CAPITOLO

16

L'organizzazione del corpo umano: tessuti, omeostasi, tegumento, scheletro e muscoli

«La costanza dell'ambiente interno è la condizione della vita libera, indipendente.» — Claude Bernard, Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux, I, 1878, p. 113 (traduzione della redazione)

OBIETTIVI

1. Descrivere la posizione e le parti del corpo con il lessico anatomico: piani, termini di posizione e cavità.
2. Riconoscere i quattro tipi di tessuto e collegare la struttura di ciascuno alla sua funzione.
3. Spiegare l'omeostasi con il circuito recettore–centro di controllo–effettore e distinguere il feedback negativo da quello positivo.
4. Descrivere la struttura della pelle, delle ossa e delle articolazioni e le loro funzioni, con le principali regole di prevenzione.
5. Spiegare la contrazione del muscolo scheletrico con il modello dello scorrimento dei filamenti e calcolare le forze nelle leve del corpo.

INDICE DEL CAPITOLO

16.1 Come è organizzato il corpo umano 2
16.2 I tessuti 4
16.3 L'omeostasi 8
16.4 L'apparato tegumentario 10
16.5 L'apparato scheletrico 12
16.6 L'apparato muscolare 17

Scienze naturali 3 · Parte IV · Le basi molecolari della vita e il corpo umano · versione 1.0
Capitolo 16: L'organizzazione del corpo umano: tessuti, omeostasi, tegumento, scheletro e muscoli · pagine 407–436 del volume completo · estratto per lo studio

Il tuo corpo è fatto di decine di migliaia di miliardi di cellule, ma nessuna di loro lavora da sola. Le cellule simili si uniscono in tessuti, i tessuti formano gli organi, gli organi collaborano negli apparati. In questo capitolo studi i tessuti e i primi tre apparati: quello che riveste il corpo, quello che lo sostiene e quello che lo muove. Capirai perché la pelle si scotta, perché un osso rotto si salda, che cosa accade dentro un muscolo quando sollevi lo zaino e come il corpo mantiene la sua temperatura quasi costante, d'estate e d'inverno. Gli altri apparati (digerente, respiratorio, circolatorio, nervoso…) li studierai il prossimo anno.

16.1 Come è organizzato il corpo umano

DA RICORDARE

Richiamo · I livelli di organizzazione. In *Scienze naturali 2*, cap. 1, hai visto che nei viventi pluricellulari la materia si organizza per livelli: cellule → tessuti → organi → apparati → organismo. Un tessuto è un insieme di cellule simili, con la sostanza che le circonda, che svolgono la stessa funzione; un organo, come lo stomaco o un osso, è formato da più tessuti; un apparato è un insieme di organi che collaborano a una funzione. Molti testi italiani chiamano *sistema* un insieme di organi formati in prevalenza dallo stesso tessuto (sistema nervoso, sistema muscolare) e *apparato* uno formato da tessuti diversi; nell'uso comune i due termini si scambiano spesso.

16.1.1 Il lessico anatomico

Per descrivere il corpo senza ambiguità medici e anatomisti si riferiscono sempre a una posizione convenzionale, la **posizione anatomica**: corpo eretto, sguardo in avanti, braccia lungo i fianchi con il palmo delle mani rivolto in avanti, piedi paralleli e appoggiati a terra (Figura 16.1). Destra e sinistra sono sempre quelle del soggetto, non di chi guarda. Il corpo si può poi «tagliare» con tre tipi di piani, come si fa con le immagini di una risonanza magnetica: il **piano sagittale** divide il corpo in una parte destra e una sinistra (se passa esattamente per il mezzo è il piano sagittale mediano); il *piano frontale* (o coronale) lo divide in una parte anteriore e una posteriore; il *piano trasversale* lo divide in una parte superiore e una inferiore.

I termini di posizione si usano sempre a coppie e sempre in modo relativo, cioè confrontando due strutture:

- **superiore / inferiore**: più vicino alla testa o ai piedi (gli anatomisti dicono anche craniale e caudale). Il collo è superiore al torace.
- **anteriore (ventrale) / posteriore (dorsale)**: verso il davanti o verso il dietro del corpo. Lo sterno è anteriore al cuore; la colonna vertebrale è posteriore.

- **mediale / laterale**: più vicino o più lontano dalla linea mediana del corpo. Il naso è mediale rispetto agli occhi; il pollice, in posizione anatomica, è laterale rispetto al mignolo.
- **prossimale / distale**: negli arti, più vicino o più lontano dal punto in cui l'arto si attacca al tronco. Il gomito è prossimale al polso; le dita sono distali rispetto al palmo.
- **superficiale / profondo**: più vicino o più lontano dalla superficie del corpo. La pelle è superficiale rispetto ai muscoli.

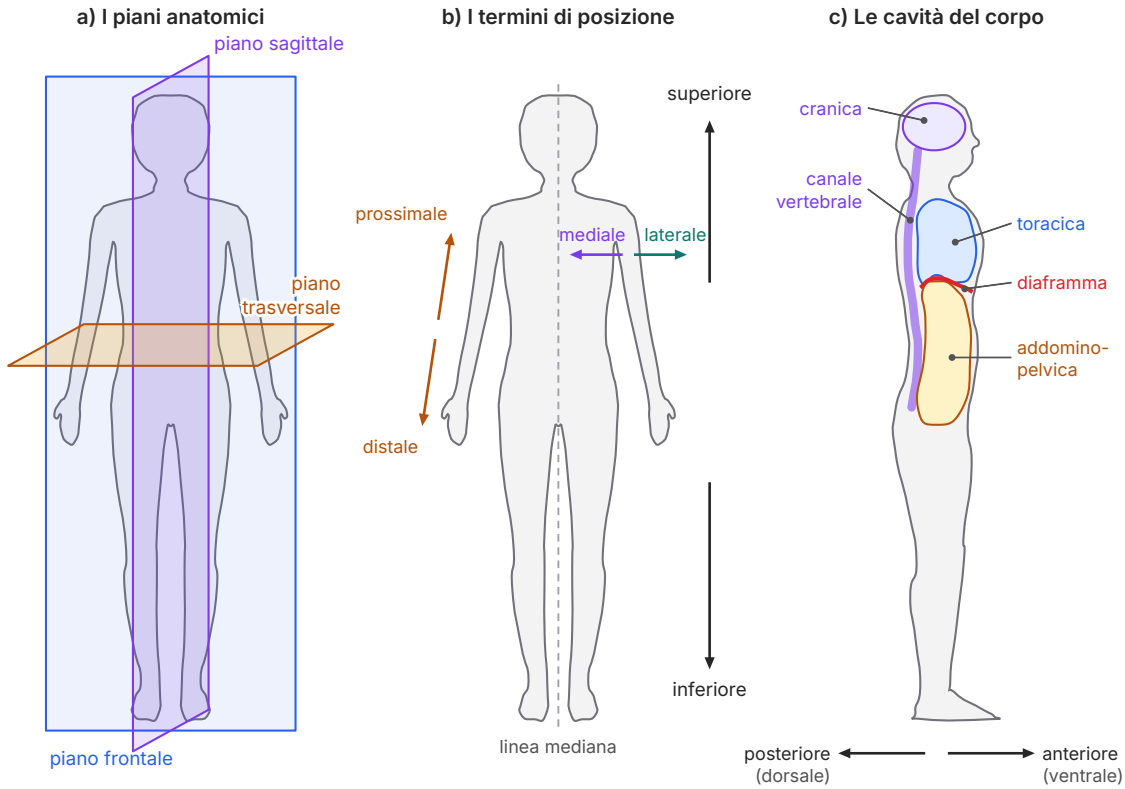

Figura 16.1 Il lessico anatomico (schema). a) Il corpo in posizione anatomica e i tre tipi di piani: sagittale, frontale e trasversale. b) Le coppie di termini di posizione: superiore/inferiore, mediale/laterale rispetto alla linea mediana, prossimale/distale lungo un arto. c) Le cavità del corpo viste in sezione sagittale (braccio non disegnato): la cavità cranica e il canale vertebrale sul lato posteriore; la cavità toracica e la cavità addominopelvica, separate dal diaframma, sul lato anteriore.

16.1.2 Le cavità del corpo

Molti organi sono alloggiati in spazi interni protetti, le cavità del corpo (Figura 16.1, c). Sul lato posteriore, la *cavità cranica* contiene l'encefalo e prosegue nel *canale vertebrale*, che ospita il midollo spinale: entrambi sono circondati da ossa. Sul lato anteriore si trovano due grandi cavità separate da un muscolo a forma di cupola, il *diaframma*, che ha anche un ruolo centrale nella

respirazione. La *cavità toracica* contiene i polmoni e il cuore ed è protetta dalla gabbia formata dalle coste e dallo sterno; la *cavità addominopelvica* contiene lo stomaco, il fegato, l'intestino e, nella parte inferiore circondata dalle ossa del bacino, la vescica e gli organi riproduttivi interni.

ERRORE FREQUENTE

«La destra della figura è la mia destra». In un disegno anatomico visto di fronte, o quando un medico ti guarda in faccia, la parte destra del soggetto si trova alla *sinistra* di chi osserva. Nella Figura 16.1, b, il braccio su cui sono indicati prossimale e distale è il braccio destro della persona. Lo stesso vale per le radiografie e le immagini di una TAC, che per convenzione si guardano come se si avesse il paziente di fronte.

16.2 I tessuti

Nel corpo umano esistono centinaia di tipi di cellule diverse, ma tutte si raggruppano in soli quattro tipi fondamentali di tessuto: epiteliale, connettivo, muscolare e nervoso (Tabella 16.1). Li studia l'*istologia*, al microscopio, su sezioni sottilissime e colorate. Come hai visto nel cap. 15, è l'espressione di geni diversi a rendere diverse cellule con lo stesso DNA.

Tabella 16.1 I quattro tipi fondamentali di tessuto.

Tessuto	Caratteristiche	Funzioni principali	Esempi
epiteliale	cellule molto vicine, poca sostanza fra loro, nessun vaso sanguigno; poggia su una membrana basale	rivestire, proteggere, assorbire, secernere	epidermide, rivestimento dell'intestino, ghiandole
connettivo	cellule sparse in un'abbondante matrice extracellulare, con fibre	sostenere, collegare, nutrire, difendere, immagazzinare	tendini, cartilagine, osso, tessuto adiposo, sangue
muscolare	cellule allungate (fibre) che si contraggono	movimento del corpo e degli organi interni	muscoli scheletrici, cuore, parete dell'intestino
nervoso	neuroni con lunghi prolungamenti e cellule gliali	ricevere, elaborare e trasmettere segnali	encefalo, midollo spinale, nervi

16.2.1 Il tessuto epiteliale

Il **tessuto epiteliale**, o epitelio, è formato da cellule strettamente unite fra loro da giunzioni, con pochissima sostanza intercellulare. Riveste la superficie del corpo e tappezza le cavità e i condotti interni: dalla bocca all'intestino, dalle vie respiratorie ai vasi sanguigni. Non contiene vasi sanguigni: le sue cellule ricevono nutrimento per diffusione dal connettivo sottostante, da cui le separa una sottile lamina di proteine e fibre, la **membrana basale**. Ogni epitelio ha quin-

di una faccia libera, rivolta verso l'esterno o verso una cavità, e una faccia basale, appoggiata sulla membrana basale.

