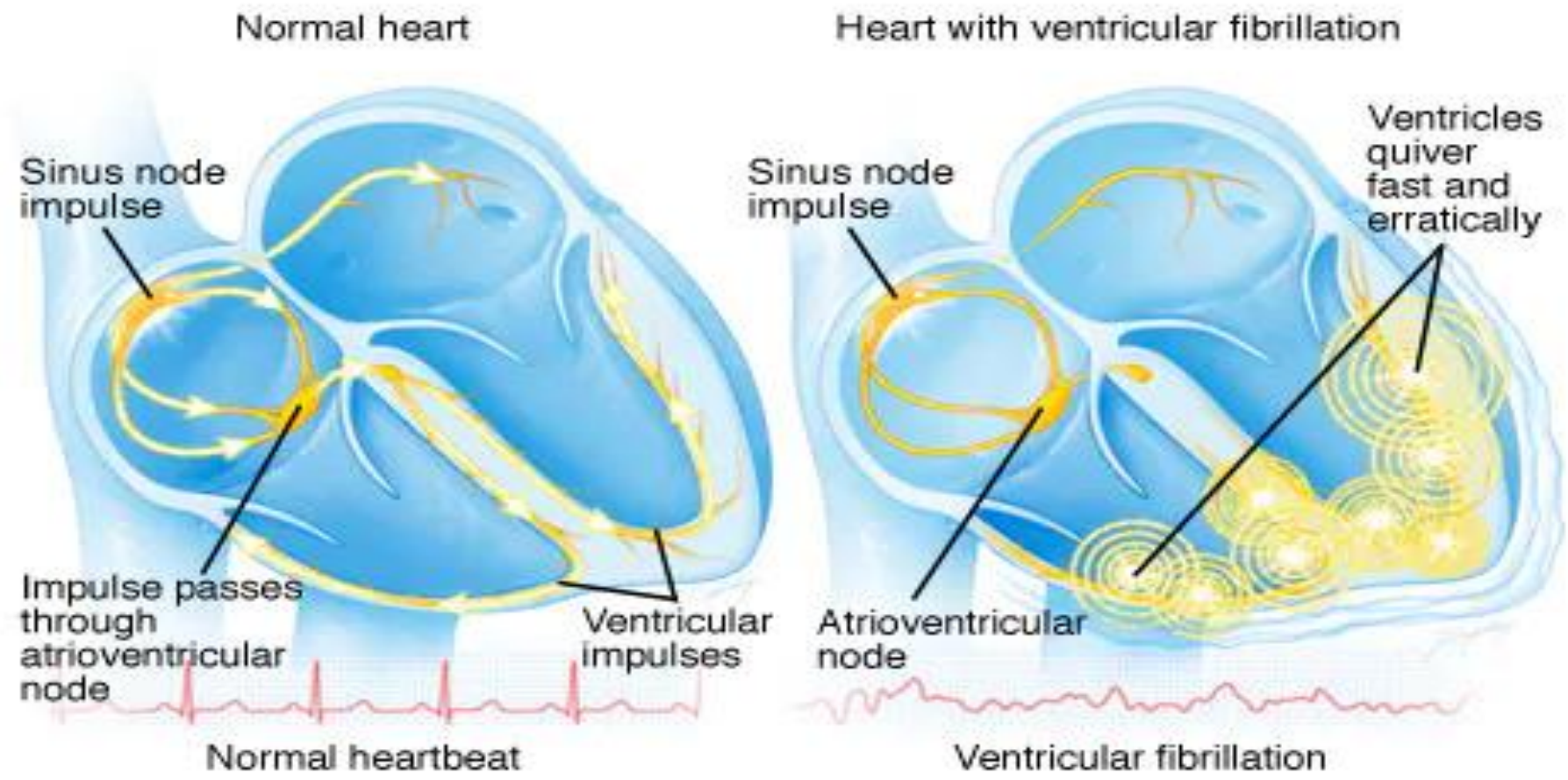
تُعد أيونات البوتاسيوم أكثر الكاتيونات وفرة في السائل داخل الخلايا (١٤٠ ملي مكافئ/لتر).

- Potassium ions are **the most abundant cations in intracellular fluid** (140 mEq/liter).
- Potassium ions plays **a key role in establishing the resting membrane potential** and **in the repolarization phase of action potentials in neurons and muscle fibers**.
- Potassium ions also **helps maintain normal intracellular fluid volume**.
- When potassium ions moves into or out of cells, it often **is exchanged for hydreogen ions and thereby helps regulate the pH of body fluids**.

عندما تنتقل أيونات البوتاسيوم إلى الخلايا أو منها، غالبًا ما يتم استبدالها بأيونات الهيدروجين، مما يساعد على تنظيم درجة حموضة سوائل الجسم. يتم التحكم بها بشكل رئيسي بواسطة الألدوستيرون.

- It is **controlled mainly by aldosterone.**
- **Because potassium ions is needed during the repolarization phase of action potentials, abnormal potassium ions levels can be lethal. For instance, hyperkalemia (above-normal concentration of K in blood) can cause death due to ventricular fibrillation.**

نظرًا للحاجة إلى أيونات البوتاسيوم خلال مرحلة إعادة استقطاب جهد الفعل، فإن مستويات أيونات البوتاسيوم غير الطبيعية قد تكون قاتلة. على سبيل المثال، يمكن أن يؤدي فرط بوتاسيوم الدم (ارتفاع تركيز البوتاسيوم في الدم عن المعدل الطبيعي) إلى الوفاة بسبب الرجفان البطيني.



© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH. ALL RIGHTS RESERVED.

BICARBONATE

أيونات البيكربونات هي ثاني أكثر الأنيونات خارج الخلية انتشارًا.

- Bicarbonate ions are the **second most prevalent extracellular anions**.

تركيز أيونات البيكربونات في بلازما الدم الطبيعي هو 22-26 ملي مكافئ/لتر في الدم الشرياني الجهازي و23-27 ملي مكافئ/لتر في الدم الوريدي الجهازي.

- Normal blood plasma of bicarbonate ions concentration is 22–26 mEq/liter in systemic arterial blood and 23–27 mEq/liter in systemic venous blood.
- **Bicarbonate ions concentration increases as blood flows through systemic capillaries** because the carbon dioxide released by metabolically active cells combines with water to form carbonic acid; the carbonic acid then dissociates into hydrogen ions and bicarbonate ions.