Gli epiteli di rivestimento si classificano con due criteri (Figura 16.2). Il primo è la **forma delle cellule** dello strato più superficiale: *pavimentose* (appiattite come piastrelle), *cubiche* (alte quanto larghe) o *cilindriche* (più alte che larghe). Il secondo è il **numero di strati**: un epitelio *semplice* ha un solo strato di cellule, uno *stratificato* ne ha molti. Esiste anche l'epitelio *pseudostratificato*: sembra stratificato perché i nuclei si trovano ad altezze diverse, ma tutte le cellule toccano la membrana basale.

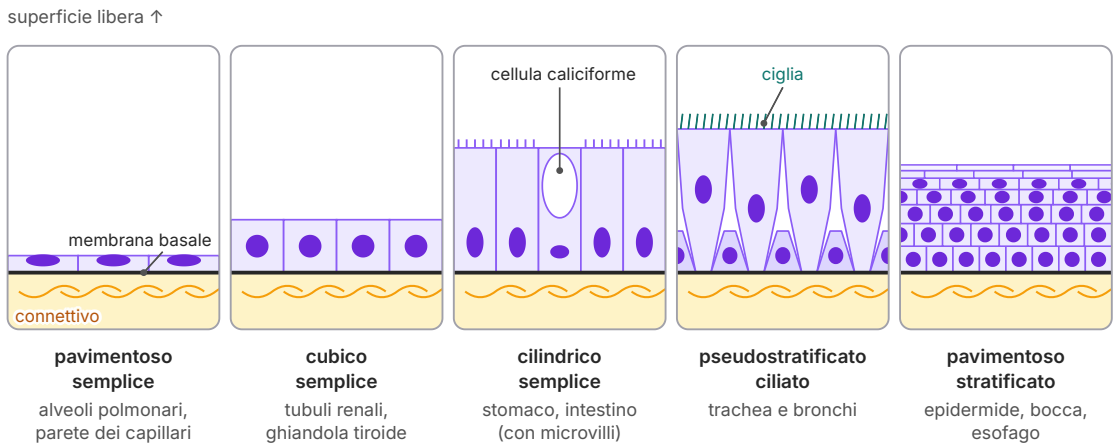

Figura 16.2 I principali epiteli di rivestimento (schemi di sezioni istologiche, non in scala). La superficie libera è in alto; sotto la membrana basale c'è il tessuto connettivo. Nell'epitelio cilindrico semplice dell'intestino le cellule hanno microvilli, e le cellule caliciformi producono muco; nell'epitelio pseudostratificato della trachea le ciglia spingono il muco verso la gola. Nell'epitelio pavimentoso stratificato le cellule nascono dallo strato basale e si appiattiscono avvicinandosi alla superficie.

La forma corrisponde alla funzione. Dove le sostanze devono attraversare l'epitelio in fretta, come l'ossigeno negli alveoli polmonari, l'epitelio è pavimentoso semplice e sottilissimo. Dove deve resistere all'attrito, come nella pelle, nella bocca e nell'esofago, è pavimentoso stratificato: le cellule superficiali si consumano e vengono rimpiazzate da quelle sottostanti. L'epitelio cilindrico dell'intestino, alto e dotato di microvilli che ne aumentano la superficie, assorbe le sostanze nutritive; quello pseudostratificato e ciliato delle vie respiratorie intrappola la polvere nel muco e, con il battito coordinato delle ciglia, la spinge verso la gola. Il fumo di sigaretta danneggia le ciglia: è una delle cause della tosse dei fumatori.

Alcuni epiteli sono specializzati nel produrre e liberare sostanze: formano le ghiandole. Una **ghiandola esocrina** riversa il suo prodotto attraverso un dotto sulla superficie del corpo o in una cavità: sono esocrine le ghiandole sudoripare, sebacee e salivari. Una *ghiandola endocrina* non ha dotti e libera i suoi prodotti, gli *ormoni*, direttamente nel sangue, che li porta a tutto il

corpo: è endocrina, per esempio, la tiroide. Il pancreas è una ghiandola mista: la parte esocrina produce succhi digestivi, la parte endocrina gli ormoni che regolano lo zucchero nel sangue.

16.2.2 Il tessuto connettivo

Il **tessuto connettivo** è il più vario dei tessuti. Le sue cellule sono sparse in un'abbondante *matrice extracellulare*, formata da una *sostanza fondamentale* (liquida, gelatinosa o solida) e da fibre proteiche. Le *fibre collagene*, di collagene, resistono alla trazione come cavi d'acciaio: il collagene è la proteina più abbondante dei mammiferi. Le *fibre elastiche*, di elastina, si allungano e tornano alla lunghezza iniziale. Sono proprio la matrice e le sue fibre, più che le cellule, a dare a ogni connettivo le sue proprietà (Figura 16.3):

- il **connettivo propriamente detto lasso**, con fibre intrecciate e molte cellule, tra cui i *fibroblasti* che producono le fibre, sostiene gli epiteli e riempie gli spazi fra gli organi;
- il **connettivo denso**, fatto quasi solo di fasci paralleli di fibre collagene, forma i *tendini*, che uniscono un muscolo a un osso, e i *legamenti*, che uniscono due ossa;
- il **tessuto adiposo** è formato da adipociti, cellule riempite da una grande goccia di grasso che spinge il nucleo contro la membrana; è una riserva di energia e un isolante;
- la **cartilagine** ha una matrice compatta ma flessibile, prodotta da cellule (i *condrociti*) chiuse in piccole cavità, le lacune. Non ha vasi sanguigni, e per questo, quando si lesiona, guarisce molto lentamente. La cartilagine *ialina* riveste le superfici articolari e forma gli anelli della trachea; quella *elastica* sostiene il padiglione dell'orecchio; quella *fibrosa*, ricca di collagene, forma i dischi fra le vertebre e i menischi del ginocchio;
- il **tessuto osseo** ha una matrice resa dura dai sali di calcio: lo vedrai nel paragrafo sullo scheletro;
- il **sangue** e la **linfa** sono connettivi con matrice liquida: nel sangue le cellule (globuli rossi, globuli bianchi e piastrine) sono sospese nel plasma.

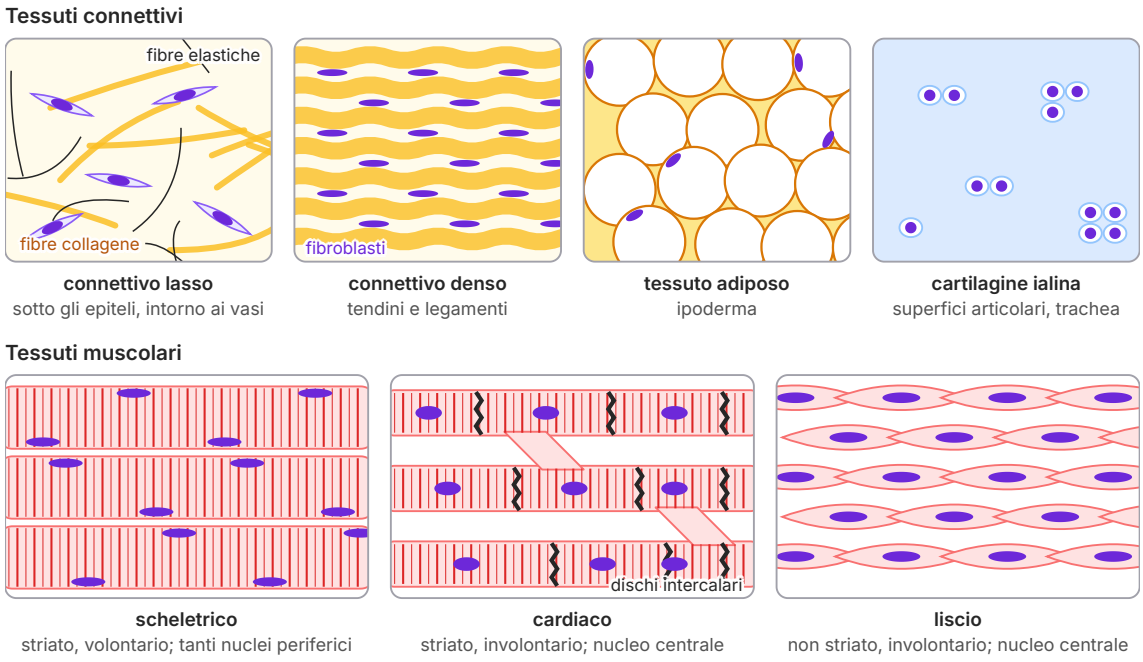

Figura 16.3 In alto: alcuni tessuti connettivi (schemi di sezioni, non in scala). Nel connettivo lasso le fibre collagene, spesse, e le fibre elastiche, sottili, sono intrecciate fra i fibroblasti; nel connettivo denso di un tendine i fasci di collagene sono paralleli; negli adipociti il nucleo è spinto alla periferia dalla goccia di grasso; nella cartilagine ialina i condrociti stanno, soli o a gruppi, nelle lacune di una matrice omogenea. In basso: i tre tessuti muscolari. Le fibre scheletriche sono lunghe, striate e hanno molti nuclei alla periferia; le cellule cardiache sono striate, ramificate, con un nucleo centrale, e sono unite dai dischi intercalari; le cellule muscolari lisce sono affusolate, senza striature, con un nucleo centrale.

16.2.3 Il tessuto muscolare e il tessuto nervoso

Il **tessuto muscolare** è formato da cellule allungate, le *fibre muscolari*, specializzate nel contrarsi, cioè nell'accorciarsi esercitando una forza. Ne esistono tre tipi (Figura 16.3). Il **muscolo scheletrico** muove le ossa ed è *volontario*: lo controlli quando decidi di muoverti. Le sue fibre sono cellule lunghissime con molti nuclei, disposti alla periferia, e al microscopio mostrano bande trasversali chiare e scure: per questo si dice *striato*. Il **muscolo cardiaco** forma la parete del cuore: anch'esso è striato, ma è *involontario*; le sue cellule, ramificate e con un nucleo centrale, sono unite da giunzioni speciali, i *dischi intercalari*, che permettono al segnale di contrazione di passare rapidamente da una cellula all'altra. Il **muscolo liscio** si trova nella parete dello stomaco, dell'intestino, dei vasi sanguigni e della vescica: è involontario, non ha striature e le sue cellule sono affusolate, con un solo nucleo centrale; si contrae lentamente e può restare contratto a lungo. Liscio e cardiaco usano lo stesso meccanismo di contrazione dello scheletrico, che vedrai alla fine del capitolo; il cuore lo studierai il prossimo anno.

Il **tessuto nervoso** è formato da due tipi di cellule. I *neuroni* ricevono, elaborano e trasmettono segnali: hanno un corpo cellulare con il nucleo, molti prolungamenti corti e ramificati che ricevono i segnali (i *dendriti*) e un prolungamento lungo che li trasmette (l'*assone*), che in alcuni neuroni supera il metro di lunghezza. Le *cellule gliali* sostengono, nutrono e isolano i neuroni. Come funzionano i neuroni lo vedrai il prossimo anno.

ERRORE FREQUENTE

«Il sangue non è un tessuto, è un liquido». Il sangue è un tessuto connettivo a tutti gli effetti: ha cellule specializzate, con un'origine comune nel midollo osseo, e una matrice extracellulare, il plasma, che in questo caso è liquida. È la natura della matrice, non lo stato fisico, a classificarlo.

«Il cuore è un muscolo liscio, perché è involontario». Volontario e striato non sono sinonimi. Il muscolo cardiaco è *striato*, come lo scheletrico, ma *involontario*, come il liscio: non puoi decidere di fermare il cuore.