يزداد تركيز أيونات البيكربونات مع تدفق الدم عبر الشعيرات الدموية الجهازية لأن ثاني أكسيد الكربون المنطلق من الخلايا النشطة أيضيًا يتحد مع الماء لتكوين حمض الكربونيك، ثم يتفكك حمض الكربونيك إلى أيونات هيدروجين وبيكربونات

- **As blood flows through pulmonary capillaries, however, the concentration of bicarbonate ions decreases again as carbon dioxide is exhaled**.

ومع تدفق الدم عبر الشعيرات الدموية الرئوية، ينخفض تركيز أيونات البيكربونات مرة أخرى مع زفير ثاني أكسيد الكربون.

- The **kidneys are the main regulators of blood bicarbonate ions concentration**.

الكلى هي المنظم الرئيسي لتركيز أيونات بيكربونات الدم.

- The intercalated cells of the renal tubule can either form bicarbonate ions and release it into the blood when the blood level is low or excrete excess bicarbonate ions in the urine when the level in blood is too high.

يمكن للخلايا المقحمة في النبيبات الكلوية أن تشكل أيونات البيكربونات وتطلقها في الدم عندما يكون مستوى الدم منخفضًا أو تفرز أيونات البيكربونات الزائدة في البول عندما يكون المستوى في الدم مرتفعًا جدًا.

CALCIUM

نظرًا لتخزين كمية كبيرة من الكالسيوم في العظام، فهو المعدن الأكثر وفرة في الجسم. يوجد حوالي ٩٨٪ من الكالسيوم لدى البالغين في الهيكل العظمي والأسنان، حيث يتحد مع الفوسفات لتكوين شبكة بلورية من الأملاح المعدنية.

- Because such **a large amount of calcium** is stored in bone, it is **the most abundant mineral in the body**. **About 98% of the calcium in adults is located in the skeleton and teeth**, where it is combined with phosphates to form a crystal lattice of mineral salts.

- Besides **contributing to the hardness of bones and teeth**, calcium ion plays important roles in **blood clotting, neurotransmitter release, maintenance of muscle tone, and excitability of nervous and muscle tissue**.

إلى جانب المساهمة في صلابة العظام والأسنان، يلعب أيون الكالسيوم أدوارًا مهمة في تخثر الدم، وإطلاق الناقلات العصبية، والحفاظ على قوة العضلات، واستثارة الأنسجة العصبية والعضلية.

CALCIUM

أهم منظم لتركيز أيونات الكالسيوم في بلازما الدم هو هرمون الغدة جار الدرقية (PTH).

- The most **important regulator of calcium ion concentration** in blood plasma is parathyroid hormone (PTH).
- A **low level of calcium** ion in blood plasma promotes **release of more PTH,** which stimulates **osteoclasts in bone tissue to release calcium (and phosphate) from bone extracellular matrix**. Thus, **PTH increases bone resorption**.

يعزز انخفاض مستوى أيونات الكالسيوم في بلازما الدم إفراز المزيد من هرمون الغدة جار الدرقية، مما يحفز الخلايا الناقضة للعظم في أنسجة العظام على إطلاق الكالسيوم (والفوسفات) من المصفوفة خارج الخلوية للعظام. وبالتالي، يزيد هرمون الغدة جار الدرقية من امتصاص العظام.

- **Parathyroid hormone** also **enhances reabsorption of calcium ion** from glomerular filtrate through renal tubule cells and back into blood, and **increases production of calcitriol (the form of vitamin D that acts as a hormone),** which in turn **increases calcium ion absorption from food in the gastrointestinal tract**.

كما يعزز هرمون الغدة جار الدرقية إعادة امتصاص أيونات الكالسيوم من الراشح الكبيبي عبر خلايا الأنابيب الكلوية وإعادتها إلى الدم، ويزيد من إنتاج الكالسيتريول (شكل فيتامين د الذي يعمل كهرمون)، مما يزيد بدوره من امتصاص أيونات الكالسيوم من الطعام في الجهاز الهضمي.

PHOSPHATE

يوجد حوالي 85% من الفوسفات عند البالغين على شكل أملاح فوسفات الكالسيوم، وهي مكونات هيكلية للعظام والأسنان. ثلاثة أيونات الفوسفات هي الأنيونات الهامة داخل الخلايا.

- About 85% of the phosphate in adults is present as **calcium phosphate salts, which are structural components of bone and teeth.**
- **Three phosphate ions are important intracellular anions.**

نفس الهرمونين اللذين يتحكمان في توازن الكالسيوم - هرمون الغدة الدرقية (PTH) والكالسيتريول - ينظمان أيضًا مستوى أيونات الفوسفات في بلازما الدم.

- The same two hormones that govern calcium homeostasis—**parathyroid hormone (PTH) and calcitriol**—also **regulate the level of phosphate ions in blood plasma.**
- **PTH stimulates resorption of** bone extracellular matrix by osteoclasts, which releases both **phosphate and calcium** ions into the bloodstream.

يحفز هرمون الغدة جار الدرقية امتصاص المصفوفة خارج الخلوية للعظام بواسطة الخلايا الناقضة للعظم، مما يُطلق أيونات الفوسفات والكالسيوم في مجرى الدم.

- **In the kidneys, however, PTH inhibits reabsorption of phosphate ions while stimulating reabsorption of calcium ions by renal tubular cells. Thus, PTH increases urinary excretion of phosphate and lowers blood phosphate level.**
- **Calcitriol promotes absorption of both phosphates and calcium from the gastrointestinal tract.**

يعزز الكالسيتريول امتصاص كل من الفوسفات والكالسيوم من الجهاز الهضمي.

أما في الكلى، فيمنع هرمون الغدة جار الدرقية إعادة امتصاص أيونات الفوسفات، بينما يحفز إعادة امتصاص أيونات الكالسيوم بواسطة الخلايا الأنبوبية الكلوية. وبالتالي، يزيد هرمون الغدة جار الدرقية من إفراز الفوسفات في البول، ويخفض مستوى الفوسفات في الدم.

MAGNESIUM

عند البالغين، حوالي 54٪ من إجمالي المغنيسيوم في الجسم هو جزء من مصفوفة العظام كأملاح المغنيسيوم. أما النسبة المتبقية البالغة 46%، فهي تحدث على شكل أيونات المغنيسيوم في السائل داخل الخلايا (45%) والسائل خارج الخلية (1%).

تزيد الكلى من إفراز أيونات المغنيسيوم في البول استجابةً لفرط كالسيوم الدم، وفرط مغنيزيوم الدم، وزيادة حجم السائل خارج الخلية، وانخفاض هرمون الغدة الدرقية، والحماض. الظروف المعاكسة تقلل من إفراز الكلى لأيونات المغنيسيوم.

- In adults, about 54% of the total body magnesium **is part of bone matrix as magnesium salts**. The remaining 46% occurs as magnesium ions in intracellular fluid (45%) and extracellular fluid (1%).

أيونات المغنيسيوم هي ثاني أكثر الكاتيونات شيوعًا داخل الخلايا (35 مليون مكافئ / لتر).

- Magnesium ions is the **second most common intracellular cation** (35 mEq/liter).
- Functionally,

< أيون المغنيسيوم هو عامل مساعد لبعض الإنزيمات اللازمة لعملية التمثيل الغذائي للكربوهيدرات والبروتينات ولمضخة الصوديوم والبوتاسيوم.

- Magnesium ion **is a cofactor for certain enzymes** needed for the metabolism of carbohydrates and proteins and for the sodium–potassium pump.

< أيون المغنيسيوم ضروري للنشاط العصبي العضلي الطبيعي، وانتقال التشابك العصبي، وعمل عضلة القلب.

- Magnesium ion **is essential for normal neuromuscular activity, synaptic transmission, and myocardial functioning**.

< بالإضافة إلى ذلك، يعتمد إفراز هرمون الغدة جار الدرقية (PTH) على أيون المغنيسيوم.

- In addition, **secretion of parathyroid hormone (PTH) depends on magnesium ion.**

- The kidneys **increase urinary excretion of magnesium ions** in response to hypercalcemia, hypermagnesemia, increases in extracellular fluid volume, decreases in parathyroid hormone, and acidosis. The opposite conditions decrease renal excretion of magnesium ions.

TABLE 27.2

Blood Electrolyte Imbalances

	DEFICIENCY		EXCESS	
ELECTROLYTE*	NAME AND CAUSES	SIGNS AND SYMPTOMS	NAME AND CAUSES	SIGNS AND SYMPTOMS
Sodium (Na^+) **136–148 mEq/liter**	**Hyponatremia** (hī-pō-na-TRĒ-mē-a) may be due to decreased sodium intake; increased sodium loss through vomiting, diarrhea, aldosterone deficiency, or taking certain diuretics; and excessive water intake.	Muscular weakness; dizziness, headache, and hypotension; tachycardia and shock; mental confusion, stupor, and coma.	**Hypernatremia** may occur with dehydration, water deprivation, or excessive sodium in diet or intravenous fluids; causes hypertonicity of ECF, which pulls water out of body cells into ECF, causing cellular dehydration.	Intense thirst, hypertension, edema, agitation, and convulsions.
Chloride (Cl^-) **95–105 mEq/liter**	**Hypochloremia** (hī-pō-klō-RĒ-mē-a) may be due to excessive vomiting, overhydration, aldosterone deficiency, congestive heart failure, and therapy with certain diuretics such as furosemide (Lasix®).	Muscle spasms, metabolic alkalosis, shallow respirations, hypotension, and tetany.	**Hyperchloremia** may result from dehydration due to water loss or water deprivation; excessive chloride intake; or severe renal failure, hyperaldosteronism, certain types of acidosis, and some drugs.	Lethargy, weakness, metabolic acidosis, and rapid, deep breathing.
Potassium (K^+) **3.5–5.0 mEq/liter**	**Hypokalemia** (hī-pō-ka-LĒ-mē-a) may result from excessive loss due to vomiting or diarrhea, decreased potassium intake, hyperaldosteronism, kidney disease, and therapy with some diuretics.	Muscle fatigue, flaccid paralysis, mental confusion, increased urine output, shallow respirations, and changes in electrocardiogram, including flattening of T wave.	**Hyperkalemia** may be due to excessive potassium intake, renal failure, aldosterone deficiency, crushing injuries to body tissues, or transfusion of hemolyzed blood.	Irritability, nausea, vomiting, diarrhea, muscular weakness; can cause death by inducing ventricular fibrillation.
Calcium (Ca^{2+}) **Total = 9.0–10.5 mg/dL; ionized = 4.5–5.5 mEq/liter**	**Hypocalcemia** (hī-pō-kal-SĒ-mē-a) may be due to increased calcium loss, reduced calcium intake, elevated phosphate levels, or hypoparathyroidism.	Numbness and tingling of fingers; hyperactive reflexes, muscle cramps, tetany, and convulsions; bone fractures; spasms of laryngeal muscles that can cause death by asphyxiation.	**Hypercalcemia** may result from hyperparathyroidism, some cancers, excessive intake of vitamin D, and Paget's disease of bone.	Lethargy, weakness, anorexia, nausea, vomiting, polyuria, itching, bone pain, depression, confusion, paresthesia, stupor, and coma.
Phosphate (HPO_4^{2-}) **1.7–2.6 mEq/liter**	**Hypophosphatemia** (hī-pō-fos'-fa-TĒ-mē-a) may occur through increased urinary losses, decreased intestinal absorption, or increased utilization.	Confusion, seizures, coma, chest and muscle pain, numbness and tingling of fingers, decreased coordination, memory loss, and lethargy.	**Hyperphosphatemia** occurs when kidneys fail to excrete excess phosphate, as in renal failure; can also result from increased intake of phosphates or destruction of body cells, which releases phosphates into blood.	Anorexia, nausea, vomiting, muscular weakness, hyperactive reflexes, tetany, and tachycardia.
Magnesium (Mg^{2+}) **1.3–2.1 mEq/liter**	**Hypomagnesemia** (hī'-pō-mag'-ne-SĒ-mē-a) may be due to inadequate intake or excessive loss in urine or feces; also occurs in alcoholism, malnutrition, diabetes mellitus, and diuretic therapy.	Weakness, irritability, tetany, delirium, convulsions, confusion, anorexia, nausea, vomiting, paresthesia, and cardiac arrhythmias.	**Hypermagnesemia** occurs in renal failure or due to increased intake of Mg^{2+}, such as Mg^{2+}-containing antacids; also occurs in aldosterone deficiency and hypothyroidism.	Hypotension, muscular weakness or paralysis, nausea, vomiting, and altered mental functioning.

*Values are normal ranges of blood plasma levels in adults.

Please, return back to this table (Table 27.2).

ACID–BASE BALANCE

تُعد هذه المهمة - الحفاظ على توازن الحمض والقاعدة - ذات أهمية بالغة للوظيفة الخلوية الطبيعية. على سبيل المثال، الشكل ثلاثي الأبعاد لجميع بروتينات الجسم، والذي يُمكّنها من أداء وظائف محددة، حساس للغاية لتغيرات الرقم الهيدروجيني.

تلعب الأيونات المختلفة أدوارًا مختلفة تساعد في الحفاظ على التوازن الداخلي.

- **Various ions** play different roles that **help maintain homeostasis**.
- A major homeostatic challenge is keeping the hydrogen ions concentration (pH) of body fluids at an appropriate level.