16.3 L'omeostasi

Le cellule del corpo vivono immerse in un liquido, il liquido interstiziale, che si scambia sostanze con il plasma del sangue. Nel 1865 il fisiologo francese Claude Bernard chiamò questo liquido *milieu intérieur*, «ambiente interno», e osservò che la sua composizione, la sua temperatura e la sua pressione restano quasi costanti anche quando l'ambiente esterno cambia molto. Nel 1926 il fisiologo statunitense Walter B. Cannon coniò per questa condizione il termine omeostasi, che rese famoso nel libro *The Wisdom of the Body* del 1932 e che hai incontrato in *Scienze naturali 2*, cap. 1. L'omeostasi non è immobilità: è un equilibrio dinamico, mantenuto da continue correzioni.

16.3.1 Il circuito di regolazione

Ogni regolazione omeostatica funziona con le stesse componenti (Figura 16.4). Una variabile, per esempio la temperatura del corpo, devia dal suo valore normale: è lo *stimolo*. Dei *recettori* la misurano e inviano l'informazione a un *centro di controllo*, che la confronta con un *valore di riferimento* e, se serve, comanda una risposta agli *effettori*, cioè ai muscoli o alle ghiandole che possono modificare la variabile. Nella termoregolazione i recettori sono i termocettori della pelle e dell'ipotalamo, una piccola regione alla base dell'encefalo; il centro di controllo è l'ipotalamo stesso; gli effettori sono le ghiandole sudoripare, i vasi sanguigni della pelle e i muscoli scheletrici.

Se la temperatura sale, per esempio durante una corsa, i vasi della pelle si dilatano (*vasodilatazione*) e portano più sangue caldo verso la superficie, che cede calore all'ambiente; le ghiandole sudoripare producono sudore, che evaporando sottrae calore alla pelle. Se la temperatura

scende, i vasi della pelle si restringono (*vasocostrizione*) e il calore resta all'interno; i muscoli scheletrici si contraggono a scatti, involontariamente, nel *brivido*, e la loro attività produce calore. In entrambi i casi la risposta si oppone allo stimolo e riporta la variabile verso il valore normale: è un **feedback negativo** (retroazione negativa). Per la temperatura misurata in bocca o all'orecchio l'intervallo di riferimento è circa 36,5–37,5 °C: varia un poco da persona a persona, con il punto di misura e durante la giornata.

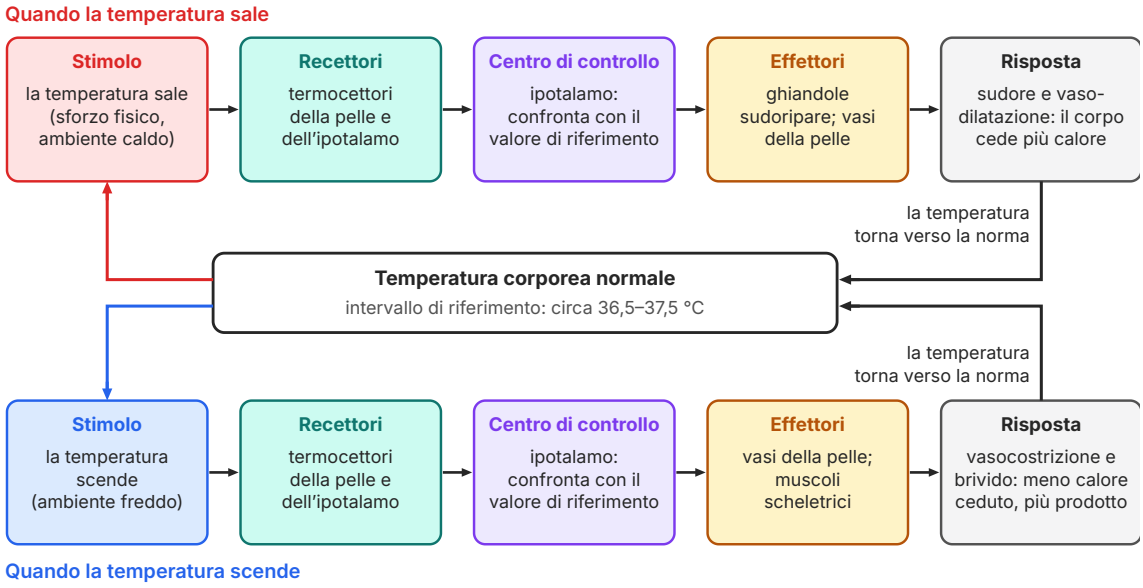

Figura 16.4 La termoregolazione come circuito a feedback negativo (schema semplificato). In alto, la risposta a un aumento della temperatura corporea; in basso, la risposta a una diminuzione. In entrambi i casi gli effettori producono un cambiamento opposto allo stimolo, e la temperatura torna verso l'intervallo di riferimento.

Quasi tutte le regolazioni dell'organismo sono a feedback negativo: un altro esempio, che studierai il prossimo anno, è la glicemia, la concentrazione di glucosio nel sangue, regolata dagli ormoni del pancreas insulina e glucagone. Nella febbre, invece, il valore di riferimento stesso viene alzato dall'ipotalamo in risposta a un'infezione: per questo, all'inizio della febbre, si ha freddo e si trema anche se la temperatura del corpo è già più alta del normale.

In pochi casi la risposta *rafforza* lo stimolo invece di contrastarlo: si parla di **feedback positivo**. Durante il parto la testa del bambino preme sul collo dell'utero; i recettori inviano segnali all'encefalo, che fa liberare l'ormone ossitocina; l'ossitocina rende più forti le contrazioni dell'utero, che spingono ancora di più il bambino, e così via, finché il parto non interrompe il ciclo. Allo stesso modo, nella coagulazione del sangue le prime piastrine attivate in una ferita ne richiamano altre, finché il tappo si chiude. Il feedback positivo serve a portare a termine rapidamente un evento; deve però avere una fine, perché un circuito che si autoalimenta senza freno allontana l'organismo dall'equilibrio.

COLLEGAMENTI

Fisica · Il raffreddamento per evaporazione. Per far evaporare un liquido occorre fornirgli energia, il calore latente di evaporazione, che in Fisica studi nei passaggi di stato (vedi anche *Scienze naturali 1*, cap. 2). Per l'acqua, alla temperatura della pelle, è di circa 2,4 kJ per ogni grammo. Durante un'ora di esercizio intenso al caldo si può perdere mezzo litro di sudore o più: se 500 g di sudore evaporano dalla pelle, sottraggono al corpo circa 500 × 2,4 kJ = 1200 kJ. Il sudore che gocciola senza evaporare non raffredda: per questo l'aria molto umida rende il caldo più pericoloso.

16.4 L'apparato tegumentario

La pelle, o cute, è l'organo più esteso del corpo: in un adulto ne copre una superficie di circa 2 m^2 (*Principles of Anatomy and Physiology*, Tortora e Derrickson). Insieme ai suoi annessi, peli, unghie e ghiandole, forma l'*apparato tegumentario*. È composta da due strati, l'epidermide e il derma, e poggia sull'ipoderma (Figura 16.5).

16.4.1 L'epidermide e il derma

L'**epidermide** è lo strato superficiale: un epitelio pavimentoso stratificato, senza vasi sanguigni. Le sue cellule principali, i *cheratinociti*, nascono nello *strato basale*, il più profondo, dove le cellule si dividono continuamente per mitosi. Spinte verso l'alto da quelle nuove, attraversano lo *strato spinoso* e lo *strato granuloso*, si riempiono di cheratina, una proteina fibrosa e resistente, e muoiono. Lo *strato corneo*, in superficie, è fatto di molti strati di cellule morte e appiattite, piene di cheratina, che si staccano di continuo e vengono sostituite: il viaggio dallo strato basale alla superficie dura alcune settimane. Nella pelle spessa del palmo delle mani e della pianta dei piedi c'è anche un sottile *strato lucido*, fra il granuloso e il corneo.

Nello strato basale si trovano anche i *melanociti*, cellule con lunghi prolungamenti che producono la **melanina**, un pigmento bruno-nerastro o rossastro, e la cedono ai cheratinociti vicini. Nei cheratinociti la melanina si raccoglie sopra il nucleo, come un ombrello, e assorbe la radiazione ultravioletta che danneggerebbe il DNA. Il colore della pelle dipende soprattutto dalla quantità e dal tipo di melanina che i melanociti producono, più che dal loro numero; l'esposizione al Sole stimola la produzione di melanina: è l'abbronzatura, una difesa, non un segno di salute.

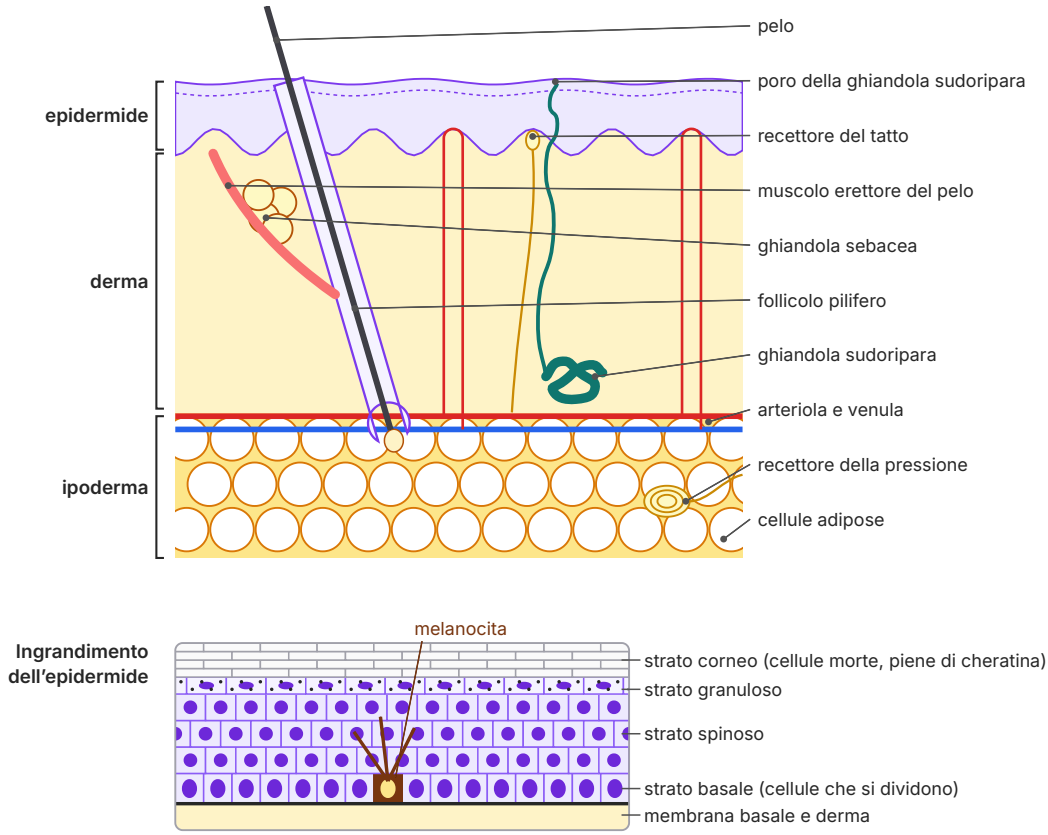

Figura 16.5 Sezione della pelle (schema non in scala). Sono indicati i tre strati, epidermide, derma e ipoderma, e gli annessi: il pelo nel suo follicolo, con la ghiandola sebacea e il muscolo erettore, e la ghiandola sudoripara, il cui dotto si apre in un poro. Nel derma corrono vasi sanguigni e terminazioni nervose: un recettore del tatto in una papilla, un recettore della pressione più in profondità. In basso, l'epidermide ingrandita: le cellule nascono nello strato basale, dove si trovano anche i melanociti, e diventano sempre più piatte verso lo strato corneo. Lo strato lucido, presente solo nella pelle spessa, non è disegnato.

Sotto l'epidermide si trova il **derma**, uno strato di connettivo ricco di fibre collagene ed elastiche, che danno alla pelle resistenza ed elasticità; con l'età, e con l'esposizione al Sole, queste fibre si alterano e compaiono le rughe. Le sue sporgenze, le papille, ancorano l'epidermide. Contiene vasi sanguigni, che nutrono anche l'epidermide, e molte terminazioni nervose sensibili al tatto, alla pressione, al caldo, al freddo e al dolore. Nel derma si trovano gli annessi: i *peli*, che nascono da un'introflessione dell'epidermide, il *follicolo pilifero*, e sono fatti di cellule cheratinizzate; le *ghiandole sebacee*, che versano nel follicolo il sebo, una miscela di lipidi che rende la pelle morbida e impermeabile; il piccolo *muscolo erettore del pelo*, liscio, che contraendosi solleva il pelo e produce la «pelle d'oca»; le *ghiandole sudoripare*, che con il sudore partecipano alla termoregolazione. Sotto il derma, l'*ipoderma*, di connettivo lasso e tessuto adiposo, collega la pelle ai muscoli, isola dal freddo e fa da riserva.

16.4.2 Le funzioni della pelle

La pelle **protegge** dagli urti, dai microrganismi, dalle sostanze chimiche, dai raggi ultravioletti e dalla perdita d'acqua; partecipa alla **termoregolazione**, con il sudore e con la regolazione del flusso di sangue nei vasi del derma; è un grande organo di **senso**. Infine produce la **vitamina D**: la radiazione UV-B trasforma un derivato del colesterolo presente nella pelle in un precursore della vitamina, che il fegato e il rene rendono attiva. La vitamina D è necessaria per assorbire il calcio dagli alimenti e quindi per la salute delle ossa: bastano esposizioni brevi e regolari alla luce del giorno, senza scottarsi.

COLLEGAMENTI

Educazione alla salute · Il Sole e la pelle. La radiazione ultravioletta (UV) del Sole si divide in tre bande (OMS): UV-C, da 100 a 280 nm, del tutto assorbita dall'atmosfera; UV-B, da 280 a 315 nm, in gran parte assorbita dall'ozono; UV-A, da 315 a 400 nm, che arriva quasi tutta al suolo. Gli UV-B provocano le scottature (eritema solare); gli UV-A penetrano fino al derma e ne invecchiano le fibre. Entrambi danneggiano il DNA, per esempio unendo due timine vicine in un dimero (cap. 14): le mutazioni che ne derivano, accumulate negli anni, possono portare a tumori della pelle, tra cui il melanoma, che nasce dai melanociti.

La sensibilità al Sole dipende dal *fototipo*, una classificazione della pelle (scala di Fitzpatrick, dal fototipo I, pelle chiarissima che si scotta sempre e non si abbronza, al VI, pelle scura che non si scotta quasi mai). Le regole di protezione valgono per tutti: evitare il Sole nelle ore centrali dei giorni estivi, cercare l'ombra, coprirsi con abiti, cappello e occhiali da sole, usare creme solari seguendo le indicazioni della confezione e del medico, non usare lampade e lettini abbronzanti. I nei vanno osservati: la regola **ABCDE** elenca i segni che devono spingere a farsi vedere da un medico, che è l'unico in grado di fare una diagnosi: **A**simmetria, **B**ordi irregolari, **C**olore non uniforme, **D**imensioni (in genere oltre 6 mm), **E**voluzione, cioè cambiamenti nel tempo.

Le ustioni sono di *primo grado* se colpiscono solo l'epidermide (arrossamento), di *secondo grado* se raggiungono il derma (vesciche), di *terzo grado* se distruggono tutto lo spessore della pelle: queste ultime sono un'emergenza medica.

16.5 L'apparato scheletrico

Lo scheletro **sostiene** il corpo e gli dà forma; **protegge** gli organi delicati (il cranio l'encefalo, le coste il cuore e i polmoni); permette il **movimento**, perché le ossa sono le leve su cui tirano i muscoli; è una **riserva di minerali**: circa il 99 % del calcio del corpo si trova nelle ossa e nei denti (National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements, scheda sul calcio, consultata nel 2026), e da lì viene ceduto al sangue quando serve. Infine il **midollo osseo rosso** produce le cellule del sangue: è l'*emopoiesi*.

16.5.1 Il tessuto osseo

Il tessuto osseo è un connettivo con una matrice speciale. La parte inorganica, circa la metà della massa dell'osso, è formata da cristalli di un fosfato di calcio, l'*idrossiapatite*, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, che danno durezza e resistenza alla compressione; la parte organica è fatta soprattutto di fibre collagene, che danno flessibilità e resistenza alla trazione. Un osso privato dei minerali (lasciato qualche giorno in aceto) si piega come gomma; uno privato del collagene si sbriciola: è un materiale composito, come il cemento armato.

Nell'osso lavorano tre tipi di cellule. Gli **osteoblasti** costruiscono nuova matrice e la mineralizzano; quando ne restano circondati diventano *osteociti*, cellule chiuse in piccole cavità, le lacune, collegate fra loro da canalicoli sottilissimi attraverso cui passano nutrimenti e segnali. Gli *osteoclasti*, grandi cellule con molti nuclei, demoliscono la matrice liberando acidi ed enzimi. Il lavoro coordinato di osteoclasti e osteoblasti, il *rimodellamento*, rinnova l'osso per tutta la vita: ripara le microlesioni, adatta lo scheletro ai carichi a cui è sottoposto e regola gli scambi di calcio con il sangue. Un osso che lavora di più si rinforza; un osso che non è caricato, come quello di un astronauta in assenza di peso o di un arto ingessato, perde massa.

Il tessuto osseo può essere di due tipi (Figura 16.6). L'**osso compatto**, che forma lo strato esterno di tutte le ossa, è costruito da migliaia di cilindri paralleli, gli **osteoni**, larghi qualche decimo di millimetro: ognuno è formato da lamelle concentriche di matrice disposte intorno a un *canale centrale* (di Havers), percorso da vasi sanguigni e nervi, con gli osteociti nelle lacune fra una lamella e l'altra. I canali di Havers sono collegati fra loro e con la superficie da canali trasversali, i *canali di Volkmann*. L'**osso spugnoso**, all'interno, è un reticolo di sottili travate, le *trabecole*, orientate secondo le linee di carico: è leggero e robusto, e i suoi spazi contengono il midollo rosso.

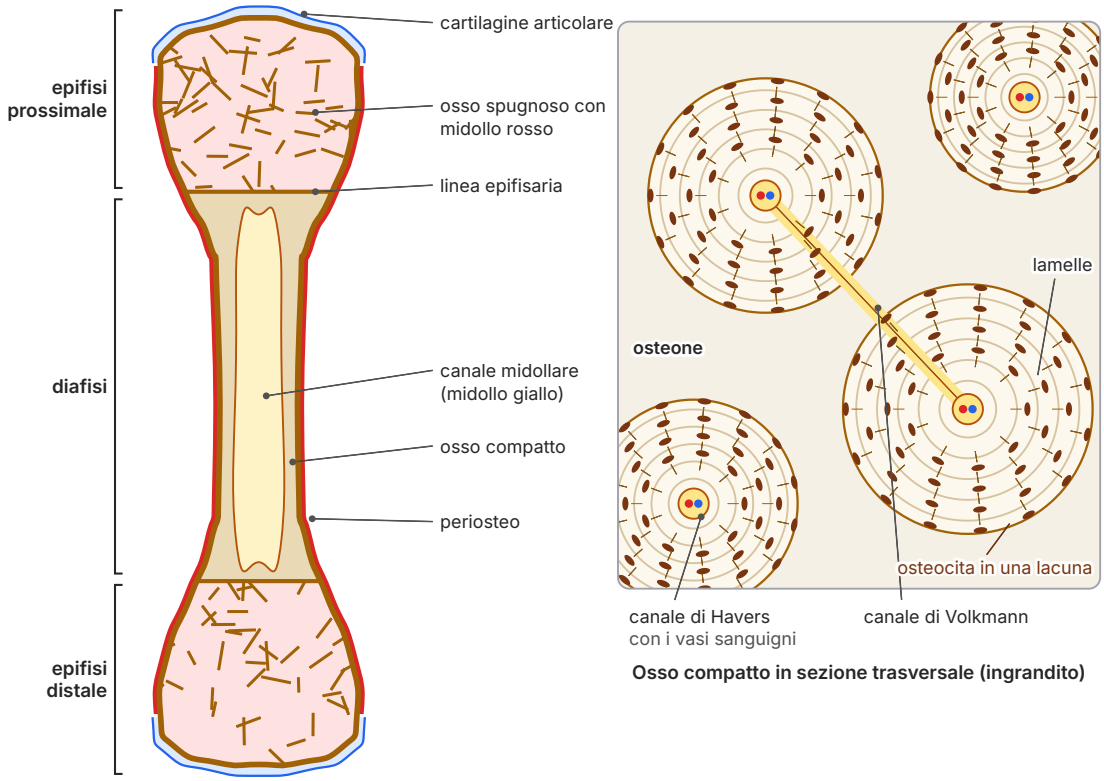

Figura 16.6 A sinistra, un osso lungo in sezione longitudinale (schema). Le epifisi sono rivestite di cartilagine articolare e contengono osso spugnoso con il midollo rosso; la diafisi ha una parete di osso compatto che circonda il canale midollare, con il midollo giallo. Il periosteo riveste l'osso tranne le superfici articolari; la linea epifisaria è ciò che resta, nell'adulto, della cartilagine di accrescimento. A destra, l'osso compatto in sezione trasversale (schema ingrandito): ogni osteone ha un canale di Havers con i vasi, circondato da lamelle concentriche fra cui si trovano gli osteociti nelle loro lacune; un canale di Volkmann collega due osteoni.

16.5.2 Come è fatto e come cresce un osso

Le ossa si classificano secondo la forma: *lunghe* (femore, omero, falangi), *brevi* (le ossa del carpo e del tarso), *piatte* (le ossa della volta cranica, lo sterno, la scapola, le coste), *irregolari* (le vertebre). Un osso lungo (Figura 16.6) ha due estremità allargate, le *epifisi*, rivestite di cartilagine articolare dove si articolano con le ossa vicine, e un corpo cilindrico, la *diafisi*, cava all'interno: il *canale midollare* che, nell'adulto, contiene il midollo giallo, ricco di grasso. All'esterno l'osso è rivestito dal *periosteo*, una membrana di connettivo con vasi e nervi, che contiene cellule capaci di formare osso: è il periosteo, insieme al midollo, a fornire le cellule che saldano una frattura.

Nell'embrione quasi tutto lo scheletro si forma prima in cartilagine ialina, che poi viene sostituita da osso; solo alcune ossa piatte, come quelle della volta del cranio, si formano direttamente nel connettivo. Durante l'infanzia e l'adolescenza, fra l'epifisi e la diafisi delle ossa lun-

ghe resta una lamina di cartilagine, la **cartilagine di accrescimento** (o piastra epifisaria). Dal lato dell'epifisi i condrociti si moltiplicano continuamente; dal lato della diafisi la cartilagine viene sostituita da osso. Così l'osso si allunga, mentre lo spessore cresce per l'aggiunta di osso sotto il periosteo. Alla fine della pubertà, sotto l'effetto degli ormoni sessuali, la cartilagine di accrescimento smette di moltiplicarsi e viene sostituita del tutto da osso: ne resta una sottile *linea epifisaria*, e la crescita in altezza si ferma.