يتمثل التحدي الرئيسي في الحفاظ على التوازن الداخلي في الحفاظ على تركيز أيونات الهيدروجين (الرقم الهيدروجيني) في سوائل الجسم عند مستوى مناسب.

- This task—**the maintenance of acid–base balance—is of critical importance to normal cellular function**. For example, the three-dimensional shape of all **body proteins**, which enables them to perform specific functions, is very **sensitive to pH changes**.
- Because metabolic reactions often produce a huge excess of hydrogen ions , the lack of any mechanism for the disposal of hydrogen ions would cause hydrogen ions in body fluids to rise quickly to a lethal level.
- **Homeostasis of hydrogen ions concentration within a narrow range is thus essential to survival.**

التوازن في تركيز أيونات الهيدروجين ضمن نطاق ضيق أمر ضروري للبقاء على قيد الحياة.

نظرًا لأن التفاعلات الأيضية غالبًا ما تُنتج فائضًا كبيرًا من أيونات الهيدروجين، فإن عدم وجود أي آلية للتخلص من أيونات الهيدروجين من شأنه أن يؤدي إلى ارتفاع أيونات الهيدروجين في سوائل الجسم بسرعة إلى مستوى مميت.

ACID–BASE BALANCE

تعتمد إزالة أيونات الهيدروجين من سوائل الجسم وإخراجها لاحقًا من الجسم على الآليات الرئيسية الثلاث التالية:

- **The removal of hydrogen ions from body fluids and its subsequent elimination from the body depend on the following three major mechanisms:**

١. أنظمة المحاليل العازلة. تعمل المحاليل العازلة بسرعة على ربط أيونات الهيدروجين مؤقتًا، مما يزيل أيونات الهيدروجين الزائدة شديدة التفاعل من المحلول. وبالتالي، ترفع المحاليل العازلة درجة حموضة سوائل الجسم ولكنها لا تزيل أيونات الهيدروجين من الجسم.

1. **Buffer systems**. Buffers act quickly to temporarily bind hydrogen ions, removing the highly reactive, excess hydrogen ions from solution. Buffers thus raise pH of body fluids but do not remove hydrogen ions from the body.

٢.زفير ثاني أكسيد الكربون. ومن خلال زيادة معدل وعمق التنفس، يمكن زفير المزيد من ثاني أكسيد الكربون. وفي غضون دقائق، يؤدي ذلك إلى خفض مستوى حمض الكربونيك في الدم، مما يرفع درجة حموضة الدم (يخفض مستوى أيونات الهيدروجين في الدم).

2. **Exhalation of carbon dioxide**. By increasing the rate and depth of breathing, more carbon dioxide can be exhaled. Within minutes this reduces the level of carbonic acid in blood, which raises the blood pH (reduces blood hydrogen ions level).

٣.إفراز الكلى لأيونات الهيدروجين. الآلية الأبطأ، ولكن الطريقة الوحيدة للتخلص من الأحماض الأخرى غير حمض الكربونيك، هي من خلال إفرازها في البول.

3. **Kidney excretion of hydrogen ions**. The slowest mechanism, but the only way to eliminate acids other than carbonic acid, is through their excretion in urine.

THE ACTIONS OF BUFFER SYSTEMS

تتكون معظم الأنظمة العازلة في الجسم من حمض ضعيف وملح ذلك الحمض الذي يعمل كقاعدة ضعيفة.

- **Most buffer systems** in the body consist of a weak acid and the salt of that acid, which functions as a weak base.
- **Buffers prevent rapid, drastic changes in the pH of body fluids** by **converting strong acids and bases into weak acids and weak bases within fractions of a second**.

تمنع المخازن المؤقتة التغيرات السريعة والجذرية في الرقم الهيدروجيني لسوائل الجسم عن طريق تحويل الأحماض والقواعد القوية إلى أحماض وقواعد ضعيفة خلال أجزاء من الثانية.

- **Strong acids lower pH more than weak acids** because strong acids release hydrogen ions more readily and thus contribute more free hydrogen ions. Similarly, **strong bases raise pH more than weak ones**.

الأحماض القوية تخفض الرقم الهيدروجيني أكثر من الأحماض الضعيفة لأن الأحماض القوية تطلق أيونات الهيدروجين بسهولة أكبر وبالتالي تساهم بمزيد من أيونات الهيدروجين الحرة. وبالمثل، فإن القواعد القوية ترفع الرقم الهيدروجيني أكثر من القواعد الضعيفة.

PROTEIN BUFFER SYSTEM

> تتكون البروتينات من أحماض أمينية، وهي جزيئات عضوية تحتوي على مجموعة كربوكسيل واحدة على الأقل (-COOH) ومجموعة أمين واحدة على الأقل (-NH2)، وهذه المجموعات هي المكونات الوظيفية لنظام البروتين العازل.

> على سبيل المثال، يُعد بروتين الهيموغلوبين مادة عازلة جيدة بشكل خاص داخل خلايا الدم الحمراء، والألبومين هو المادة العازلة الرئيسية للبروتين في بلازما الدم.

> هو أكثر العازل وفرةً في السائل داخل الخلايا وبلازما الدم.

- **It is the most abundant buffer in intracellular fluid and blood plasma.**
- For example, the **protein hemoglobin** is an especially good buffer within red blood cells, and **albumin** is the main protein buffer in blood plasma.
- **Proteins are composed of amino acids**, organic molecules that contain at least **one carboxyl group** (–COOH) and at least **one amino group** (–NH2); **these groups are the functional components of the protein buffer system**.
- **The free carboxyl group at one end of a protein acts like an acid by releasing hydrogen ions when pH rises. The hydrogen ions is then able to react with any excess OH- in the solution to form water.**

> تعمل مجموعة الكربوكسيل الحرة في أحد طرفي البروتين كحمض من خلال إطلاق أيونات الهيدروجين عند ارتفاع الرقم الهيدروجيني. عندها، تتمكن أيونات الهيدروجين من التفاعل مع أي فائض من OH- في المحلول لتكوين الماء.

- **The free amino group at the other end of a protein can act as a base by combining with hydrogen ions when pH falls.**

> يمكن لمجموعة الأمينو الحرة الموجودة في الطرف الآخر من البروتين أن تعمل كقاعدة من خلال الاتحاد مع أيونات الهيدروجين عندما ينخفض الرقم الهيدروجيني. > لذلك، يمكن للبروتينات عزل كل من الأحماض والقواعد.

- **So, proteins can buffer both acids and bases.**

PROTEIN BUFFER SYSTEM

- **The protein hemoglobin is an important buffer of hydrogen ion in red blood cells**. As blood flows through the systemic capillaries, carbon dioxide (CO_2) passes from tissue cells into red blood cells, where it combines with water (H_2O) to form carbonic acid (H_2CO_3). Once formed, H_2CO_3 dissociates into hydrogen ion and HCO_3-. At the same time that CO_2 is entering red blood cells, oxyhemoglobin ($Hb–O_2$) is giving up its oxygen to tissue cells. Reduced hemoglobin (deoxyhemoglobin) picks up most of the hydrogen ion. For this reason, reduced hemoglobin usually is written as Hb–H. The following reactions summarize these relationships:

يُعد بروتين الهيموغلوبين حاجزًا مهمًا لأيون الهيدروجين في خلايا الدم الحمراء. أثناء تدفق الدم عبر الشعيرات الدموية الجهازية، ينتقل ثاني أكسيد الكربون (CO2) من خلايا الأنسجة إلى خلايا الدم الحمراء، حيث يتحد مع الماء (H2O) لتكوين حمض الكربونيك (H2CO3). بمجرد تكوينه، يتفكك H2CO3 إلى أيون هيدروجين وHCO3-. في نفس الوقت الذي يدخل فيه CO2 خلايا الدم الحمراء، يُطلق أوكسي هيموغلوبين (Hb-O2) الأكسجين إلى الهيموغلوبين المختزل (ديوكسي هيموغلوبين) الذي يلتقط معظم أيون الهيدروجين. لهذا السبب، يُكتب الهيموغلوبين المختزل عادةً Hb-H.

$$\underset{\text{Water}}{H_2O} + \underset{\text{Carbon dioxide (entering RBCs)}}{CO_2} \longrightarrow \underset{\text{Carbonic acid}}{H_2CO_3}$$

$$\underset{\text{Carbonic acid}}{H_2CO_3} \longrightarrow \underset{\text{Hydrogen ion}}{H^+} + \underset{\text{Bicarbonate ion}}{HCO_3^-}$$

$$\underset{\text{Oxyhemoglobin (in RBCs)}}{Hb–O_2} + \underset{\text{Hydrogen ion (from carbonic acid)}}{H^+} \longrightarrow \underset{\text{Reduced hemoglobin}}{Hb–H} + \underset{\text{Oxygen (released to tissue cells)}}{O_2}$$

CARBONIC ACID–BICARBONATE BUFFER SYSTEM

- The carbonic acid–bicarbonate buffer system **is based on the bicarbonate ion (HCO_3^-)**, which can act as a weak base, and **carbonic acid (H_2CO_3)**, which can act as a weak acid. As you have already learned, **HCO3- is a significant anion in both intracellular and extracellular fluids.**

يعتمد النظام المنظم لحمض الكربونيك-بيكربونات على أيون البيكربونات (-HCO3)، الذي يمكن أن يعمل كقاعدة ضعيفة، وحمض الكربونيك (H2CO3)، الذي يمكن أن يعمل كحمض ضعيف. كما تعلمت بالفعل، يعتبر -HCO3 أنيونًا مهمًا في كل من السوائل داخل الخلايا وخارجها.

- **Because the kidneys also synthesize new HCO3- and reabsorb filtered HCO3-, this important buffer is not lost in the urine**. If there is an excess of hydrogen ion, the HCO3- can function as a weak base and remove the excess hydrogen ion as follows:

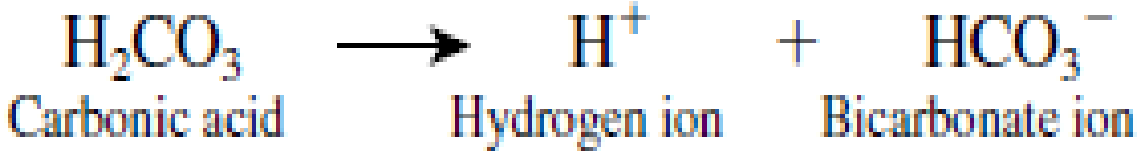
نظرًا لأن الكلى تقوم أيضًا بتصنيع HCO3 الجديد وإعادة امتصاص -HCO3 المفلتر، فإن هذا المخزن المؤقت المهم لا يضيع في البول. إذا كان هناك فائض من أيون الهيدروجين، يمكن أن يعمل -HCO3 كقاعدة ضعيفة ويزيل أيون الهيدروجين الزائد على النحو التالي:

$$\underset{\text{Hydrogen ion}}{H^+} + \underset{\text{Bicarbonate ion (weak base)}}{HCO_3^-} \longrightarrow \underset{\text{Carbonic acid}}{H_2CO_3}$$

CARBONIC ACID–BICARBONATE BUFFER SYSTEM

ثم يتفكك H2CO3 إلى ماء وثاني أكسيد الكربون، ويُطرد CO: من الرئتين. على العكس من ذلك، إذا كان هناك نقص في أيون الهيدروجين، يمكن أن يعمل H2CO3 كحمض ضعيف ويوفر أيون الهيدروجين كما يلي:

- ✓ **Then, H_2CO_3 dissociates into water and carbon dioxide, and the CO_2 is exhaled from the lungs.** Conversely, if there is a shortage of hydrogen ion, the H_2CO_3 can function as a weak acid and provide hydrogen ion as follows:



- ✓ **Because CO_2 and H_2O combine to form H_2CO_3, this buffer system cannot protect against pH changes due to respiratory problems in which there is an excess or shortage of CO_2.**

نظرًا لأن ثاني أكسيد الكربون وH20 يتحدان لتكوين H2CO3، فإن هذا النظام العازل لا يمكنه الحماية من تغيرات الرقم الهيدروجيني بسبب مشاكل الجهاز التنفسي التي يوجد فيها زيادة أو نقص في ثاني أكسيد الكربون.

PHOSPHATE BUFFER SYSTEM

مكونات النظام المنظم للفوسفات هي أيونات فوسفات ثنائي الهيدروجين وفوسفات أحادي الهيدروجين.