16.5.3 Lo scheletro e le articolazioni

Lo scheletro di un adulto conta di solito 206 ossa; il numero varia un poco da persona a persona, e alla nascita le ossa sono più numerose, perché molte si fondono durante la crescita. Si divide in due parti (Figura 16.7). Lo *scheletro assile* forma l'asse del corpo: il cranio, la colonna vertebrale, le coste e lo sterno. La colonna vertebrale è formata da 7 vertebre cervicali, 12 toraciche e 5 lombari, più l'osso sacro e il coccige, formati da vertebre fuse; vista di lato ha quattro curve, che la rendono elastica. Lo *scheletro appendicolare* comprende le ossa degli arti e i *cingoli* che li collegano all'asse: il cingolo scapolare (clavicole e scapole) per gli arti superiori, il cingolo pelvico (le due ossa dell'anca, che con il sacro formano il bacino) per gli arti inferiori. Nell'avambraccio, in posizione anatomica, il *radio* è laterale, dalla parte del pollice, e l'*ulna* è mediale; nella gamba la *tibia*, che porta il peso, è mediale e il *perone* (o fibula) è laterale.

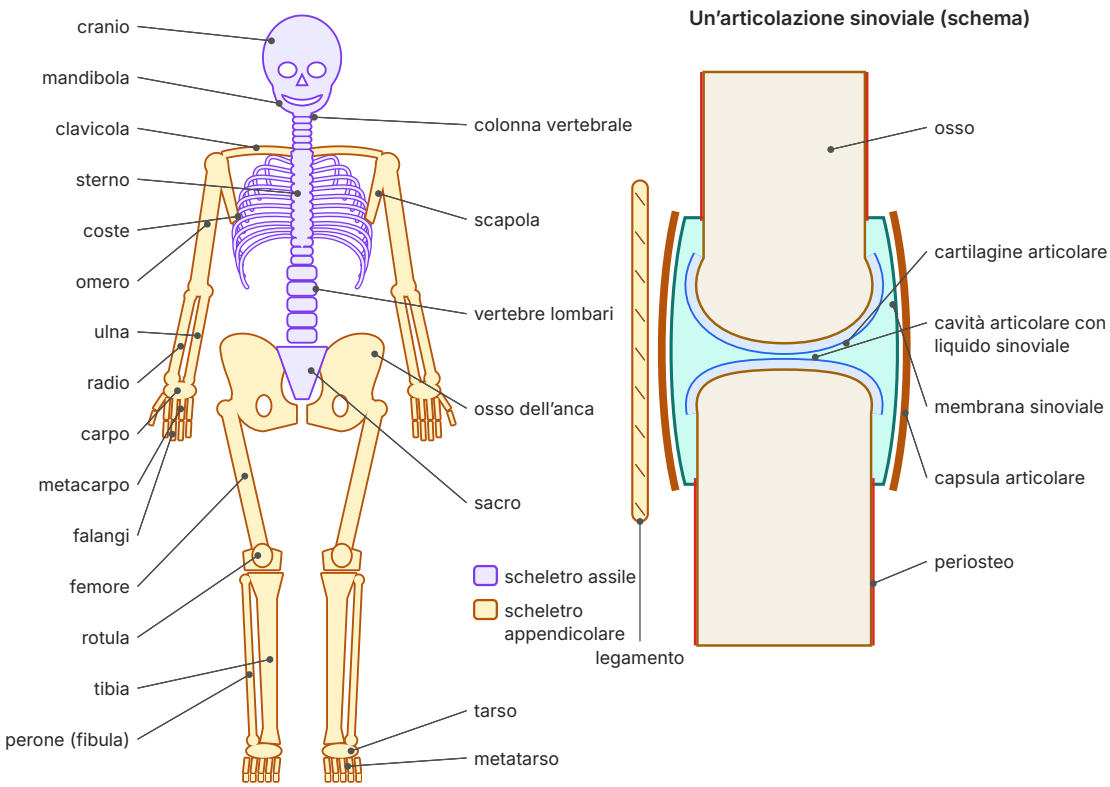

Figura 16.7 A sinistra, lo scheletro umano in veduta anteriore (schema; mani e piedi semplificati), con lo scheletro assile in viola e lo scheletro appendicolare in arancio; la scapola è dietro le coste e se ne vede solo il margine laterale. A destra, schema di un'articolazione sinoviale: le estremità delle ossa sono rivestite di cartilagine articolare; la capsula articolare, foderata internamente dalla membrana sinoviale, chiude la cavità articolare piena di liquido sinoviale; un legamento rinforza l'articolazione all'esterno.

Il punto di contatto fra due ossa è un'*articolazione*. Le articolazioni **immobili** uniscono le ossa con tessuto fibroso, come le suture del cranio; quelle **semimobili** le uniscono con cartilagine, come fra due vertebre o nella sinfisi pubica. Le articolazioni **mobili** sono le **articolazioni sinoviali** (Figura 16.7): le superfici ossee, rivestite di cartilagine articolare liscia, sono chiuse in una *capsula articolare* di connettivo denso, rinforzata da legamenti e rivestita all'interno dalla *membrana sinoviale*, che produce il *liquido sinoviale*, che lubrifica e nutre la cartilagine. Secondo la forma delle superfici si distinguono articolazioni *a cerniera*, che si piegano in un solo piano, come il gomito e le articolazioni fra le falangi; *a sfera*, che ruotano in ogni direzione, come la spalla e l'anca; *a perno*, in cui un osso ruota attorno al proprio asse, come fra le prime due vertebre cervicali quando giri la testa per dire «no»; *a sella*, alla base del pollice; *piane*, fra le ossa del carpo.

COLLEGAMENTI

Educazione alla salute · Ossa forti per tutta la vita. Una *frattura* è la rottura di un osso: si dice composta se i frammenti restano allineati, scomposta se si spostano, esposta se l'osso lacera la pelle. Nella guarigione si forma un «callo» di cartilagine e connettivo che gli osteoblasti trasformano in osso: per questo i frammenti vanno riallineati e tenuti fermi.

La massa ossea aumenta durante l'infanzia e l'adolescenza e raggiunge il massimo nei giovani adulti; poi diminuisce lentamente, e nelle donne più rapidamente dopo la menopausa. L'*osteoporosi* è una malattia in cui le ossa perdono massa e le trabecole si assottigliano, e diventano fragili: si fratturano anche per piccoli traumi, soprattutto il polso, le vertebre e il femore. La miglior prevenzione comincia alla tua età: un'alimentazione con abbastanza calcio (latte e derivati, ma anche legumi, alcune verdure e l'acqua), un'adeguata esposizione alla luce del giorno per la vitamina D, l'attività fisica con carico (camminare, correre, saltare, gli sport con la palla), niente fumo e niente eccessi di alcol. Gli integratori si usano solo su indicazione del medico.

La *scoliosi* è una curvatura laterale della colonna vertebrale, che compare spesso durante la crescita; una schiena non simmetrica, una spalla o un fianco più alti dell'altro sono buone ragioni per rivolgersi al medico, che deciderà se servono controlli.

16.6 L'apparato muscolare

Nel corpo ci sono più di seicento muscoli scheletrici. Ognuno è un organo, fatto di tessuto muscolare, connettivo, vasi e nervi; le guaine di connettivo che lo avvolgono si prolungano nei *tendini*, che lo ancorano alle ossa.

16.6.1 Dal muscolo al sarcomero

Un muscolo scheletrico è un fascio di fasci: è diviso in *fascicoli*, ognuno formato da molte *fibre muscolari*. Una fibra è una singola cellula, enorme: nasce nell'embrione dalla fusione di molte cellule e per questo ha centinaia di nuclei; è larga meno di un decimo di millimetro, ma può essere lunga molti centimetri. Il suo citoplasma è quasi interamente occupato da cilindri sottili e paralleli, le *miofibrille*, e ogni miofibrilla è una catena di unità contrattili ripetute, i **sarcomeri**.

Un sarcomero va da una *linea Z* alla successiva ed è lungo circa 2–3 µm (Figura 16.8). Contiene due tipi di filamenti proteici, disposti in modo ordinatissimo. I *filamenti sottili*, formati soprattutto da **actina**, partono dalle linee Z e si dirigono verso il centro del sarcomero. I *filamenti spessi*, formati da **miosina**, stanno al centro, tenuti insieme dalla *linea M*, e si sovrappongono in parte ai filamenti sottili; da ogni filamento spesso sporgono centinaia di «teste» di miosina rivolte verso le linee Z. La zona dei filamenti spessi appare scura: è la *banda A*. Ai lati della linea Z ci sono solo filamenti sottili: è la *banda I*, chiara. Al centro della banda A, dove i filamenti sottili non arrivano, c'è la *zona H*. L'alternanza di bande A e I produce la striatura.

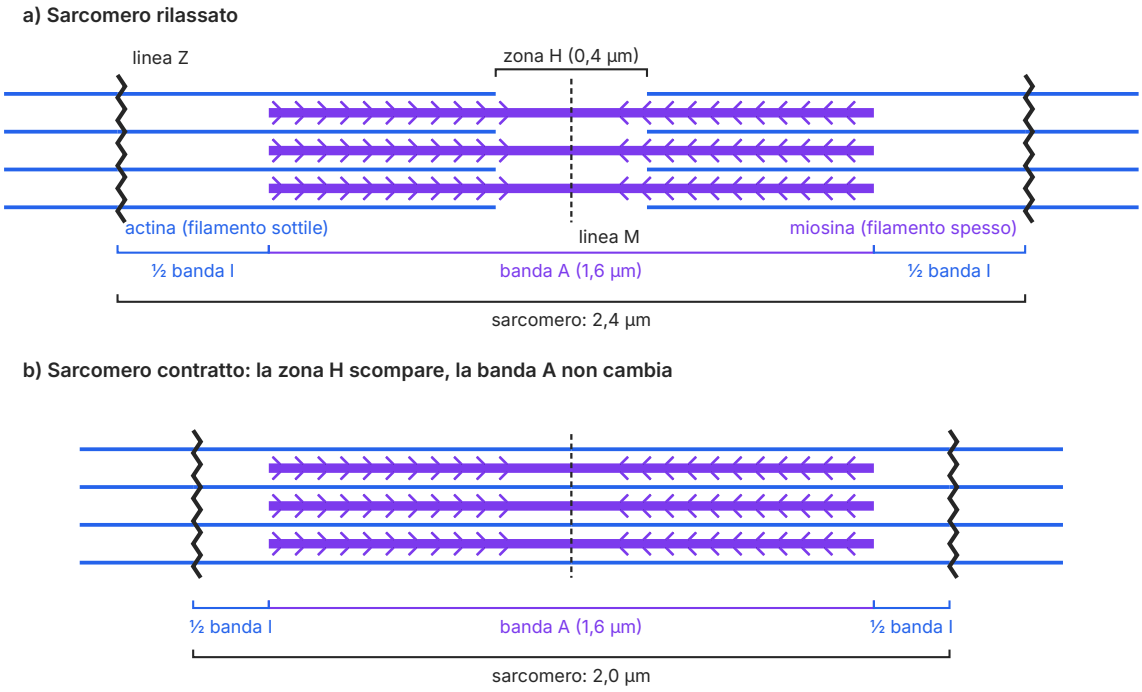

Figura 16.8 Un sarcomero rilassato (a) e lo stesso sarcomero contratto (b), disegnati in scala (dati tipici arrotondati: filamenti spessi di 1,6 µm, filamenti sottili lunghi 1,0 µm da ciascuna linea Z). Nella contrazione i filamenti sottili scorrono fra quelli spessi verso la linea M: le linee Z si avvicinano, la banda I e la zona H si accorciano, mentre la banda A, che corrisponde alla lunghezza dei filamenti spessi, resta uguale.