- ✓ The components of the phosphate buffer system are the ions dihydrogen phosphate and monohydrogen phosphate.

the one for the carbonic acid–bicarbonate buffer system. The components of the phosphate buffer system are the ions *dihydrogen phosphate* ($H_2PO_4^-$) and *monohydrogen phosphate* (HPO_4^{2-}). Recall that phosphates are major anions in intracellular fluid and minor ones in extracellular fluids (see Figure 27.6). The dihydrogen phosphate ion acts as a weak acid and is capable of buffering strong bases such as OH^-, as follows:

$$\underset{\text{Hydroxide ion (strong base)}}{OH^-} + \underset{\text{Dihydrogen phosphate (weak acid)}}{H_2PO_4^-} \longrightarrow \underset{\text{Water}}{H_2O} + \underset{\text{Monohydrogen phosphate (weak base)}}{HPO_4^{2-}}$$

النظام العازل لحمض الكربونيك-بيكربونات.
مكونات النظام المنظم للفوسفات هي أيونات فوسفات ثنائي هيدروجين ($H_2PO_4^-$) وفوسفات مونوليدروجين (HPO_4^{2-}). تذكر أن الفوسفات عبارة عن أنيونات رئيسية في السوائل داخل الخلايا وأنيونات صغيرة في السوائل خارج الخلية (انظر الشكل 27.6). يعمل أيون فوسفات ثنائي هيدروجين كحمض ضعيف وقادر على عزل القواعد القوية مثل OH، كما يلي:

PHOSPHATE BUFFER SYSTEM

أيون فوسفات أحادي الهيدروجين قادر على تنظيم Ht المنبعث من حمض قوي مثل حمض الهيدروكلوريك (HCl) من خلال عمله كقاعدة ضعيفة:

The monohydrogen phosphate ion is capable of buffering the H^+ released by a strong acid such as hydrochloric acid (HCl) by acting as a weak base:

$$H^+ + HPO_4^{2-} \longrightarrow H_2PO_4^-$$

H^+	HPO_4^{2-}	$H_2PO_4^-$
Hydrogen ion (strong acid)	Monohydrogen phosphate (weak base)	Dihydrogen phosphate (weak acid)

- ✓ **Because the concentration of phosphates is highest in intracellular fluid, the phosphate buffer system is an important regulator of pH in the cytosol. It also acts to a smaller degree in extracellular fluids and buffers acids in urine.**

نظرًا لأن تركيز الفوسفات يكون أعلى في السائل داخل الخلايا، فإن نظام الفوسفات العازل يُعد منظمًا مهمًا لدرجة الحموضة (pH) في السيتوزول. كما أنه يعمل بدرجة أقل في السوائل خارج الخلايا، وينظم الأحماض في البول.

EXHALATION OF CARBON DIOXIDE

- ✓ The simple act of breathing also plays an important role in maintaining the pH of body fluids. An increase in the carbon dioxide (CO_2) concentration in body fluids increases hydrogen ion concentration and thus lowers the pH (makes body fluids more acidic).

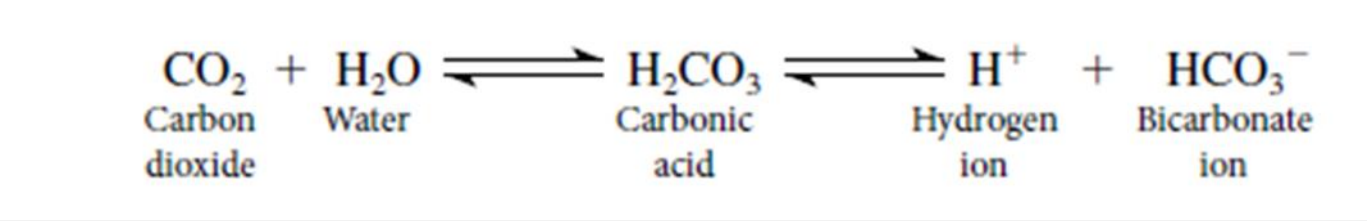
يلعب التنفس البسيط أيضًا دورًا مهمًا في الحفاظ على الرقم الهيدروجيني لسوائل الجسم. تؤدي زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون (CO2) في سوائل الجسم إلى زيادة تركيز أيون الهيدروجين وبالتالي خفض الرقم الهيدروجيني (يجعل سوائل الجسم أكثر حمضية).

- ✓ Conversely, a decrease in the CO_2 concentration of body fluids raises the pH (makes body fluids more alkaline). This chemical interaction is illustrated by the following reversible reactions:

وعلى العكس، يؤدي انخفاض تركيز ثاني أكسيد الكربون في سوائل الجسم إلى رفع درجة الحموضة (مما يجعل سوائل الجسم أكثر قلوية). ويتضح هذا التفاعل الكيميائي من خلال التفاعلات العكسية التالية:

$$\underset{\text{Carbon dioxide}}{CO_2} + \underset{\text{Water}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{Carbonic acid}}{H_2CO_3} \rightleftharpoons \underset{\text{Hydrogen ion}}{H^+} + \underset{\text{Bicarbonate ion}}{HCO_3^-}$$

EXHALATION OF CARBON DIOXIDE



✔ مع زيادة التهوية، يتم إخراج المزيد من ثاني أكسيد الكربون. عندما تنخفض مستويات ثاني أكسيد الكربون، ينتقل التفاعل إلى اليسار (الأسهم الزرقاء)، وينخفض تركيز أيون الهيدروجين، وتزداد درجة الحموضة في الدم.