16.6.2 Lo scorrimento dei filamenti

Quando il muscolo si contrae, ogni sarcomero si accorcia; ma i filamenti non si accorciano. Le misure al microscopio mostrano che la banda A resta della stessa lunghezza, mentre la banda I e la zona H si riducono: i filamenti sottili **scorrono** fra quelli spessi, verso il centro del sarcomero, e trascinano con sé le linee Z (Figura 16.8). È il *modello dello scorrimento dei filamenti*, proposto nel 1954.

Il motore dello scorrimento sono le teste di miosina. Ognuna lega una molecola di ATP e la scinde in ADP e fosfato: l'energia liberata «carica» la testa, che si piega in avanti come una molla tesa. La testa si attacca allora a un filamento di actina, formando un *ponte trasversale*, e rilasciando ADP e fosfato si piega all'indietro, tirando il filamento sottile verso il centro del sarcomero: è il *colpo di forza*. Una nuova molecola di ATP fa staccare la testa dall'actina, e il ciclo ricomincia. Migliaia di teste lavorano senza sincronia, come una squadra che tira una fune passandosela di mano in mano. Senza ATP le teste non si staccano più dall'actina: è la ragione della rigidità del corpo dopo la morte, il *rigor mortis*, che si risolve solo quando le proteine cominciano a degradarsi.

Che cosa fa partire la contrazione? A riposo i siti dell'actina a cui si legherebbe la miosina sono coperti da una proteina filamentosa, la *tropomiosina*, tenuta in posizione da un'altra proteina, la *troponina*. Il segnale parte da un neurone motore, che raggiunge la fibra in un punto di contatto chiamato *giunzione neuromuscolare* (come funziona lo vedrai il prossimo anno). Il segnale si propaga lungo la membrana della fibra e fa liberare ioni calcio, Ca^{2+}, da una rete di membrane che avvolge ogni miofibrilla, il *reticolo sarcoplasmatico*, una forma specializzata di reticolo endoplasmatico liscio. Gli ioni Ca^{2+} si legano alla troponina, che sposta la tropomiosina e scopre i siti di legame: la miosina può agganciarsi all'actina. Quando il segnale cessa, pompe che consumano ATP riportano il Ca^{2+} nel reticolo, la tropomiosina torna a coprire i siti e il muscolo si rilassa. L'ATP serve quindi sia a contrarsi sia a rilassarsi.

APPROFONDIMENTO

Approfondimento · Due Huxley, un'idea

Il 22 maggio 1954 la rivista *Nature* pubblicò uno dopo l'altro due articoli che arrivavano, per strade diverse, alla stessa conclusione. Il fisiologo inglese Andrew F. Huxley e il tedesco Rolf Niedergerke, a Cambridge, osservarono fibre muscolari di rana intatte con un microscopio a interferenza costruito da Huxley; Hugh E. Huxley e Jean Hanson, al Massachusetts Institute of Technology, studiarono al microscopio miofibrille isolate di coniglio. Entrambi i gruppi videro che durante l'allungamento e la contrazione la banda A non cambiava lunghezza, mentre la banda I sì. I due Huxley, nonostante il cognome, non erano parenti. L'idea che i filamenti scorressero l'uno sull'altro, senza accorciarsi, sembrò a molti troppo semplice per essere vera; fu confermata negli anni successivi dalla microscopia elettronica, e il meccanismo molecolare dei ponti trasversali, che hai studiato qui, è stato chiarito a poco a poco nei decenni seguenti.

16.6.3 La forza del muscolo e le fonti di energia

Ogni fibra muscolare riceve il segnale da un solo neurone motore, ma un neurone motore, ramificandosi, comanda molte fibre. Un neurone motore con tutte le fibre che innerva forma un'**unità motoria**: quando il neurone invia un segnale, tutte le sue fibre si contraggono insieme. Il sistema nervoso gradua la forza attivando più o meno unità motorie e variando la frequenza dei segnali. Nei muscoli dei movimenti fini, come quelli degli occhi, le unità motorie hanno poche fibre; nei grandi muscoli della coscia ne hanno moltissime.

Un muscolo al lavoro consuma ATP in fretta, ma ne contiene una scorta sufficiente solo per pochi secondi di sforzo intenso. Lo rigenera con tre sistemi, che hai incontrato in parte in *Scienze naturali 2*, cap. 5 (Tabella 16.2). Per i primi secondi la *creatina fosfato*, una molecola immagazzinata nelle fibre, cede rapidamente il suo gruppo fosfato all'ADP. Poi interviene la glicolisi: il glucosio, ricavato soprattutto dal glicogeno del muscolo, viene scisso senza bisogno di ossigeno e il piruvato prodotto viene trasformato in lattato, con la fermentazione lattica; è un processo veloce ma che ricava da ogni molecola di glucosio solo 2 molecole di ATP. Negli sforzi che durano più di un paio di minuti prevale la respirazione cellulare aerobica nei mitocondri, più lenta

ma molto più redditizia, che usa glucosio e acidi grassi e richiede un rifornimento continuo di ossigeno.

Tabella 16.2 Le fonti di ATP del muscolo scheletrico durante uno sforzo intenso (durate indicative: dipendono dall'intensità dello sforzo e dall'allenamento).

Sistema	Ossigeno	Velocità	Durata indicativa	Esempio di sforzo
ATP già presente e creatina fosfato	non serve	altissima	circa 10 secondi	un salto, uno scatto di 60 m
glicolisi e fermentazione lattica	non serve	alta	fino a 1–2 minuti	una corsa di 400 m
respirazione cellulare aerobica	serve	più bassa	ore	una maratona, una lunga camminata

Le *fibre lente*, ricche di mitocondri e di mioglobina, una proteina rossa che lega l'ossigeno, lavorano con la respirazione aerobica e resistono alla fatica; le *fibre rapide* usano soprattutto la glicolisi, sono forti e veloci ma si affaticano presto. I maratoneti hanno di solito molte fibre lente nelle gambe, i velocisti molte fibre rapide.

ERRORE FREQUENTE

«I muscoli spingono». Un muscolo può soltanto contrarsi, cioè tirare; non può spingere. Per questo i muscoli scheletrici lavorano a coppie di *antagonisti*: il bicipite del braccio flette l'avambraccio, il tricipite lo estende; mentre uno si contrae, l'altro si rilassa e viene allungato.

«Il dolore del giorno dopo è colpa dell'acido lattico». Il lattato prodotto durante uno sforzo intenso viene smaltito dall'organismo in genere entro un'ora circa dalla fine dell'esercizio, in buona parte riutilizzato dal fegato, dal cuore e dagli stessi muscoli. L'indolenzimento che compare uno o due giorni dopo uno sforzo insolito è dovuto soprattutto a microlesioni delle fibre e alla reazione infiammatoria che le ripara.

16.6.4 Muscoli, ossa e leve

Quando un muscolo si contrae, tira il tendine e quindi l'osso a cui è attaccato, che ruota intorno a un'articolazione: l'osso funziona come una **leva**, cioè un corpo rigido che può ruotare intorno a un punto fisso, il *fulcro*. Sulla leva agiscono la *forza motrice F*, esercitata dal muscolo, e la *resistenza R*, cioè il peso della parte del corpo e di ciò che si solleva. La distanza fra il fulcro e la retta su cui agisce una forza è il suo *braccio*. Come studi in Fisica, la leva è in equilibrio quando:

$$F \cdot b_F = R \cdot b_R$$

dove b_F e b_R sono i bracci della forza motrice e della resistenza. Le leve si classificano in tre generi secondo la posizione del fulcro (Figura 16.9). Nella leva di **primo genere** il fulcro sta fra la forza e la resistenza: la testa appoggiata sulla prima vertebra, tenuta in equilibrio dai muscoli della nuca. Nella leva di **secondo genere** la resistenza sta fra il fulcro e la forza, e il braccio della forza è sempre maggiore di quello della resistenza: quando ti alzi sulla punta dei piedi, il fulcro è l'avampiede, il peso del corpo grava sulla caviglia e i muscoli del polpaccio tirano il calcagno. Nella leva di **terzo genere** la forza sta fra il fulcro e la resistenza: il bicipite, che si inserisce sul radio a pochi centimetri dal gomito, solleva un oggetto tenuto in mano.

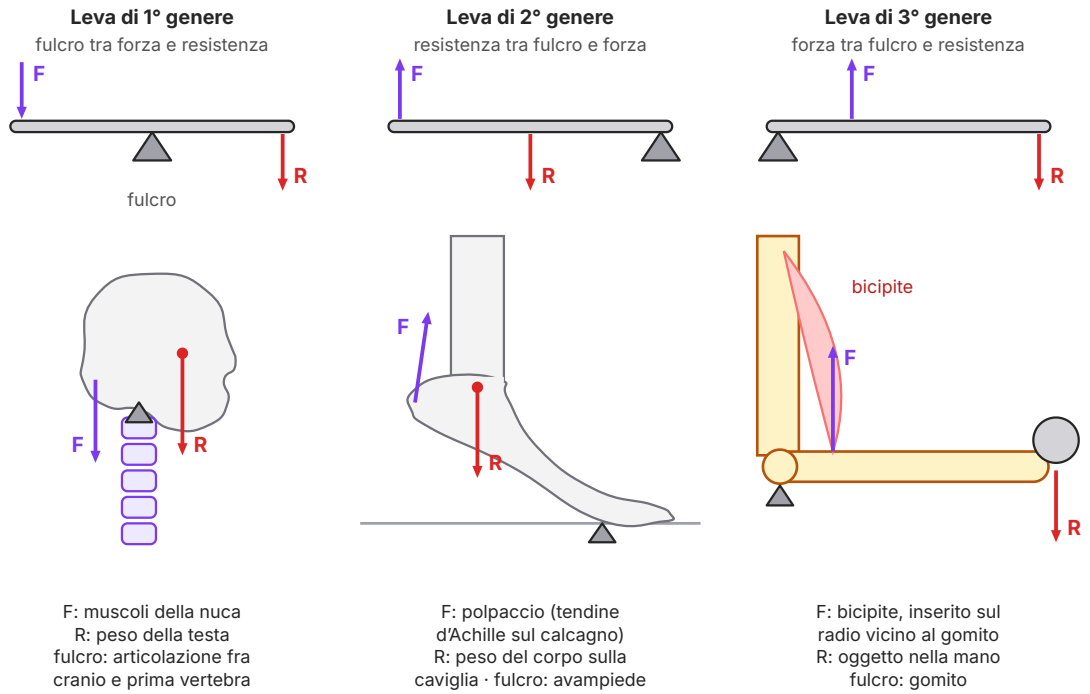

Figura 16.9 I tre generi di leva e un esempio di ciascuno nel corpo umano (schemi non in scala). F è la forza motrice, esercitata dal muscolo; R è la resistenza; il triangolo indica il fulcro. Nella leva di primo genere il baricentro della testa è davanti all'articolazione con la prima vertebra, e i muscoli della nuca la tengono sollevata tirando dietro.

ESEMPIO SVOLTO

La forza del bicipite

Problema. Tieni in mano una bottiglia da 3,0 kg con l'avambraccio orizzontale. Il bicipite si inserisce sul radio a 4,0 cm dal gomito e tira verticalmente; la bottiglia si trova a 32 cm dal gomito (dati di esempio). Trascurando il peso dell'avambraccio, quale forza deve esercitare il bicipite? Usa $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$.