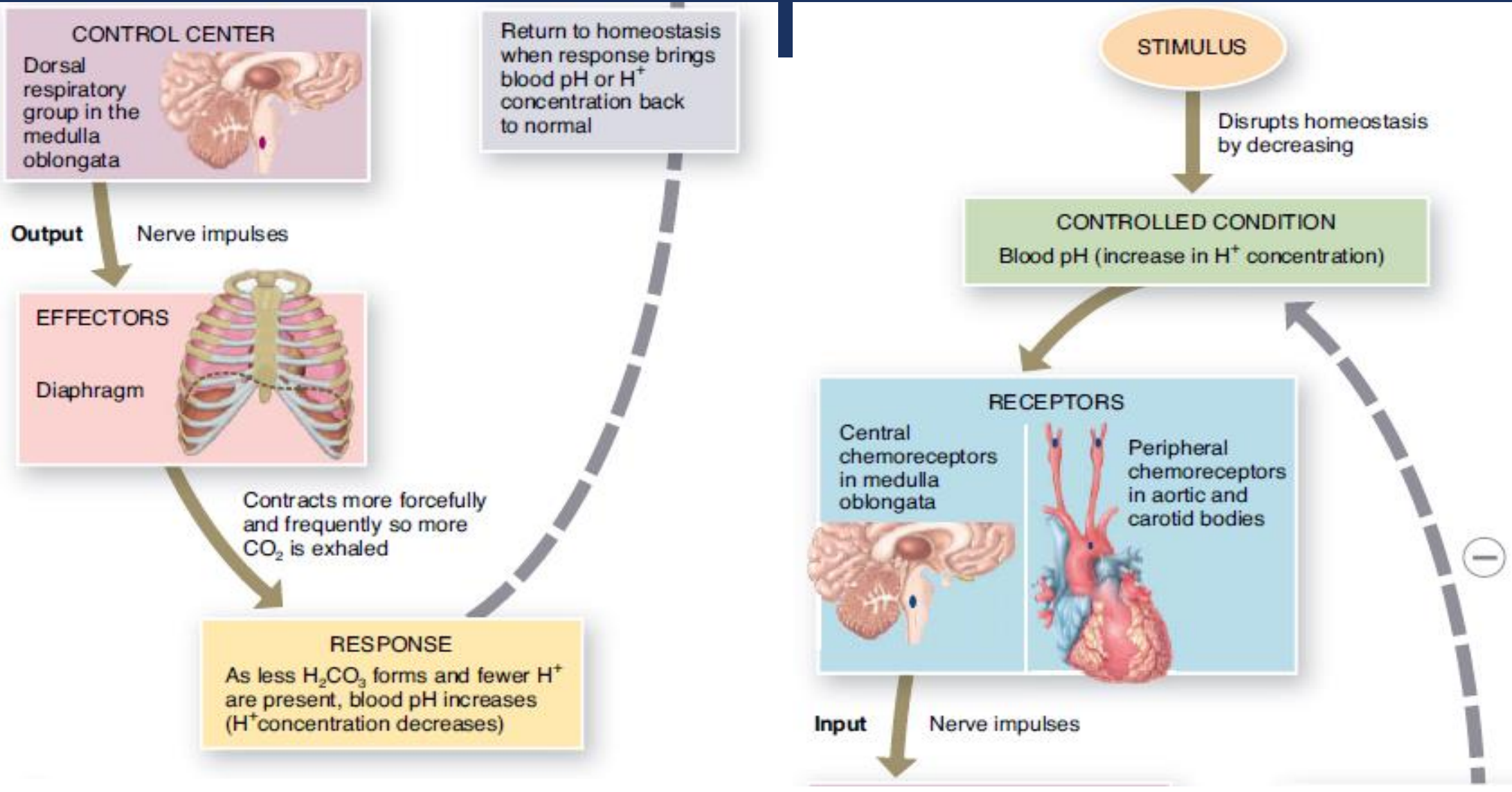
- ✓ With increased ventilation, more CO_2 is exhaled. When CO_2 levels decrease, the reaction is driven to the left (blue arrows), hydrogen ion concentration falls, and blood pH increases.

- ✓ If ventilation is slower than normal, less carbon dioxide is exhaled. When CO_2 levels increase, the reaction is driven to the right (red arrows), the hydrogen ion concentration increases, and blood pH decreases.

✔ إذا كانت التهوية أبطأ من المعدل الطبيعي، يقل ثاني أكسيد الكربون المُزفر. عندما تزداد مستويات ثاني أكسيد الكربون، يتجه التفاعل إلى اليمين (الأسهم الحمراء)، ويزداد تركيز أيونات الهيدروجين، وينخفض الرقم الهيدروجيني للدم.

Figure 27.7 Negative feedback regulation of blood pH by the respiratory system.

Exhalation of carbon dioxide lowers the H^+ concentration of blood.



Acid–Base Balance

TABLE 27.3

Mechanisms That Maintain pH of Body Fluids

MECHANISM	COMMENTS
Buffer systems	Most consist of a weak acid and its salt, which functions as a weak base. They prevent drastic changes in body fluid pH.
Proteins	The most abundant buffers in body cells and blood. Hemoglobin inside red blood cells is a good buffer.
Carbonic acid–bicarbonate	Important regulator of blood pH. The most abundant buffers in extracellular fluid (ECF).
Phosphates	Important buffers in intracellular fluid and urine.
Exhalation of CO_2	With increased exhalation of CO_2, pH rises (fewer H^+). With decreased exhalation of CO_2, pH falls (more H^+).
Kidneys	Renal tubules secrete H^+ into urine and reabsorb HCO_3^- so it is not lost in urine.

Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

ACID–BASE IMBALANCES

تتراوح درجة الحموضة الطبيعية للدم الشرياني الجهازي بين 7.35 و7.45. الحماض (أو احماض الدم) هو حالة يكون فيها الرقم الهيدروجيني للدم أقل من 7.35. القلاء (أو القلاء) هو حالة يكون فيها الرقم الهيدروجيني للدم أعلى من 7.45.

التأثير الفسيولوجي الرئيسي للحماض هو تثبيط الجهاز العصبي المركزي من خلال تثبيط انتقال التشابك العصبي. إذا انخفض الرقم الهيدروجيني للدم الشرياني أقل من 7، يكون اكتئاب الجهاز العصبي شديدًا لدرجة أن الفرد يصبح مشوشًا، ثم يدخل في غيبوبة، وقد يموت. عادة ما يموت المرضى الذين يعانون من الحماض الشديد أثناء وجودهم في غيبوبة.

- **The normal pH range of systemic arterial blood is between 7.35 and 7.45.**
- **Acidosis (or acidemia)** is a condition in which **blood pH is below 7.35**.
- **alkalosis (or alkalemia)** is a condition in which **blood pH is higher than 7.45**.

- **The major physiological effect of acidosis** is depression of the central nervous system through depression of synaptic transmission. If the systemic arterial blood pH falls below 7, depression of the nervous system is so severe that the individual becomes disoriented, then comatose, and may die. Patients with severe acidosis usually die while in a coma.

- **The major physiological effect of alkalosis,** by contrast, is overexcitability in both the central nervous system and peripheral nerves. Neurons conduct impulses repetitively, even when not stimulated by normal stimuli; the results are nervousness, muscle spasms, and even convulsions and death.

على النقيض من ذلك، فإن التأثير الفسيولوجي الرئيسي للقلاء هو فرط الاستثارة في كل من الجهاز العصبي المركزي والأعصاب الطرفية. تجري الخلايا العصبية النبضات بشكل متكرر، حتى عندما لا يتم تحفيزها بواسطة المنبهات الطبيعية، وتكون النتائج عصبية وتشنجات عضلية وحتى التشنجات والموت.

ACID–BASE IMBALANCES

- **Change in blood pH that leads to acidosis or alkalosis may be countered by compensation, the physiological response to an acid–base imbalance that acts to normalize arterial blood pH. Compensation may be either complete, if pH indeed is brought within the normal range, or partial, if systemic arterial blood pH is still lower than 7.35 or higher than 7.45.**

يمكن مواجهة التغير في درجة حموضة الدم الذي يؤدي إلى الحماض أو القلاء عن طريق التعويض، وهو الاستجابة الفسيولوجية لاختلال التوازن الحمضي القاعدي الذي يعمل على تطبيع درجة حموضة الدم الشرياني. قد يكون التعويض كاملاً، إذا عاد الرقم الهيدروجيني بالفعل إلى النطاق الطبيعي، أو جزئيًا، إذا كان الرقم الهيدروجيني للدم الشرياني الجهازي لا يزال أقل من ٧.٣٥ أو أعلى من ٧.٤٥.