Soluzione. È una leva di terzo genere con il fulcro nel gomito. La resistenza è il peso della bottiglia: $R = m \cdot g = 3{,}0\ \text{kg} \times 9{,}8\ \text{m/s}^2 = 29{,}4\ \text{N}$. I bracci sono $b_F = 4{,}0\ \text{cm}$ e $b_R = 32\ \text{cm}$. Dalla condizione di equilibrio:

$$F = \frac{R \cdot b_R}{b_F} = \frac{29{,}4\ \text{N} \times 32\ \text{cm}}{4{,}0\ \text{cm}} = 235\ \text{N}$$

Risultato. Con due cifre significative, $F \approx 2{,}4 \times 10^2\ \text{N}$: il bicipite tira con una forza circa otto volte maggiore del peso della bottiglia. Non serve convertire i centimetri in metri, perché nel rapporto le unità dei bracci si semplificano.

Attenzione. Le leve di terzo genere «sprecano» forza, ma guadagnano velocità e ampiezza di movimento: un accorciamento del bicipite di 1 cm sposta la mano di circa 8 cm, nello stesso tempo. È il compromesso che permette di lanciare una palla o di portare velocemente la mano alla bocca.

ESEMPIO SVOLTO

Le bande di un sarcomero

Problema. In una miofibrilla i filamenti spessi sono lunghi 1,6 µm e i filamenti sottili si estendono per 1,0 µm da ciascuna linea Z. Calcola la lunghezza della banda A, della banda I e della zona H quando il sarcomero è lungo 2,4 µm e quando, contraendosi, si accorcia a 2,0 µm.

Soluzione. La banda A corrisponde ai filamenti spessi: 1,6 µm in ogni caso. In un sarcomero, la parte non occupata dai filamenti spessi forma le due metà della banda I: $I = L - A$. La zona H è la parte centrale non raggiunta dai filamenti sottili, che entrano da entrambi i lati: $H = L - 2 \times 1{,}0\ \mu\text{m}$.

- $L = 2{,}4\ \mu\text{m}$: $I = 2{,}4 - 1{,}6 = 0{,}8\ \mu\text{m}$; $H = 2{,}4 - 2{,}0 = 0{,}4\ \mu\text{m}$.
- $L = 2{,}0\ \mu\text{m}$: $I = 2{,}0 - 1{,}6 = 0{,}4\ \mu\text{m}$; $H = 2{,}0 - 2{,}0 = 0$: i filamenti sottili si toccano al centro.

Risultato. La banda A resta 1,6 µm; la banda I passa da 0,8 a 0,4 µm e la zona H da 0,4 µm a zero (Figura 16.8). Il sarcomero si è accorciato di 0,4 µm, quanto la banda I.

ESPERIENZA DI LABORATORIO

Muscoli, tendini e articolazioni in un'ala di pollo

Obiettivo. Riconoscere in un preparato reale i tessuti e le strutture studiati nel capitolo e osservare come lavorano due muscoli antagonisti.

Materiale. Un'ala di pollo cruda (dal supermercato), vassoio da dissezione o tagliere di plastica, forbici con punte arrotondate e pinzette, guanti monouso, carta assorbente, lente d'ingrandimento, sacchetto per i rifiuti.

Procedimento. 1) Osserva la pelle e i follicoli delle penne; con le forbici incidi la pelle lungo l'ala e staccala, notando il connettivo lasso e il grasso giallastro sottostanti. 2) Individua i muscoli e separali con le dita lungo le guaine di connettivo; tira un muscolo della parte superiore dell'ala alla volta e osserva quale movimento produce. 3) Segui un muscolo fino al suo tendine, bianco e lucido, e prova a stirarlo. 4) Togli i muscoli intorno a un'articolazione, apri la capsula e osserva la cartilagine articolare, liscia e bianco-azzurrina, e il liquido sinoviale; cerca i legamenti.

Sicurezza. La carne cruda di pollo può contenere batteri come *Salmonella* e *Campylobacter*. Si lavora con i guanti, senza toccarsi il viso, su superfici che alla fine si lavano con acqua calda e detergente e si disinfettano; l'ala non va assaggiata; le forbici si usano con le punte rivolte lontano dalle mani; alla fine i resti si chiudono nel sacchetto dei rifiuti e ci si lava a lungo le mani con acqua e sapone, anche se si sono usati i guanti.

Risultato atteso. Tirando i muscoli di una faccia dell'ala l'articolazione si flette, tirando quelli della faccia opposta si estende: sono antagonisti. I tendini sono molto resistenti alla trazione (connettivo denso), la cartilagine è liscia e scivolosa, la capsula contiene un liquido viscoso.

Domande. 1) Che tipo di articolazione è quella del «gomito» dell'ala? 2) Perché il tendine è bianco e il muscolo rosso? 3) Quale tessuto hai trovato fra la pelle e i muscoli? 4) Il muscolo scheletrico osservato al microscopio sarebbe striato o liscio?

COLLEGAMENTI

Educazione alla salute · Allenamento e doping. Con l'allenamento di forza le fibre muscolari esistenti si ingrossano, perché producono più miofibrille; con l'allenamento di resistenza aumentano i mitocondri e i capillari. Un riscaldamento graduale riduce il rischio di *stiramenti*, lesioni delle fibre per un allungamento eccessivo. Il *doping* è l'uso di sostanze o pratiche vietate per migliorare le prestazioni. Gli *steroidi anabolizzanti*, derivati sintetici del testosterone, aumentano la massa muscolare ma possono danneggiare il fegato, il cuore e l'apparato riproduttore e, negli adolescenti, interrompere in anticipo la crescita in altezza, facendo ossificare le cartilagini di accrescimento. L'*EPO*, l'eritropoietina, l'ormone che stimola la produzione di globuli rossi, aumenta il trasporto di ossigeno ma rende il sangue più denso, con rischio di trombosi. In Italia il doping è regolato dalla legge 14 dicembre 2000, n. 376, e oggi è un reato previsto dall'articolo 586-bis del codice penale; l'elenco delle sostanze vietate è aggiornato ogni anno dall'Agenzia mondiale antidoping (WADA).

SINTESI

- Le descrizioni anatomiche si riferiscono alla **posizione anatomica**; il corpo si seziona con piani **sagittali**, **frontali** e **trasversali**; i termini di posizione (superiore/inferiore, anteriore/posteriore, mediale/laterale, prossimale/distale) sono relativi. Il **diaframma** separa la cavità toracica da quella addominopelvica.
- I tessuti sono di quattro tipi: **epiteliale**, **connettivo**, **muscolare** e **nervoso**.
- Gli **epiteli** hanno cellule unite, nessun vaso e una **membrana basale**; si classificano per forma (pavimentoso, cubico, cilindrico) e strati (semplice, stratificato, pseudostratificato). Le ghiandole **esocrine** hanno dotti, le **endocrine** liberano ormoni nel sangue.
- I **connettivi** hanno cellule sparse in una matrice con fibre collagene ed elastiche: connettivo lasso e denso, adiposo, **cartilagine** (senza vasi), osso, sangue e linfa.
- Il muscolo **scheletrico** è striato e volontario, il **cardiaco** striato e involontario, il **liscio** non striato e involontario.
- L'**omeostasi** si mantiene con circuiti stimolo → recettore → centro di controllo → effettore. Il **feedback negativo** (termoregolazione, glicemia) contrasta lo stimolo; il **feedback positivo** (parto, coagulazione) lo rafforza fino a un evento finale.
- La pelle è formata da **epidermide** (epitelio stratificato con cheratinociti e melanociti) e **derma** (connettivo con vasi, nervi e annessi) e poggia sull'ipoderma. Protegge, termoregola, sente e produce vitamina D; va difesa dai raggi UV.
- Il tessuto osseo ha una matrice di **idrossiapatite** e collagene; **osteoblasti**, osteociti e **osteoclasti** lo rimodellano per tutta la vita. L'osso compatto è fatto di **osteoni**; l'osso spugnoso di trabecole con il midollo rosso.
- Le ossa lunghe crescono in lunghezza grazie alla **cartilagine di accrescimento**, che alla fine della pubertà viene sostituita da osso. Lo scheletro adulto (di solito 206 ossa) si divide in **assile** e **appendicolare**.
- Le **articolazioni sinoviali** hanno cartilagine articolare, capsula, membrana e liquido sinoviale; possono essere a cerniera, a sfera, a perno, a sella, piane.
- Un muscolo è formato da fibre, miofibrille e **sarcomeri**. Nella contrazione i filamenti di **actina** scorrono fra quelli di **miosina** (banda A costante, banda I e zona H più corte), con l'energia dell'ATP e sotto il controllo degli ioni Ca^{2+}.
- La forza si gradua reclutando **unità motorie**. L'ATP viene rigenerato da creatina fosfato, glicolisi e respirazione aerobica. I muscoli tirano soltanto e lavorano a coppie antagoniste; le ossa sono **leve**: $F \cdot b_F = R \cdot b_R$.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● Quale piano divide il corpo in una parte anteriore e una parte posteriore?
   - **A.** il piano sagittale mediano
   - **B.** il piano trasversale
   - **C.** il piano frontale
   - **D.** un piano sagittale non mediano

2. ● In posizione anatomica, rispetto all'ulna, il radio è:
   - **A.** laterale
   - **B.** mediale
   - **C.** prossimale
   - **D.** posteriore

3. ● Quale di questi tessuti *non* contiene vasi sanguigni?
   - **A.** il tessuto osseo compatto
   - **B.** il muscolo scheletrico
   - **C.** il derma
   - **D.** l'epitelio dell'epidermide

4. ●● Una ghiandola senza dotti, che libera i suoi prodotti direttamente nel sangue, è:
   - **A.** esocrina
   - **B.** endocrina
   - **C.** sebacea
   - **D.** sudoripara

5. ● Quale tessuto muscolare è striato e involontario?
   - **A.** il muscolo scheletrico
   - **B.** il muscolo liscio dell'intestino
   - **C.** il muscolo cardiaco
   - **D.** il muscolo erettore del pelo

6. ●● Nella termoregolazione, qual è il centro di controllo?
   - **A.** l'ipotalamo
   - **B.** la pelle
   - **C.** le ghiandole sudoripare
   - **D.** i muscoli scheletrici

7. ●● Quale di questi processi è un esempio di feedback positivo?
   A. il brivido quando la temperatura del corpo scende
   B. la sudorazione durante una corsa
   C. la liberazione di insulina dopo un pasto
   D. le contrazioni del parto rinforzate dall'ossitocina

8. ●● Le cellule che demoliscono la matrice dell'osso sono:
   A. gli osteoblasti
   B. gli osteoclasti
   C. gli osteociti
   D. i condrociti

9. ●● Durante la contrazione di un sarcomero, quale lunghezza *non* cambia?
   A. la banda I
   B. la zona H
   C. la banda A
   D. la distanza fra due linee Z

Vero o falso

10. ● Il sangue è un tessuto connettivo.

11. ● L'epitelio pseudostratificato è formato da più strati di cellule sovrapposti.

12. ●● Nella febbre l'ipotalamo alza il valore di riferimento della temperatura corporea.

13. ● Lo strato corneo dell'epidermide è formato da cellule vive che si dividono continuamente.

14. ●● La cartilagine di accrescimento resta per tutta la vita fra l'epifisi e la diafisi delle ossa lunghe.

15. ●● Nella contrazione muscolare i filamenti di actina e di miosina si accorciano.

Applicare

16. ● Completa con il termine di posizione corretto: a) il polso è … rispetto al gomito; b) lo sterno è … rispetto alla colonna vertebrale; c) le orecchie sono … rispetto al naso; d) il ginocchio è … rispetto alla caviglia; e) la pelle è … rispetto alle ossa.