ACID–BASE IMBALANCES: RESPIRATORY ACIDOSIS

يؤدي عدم كفاية إخراج ثاني أكسيد الكربون من الجسم إلى انخفاض درجة حموضة الدم.

تشمل هذه الحالات الوذمة الرئوية، وإصابة مركز الجهاز التنفسي في النخاع المستطيل، وانسداد مجرى الهواء، أو اضطرابات العضلات المسؤولة عن التنفس.

- **Inadequate exhalation of CO_2 causes the blood pH to drop.**
- Such conditions include pulmonary edema, injury to the respiratory center of the medulla oblongata, airway obstruction, or disorders of the muscles involved in breathing.

إذا لم تكن مشكلة الجهاز التنفسي حادة جدًا، يمكن للكلى المساعدة في رفع درجة حموضة الدم إلى المعدل الطبيعي عن طريق زيادة إفراز أيون الهيدروجين وإعادة امتصاص بيروكسيد الهيدروجين (التعويض الكلوي).

- If the respiratory problem is not too severe, the kidneys can help raise the blood pH into the normal range by increasing excretion of hydrogen ion and reabsorption of HCO_3- (renal compensation).
- The goal in treatment of respiratory acidosis is to increase the exhalation of CO_2, as, for instance, by providing ventilation therapy. In addition, intravenous administration of HCO_3- may be helpful.

الهدف من علاج الحماض التنفسي هو زيادة زفير ثاني أكسيد الكربون، على سبيل المثال، من خلال توفير التهوية. بالإضافة إلى ذلك، قد يكون إعطاء بيروكسيد الهيدروجين (HCO3-) عن طريق الوريد مفيدًا.

ACID–BASE IMBALANCES: RESPIRATORY ALKALOSIS

السبب هو زيادة الرقم الهيدروجيني (فرط التهوية).

- **The cause is the increase of pH (hyperventilation).**

تشمل هذه الحالات نقص الأكسجين الناتج عن الارتفاعات العالية أو أمراض الرئة، أو السكتة الدماغية، أو القلق الشديد.

- Such conditions include oxygen deficiency due to high altitude or pulmonary disease, cerebrovascular accident (stroke), or severe anxiety.
- Again, renal compensation may bring blood pH into the normal range if the kidneys are able to decrease excretion of hydrogen ion and reabsorption of HCO_3-.

مرة أخرى، قد يُعيد التعويض الكلوي درجة حموضة الدم إلى المعدل الطبيعي إذا كانت الكلى قادرة على تقليل إفراز أيونات الهيدروجين وإعادة امتصاص أيونات الهيدروجين.

- Treatment of respiratory alkalosis is aimed at increasing the level of CO_2 in the body. One simple treatment is to have the person inhale and exhale into a paper bag for a short period; as a result, the person inhales air containing a higher-than-normal concentration of CO_2.

يهدف علاج قلاء الجهاز التنفسي إلى زيادة مستوى ثاني أكسيد الكربون في الجسم. أحد العلاجات البسيطة هو أن يطلب من الشخص أن يستنشق ويزفر في كيس ورقي لفترة قصيرة، ونتيجة لذلك، يستنشق الشخص الهواء الذي يحتوي على تركيز أعلى من الطبيعي من ثاني أكسيد الكربون.

ACID–BASE IMBALANCES: METABOLIC ACIDOSIS

يتكون علاج الحماض الأيضي من إعطاء محاليل وريدية من بيكربونات الصوديوم وتصحيح سبب الحماض.

- **The causes the blood pH to decrease.**

يؤدي إلى انخفاض درجة حموضة الدم.

- Three situations may lower the blood level of HCO_3^-:

ثلاث حالات قد تؤدي إلى انخفاض مستوى حمض الهيدروكلوريك في الدم:

(1) actual loss of HCO_3^-, such as may occur with severe diarrhea or renal dysfunction.

(١) الفقدان الفعلي لحمض الهيدروكلوريك، كما قد يحدث في حالات الإسهال الشديد أو اختلال وظائف الكلى.

(2) accumulation of an acid other than carbonic acid, as may occur in ketosis.

(٢) تراكم حمض غير حمض الكربونيك، كما قد يحدث في حالة الكيتوزية.

(3) failure of the kidneys to excrete hydrogen ions from metabolism of dietary proteins.

(٣) فشل الكلى في إخراج أيونات الهيدروجين من استقلاب البروتينات الغذائية.

- If the problem is not too severe, hyperventilation can help bring blood pH into the normal range (respiratory compensation).

إذا لم تكن المشكلة شديدة جدًا، يمكن أن يساعد فرط التنفس في إعادة درجة حموضة الدم إلى المعدل الطبيعي (التعويض التنفسي).

- Treatment of metabolic acidosis consists of administering intravenous solutions of sodium bicarbonate and correcting the cause of the acidosis.

ACID–BASE IMBALANCES: METABOLIC ALKALOSIS

- **A nonrespiratory loss of acid** or **excessive intake of alkaline drugs** causes the blood pH to increase above 7.45. **Excessive vomiting of gastric contents,** which results in a substantial loss of hydrochloric acid, is probably the most **frequent cause of metabolic alkalosis**.

يؤدي فقدان الحمض غير التنفسي أو الإفراط في تناول الأدوية القلوية إلى ارتفاع درجة حموضة الدم فوق ٧.٤٥. إن القيء المفرط لمحتويات المعدة، والذي يؤدي إلى فقدان كبير لحمض الهيدروكلوريك، هو على الأرجح السبب الأكثر شيوعا للقلاء الأيضي.

- Respiratory compensation through hypoventilation may bring blood pH into the normal range. Treatment of metabolic alkalosis consists of giving fluid solutions to correct chloride ions, potassium ions, and other electrolyte deficiencies plus correcting the cause of alkalosis.

قد يؤدي التعويض التنفسي من خلال نقص التهوية إلى إعادة درجة حموضة الدم إلى المعدل الطبيعي. يتكون علاج القلاء الأيضي من إعطاء محاليل سائلة لتصحيح أيونات الكلوريد وأيونات البوتاسيوم ونقص الإلكتروليتات الأخرى، بالإضافة إلى تصحيح سبب القلاء.

THANK YOU

AMJADZ@HU.EDU.JO