17. ●● Indica il tipo di epitelio descritto: a) un solo strato di cellule appiattite, nella parete dei capillari; b) molti strati, con cellule sempre più piatte verso la superficie, nell'esofago; c) un solo strato di cellule alte con microvilli, nell'intestino; d) un solo strato di cellule alte quanto larghe, nei tubuli renali; e) cellule ciliate i cui nuclei sono ad altezze diverse, nella trachea.

18. ●● Classifica secondo la forma (lungo, breve, piatto, irregolare) e secondo la parte dello scheletro (assile o appendicolare): femore, vertebra lombare, scapola, un osso del carpo, sterno, omero, una costa, un osso del tarso.

19. ●● La parte minerale dell'osso è l'idrossiapatite, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Calcola la sua massa molare e la percentuale in massa di calcio e di fosforo (masse atomiche dell'appendice).

20. ●● In un sarcomero i filamenti spessi sono lunghi 1,6 µm e i filamenti sottili si estendono per 1,0 µm da ciascuna linea Z. a) Calcola la banda I e la zona H quando il sarcomero è lungo 2,2 µm. b) Quanto è lungo il sarcomero quando la banda I misura 0,4 µm?

21. ●●● Una fibra muscolare contiene, lungo una miofibrilla, 4000 sarcomeri in fila, ciascuno lungo 2,5 µm a riposo. Durante una contrazione ogni sarcomero si accorcia a 2,1 µm. Calcola di quanti millimetri si accorcia la miofibrilla e di quale percentuale. Usa gli stessi filamenti dell'esercizio precedente per dire quanto misura la zona H prima e dopo.

22. ●● Una persona di 600 N si alza in punta di piedi su un solo piede. Il peso grava sulla caviglia, a 12 cm dall'avampiede (il fulcro); il tendine d'Achille tira il calcagno verso l'alto a 16 cm dall'avampiede (dati di esempio). Di che genere è la leva? Quale forza esercitano i muscoli del polpaccio?

23. ●●● La testa di una persona pesa 50 N e il suo baricentro si trova 2,5 cm davanti all'articolazione con la prima vertebra; i muscoli della nuca tirano 5,0 cm dietro l'articolazione (dati di esempio). a) Che genere di leva è? b) Calcola la forza dei muscoli della nuca in equilibrio. c) Chinando la testa sullo schermo del telefono il baricentro si sposta a 6,0 cm davanti all'articolazione: quanto diventa la forza?

Leggere dati e figure

24. ●● Una studentessa stringe una molletta da bucato fra pollice e indice il più velocemente possibile per 60 s e conta le strette in ogni intervallo di 10 s (dati di esempio, Tabella 16.3). a) Quante strette ha fatto in tutto? b) Di quale percentuale è diminuito il numero di strette dal primo all'ultimo intervallo? c) Come spieghi la diminuzione con le fonti di ATP del muscolo? d) Che cosa prevedi se ripete la prova dopo un minuto di riposo?

Tabella 16.3 Strette di una molletta da bucato in ogni intervallo di 10 s (dati di esempio).

Intervallo (s)	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60
Numero di strette	22	20	18	15	13	12

25. ●●● Osserva la Figura 16.8. a) Quali bande cambiano lunghezza fra il sarcomero rilassato e quello contratto? b) Con gli stessi filamenti, calcola di quanto si sovrappongono i filamenti sottili e quelli spessi, in ogni metà del sarcomero, quando il sarcomero è lungo 2,4 µm e quando è stirato fino a 3,6 µm. c) Perché un muscolo stirato a quel punto non riesce a sviluppare forza?

26. ●● Osserva la Figura 16.5. a) In quale strato si trovano i follicoli piliferi, le ghiandole sudoripare e i vasi sanguigni? b) In quale strato dell'epidermide si dividono le cellule e dove si trovano i melanociti? c) Perché un graffio che asporta solo lo strato corneo non sanguina?

27. ●● Al microscopio osservi quattro preparati. Riconosci il tessuto: a) cellule allungate, striate e ramificate, con un nucleo centrale e linee scure trasversali fra una cellula e l'altra; b) cellule rotondeggianti chiuse in piccole cavità di una matrice omogenea, senza vasi; c) cerchi concentrici di matrice dura intorno a un canale con vasi sanguigni; d) grandi cellule che sembrano vuote, con il nucleo schiacciato contro il bordo.

Indagare e argomentare

28. ●● Progetta un esperimento controllato per verificare se la pelle del polpastrello è più sensibile al tatto di quella dell'avambraccio, usando un compasso con le punte arrotondate (la minima distanza alla quale si distinguono due punte). Indica l'ipotesi, la variabile indipendente, la variabile dipendente, le variabili da tenere costanti, come eviti che il soggetto indovini e le precauzioni di sicurezza.

29. ●● In una giornata calda e molto umida, durante una partita, un giocatore si sente male per il caldo anche se suda moltissimo. Spiega che cosa accade usando il circuito a feedback negativo della termoregolazione e il raffreddamento per evaporazione, e indica due comportamenti di prevenzione.

30. ●●● Un'amica sostiene: «Prima dell'estate faccio qualche lampada abbronzante, così la pelle è protetta e poi posso stare al sole quanto voglio». Discuti l'affermazione con ciò che sai sui raggi UV, sulla melanina e sul DNA, e spiega che cosa le consiglieresti.

31. ●●● Prima del 1954 molti fisiologi pensavano che i muscoli si contraessero perché le loro proteine si ripiegavano e si accorciavano. Spiega perché l'osservazione che la banda A resta costante durante la contrazione era decisiva contro questa ipotesi e a favore dello scorrimento dei filamenti.

PER APPROFONDIRE

- [TOR] G. J. Tortora, B. Derrickson, *Principles of Anatomy and Physiology*: i capitoli sui tessuti, sull'apparato tegumentario, sul tessuto osseo e sul tessuto muscolare, con molte immagini istologiche.
- [CAM] L. A. Urry et al., *Campbell Biology*: i capitoli sull'organizzazione del corpo degli animali e sull'omeostasi, e sul movimento.
- [ALB] B. Alberts et al., *Molecular Biology of the Cell*: il capitolo sul citoscheletro, per il meccanismo molecolare della miosina.

Glossario del capitolo

Articolazione sinoviale
Articolazione mobile in cui le ossa, rivestite di cartilagine articolare, sono chiuse in una capsula con membrana e liquido sinoviale.

Cartilagine
Connettivo con matrice compatta e flessibile, senza vasi, prodotta da condrociti chiusi in lacune; ialina, elastica o fibrosa.

Cartilagine di accrescimento
Lamina di cartilagine fra epifisi e diafisi delle ossa lunghe che permette la crescita in lunghezza; alla fine della pubertà è sostituita da osso.

Derma
Strato della pelle sotto l'epidermide, di connettivo con fibre collagene ed elastiche, vasi, terminazioni nervose e annessi.

Epidermide
Strato superficiale della pelle: epitelio pavimentoso stratificato, senza vasi, le cui cellule nascono nello strato basale e muoiono nello strato corneo.

Feedback negativo
Meccanismo di regolazione in cui la risposta si oppone allo stimolo e riporta una variabile verso il valore di riferimento.

Feedback positivo
Meccanismo in cui la risposta rafforza lo stimolo, fino a un evento che interrompe il ciclo (parto, coagulazione).

Ghiandola esocrina / endocrina
Ghiandola che riversa il suo prodotto attraverso un dotto (esocrina) oppure libera ormoni direttamente nel sangue, senza dotti (endocrina).

Leva
Corpo rigido che ruota intorno a un fulcro sotto l'azione di una forza motrice e di una resistenza; è in equilibrio se $F \cdot b_F = R \cdot b_R$.

Melanina
Pigmento prodotto dai melanociti dell'epidermide che assorbe la radiazione ultravioletta e protegge il DNA.

Membrana basale
Sottile lamina di proteine e fibre che separa un epitelio dal connettivo sottostante.

Osteoblasti / osteoclasti
Cellule dell'osso che costruiscono e mineralizzano la matrice (osteoblasti) o la demoliscono (osteoclasti); insieme rimodellano l'osso.

Osteone
Unità strutturale dell'osso compatto: lamelle concentriche di matrice intorno a un canale di Havers, con gli osteociti nelle lacune.

Piano sagittale
Piano verticale che divide il corpo in una parte destra e una sinistra; il piano sagittale mediano passa per la linea mediana.

Posizione anatomica
Posizione di riferimento delle descrizioni anatomiche: corpo eretto, sguardo in avanti, braccia lungo i fianchi con i palmi in avanti, piedi paralleli.

Sarcomero
Unità contrattile della miofibrilla, fra due linee Z, formata da filamenti sottili di actina e spessi di miosina.

Tessuto connettivo
Tessuto di cellule sparse in un'abbondante matrice extracellulare con fibre; sostiene, collega, nutre e protegge (connettivo propriamente detto, adiposo, cartilagine, osso, sangue).

Tessuto epiteliale
Tessuto di cellule strettamente unite, senza vasi, appoggiato su una membrana basale, che riveste superfici e cavità e forma le ghiandole.

Tessuto muscolare
Tessuto di cellule allungate capaci di contrarsi: scheletrico, cardiaco o liscio.

Unità motoria
Un neurone motore con tutte le fibre muscolari che innerva, che si contraggono insieme.

Soluzioni

1. C. Il piano frontale (o coronale) separa la parte anteriore da quella posteriore; i piani sagittali separano destra e sinistra, il trasversale sopra e sotto.

2. A. In posizione anatomica il palmo è in avanti e il pollice è laterale; il radio sta dalla parte del pollice.

3. D. Gli epiteli non hanno vasi e sono nutriti per diffusione dal connettivo sottostante; osso, muscolo e derma sono vascolarizzati.

4. B. Le ghiandole endocrine non hanno dotti e liberano ormoni nel sangue; sebacee e sudoripare sono esocrine.

5. C. Il cardiaco è striato come lo scheletrico ma involontario; il liscio e l'erettore del pelo non sono striati.

6. A. L'ipotalamo confronta la temperatura con il valore di riferimento e comanda gli effettori.

7. D. L'ossitocina rinforza le contrazioni, che a loro volta fanno liberare altra ossitocina, fino al parto; gli altri sono feedback negativi.

8. B. Gli osteoclasti liberano acidi ed enzimi che sciolgono la matrice; gli osteoblasti la costruiscono.

9. C. La banda A corrisponde ai filamenti spessi, che non si accorciano; banda I, zona H e distanza fra le linee Z diminuiscono.

10. V. Ha cellule specializzate e una matrice extracellulare, il plasma, che è liquida.

11. F. Sembra stratificato perché i nuclei sono ad altezze diverse, ma tutte le cellule toccano la membrana basale: è formato da un solo strato.

12. V. Per questo all'inizio della febbre si sente freddo e si trema: il corpo «insegue» il nuovo valore più alto.

13. F. Lo strato corneo è fatto di cellule morte, appiattite e piene di cheratina; le cellule che si dividono sono nello strato basale.

14. F. Alla fine della pubertà la cartilagine di accrescimento è sostituita da osso e ne resta la linea epifisaria; la crescita in lunghezza si ferma.

15. F. I filamenti mantengono la loro lunghezza: i filamenti sottili scorrono fra quelli spessi, e si accorciano il sarcomero, la banda I e la zona H.

16. a) distale; b) anteriore (ventrale); c) laterali; d) prossimale; e) superficiale.

17. a) pavimentoso semplice; b) pavimentoso stratificato; c) cilindrico semplice; d) cubico semplice; e) pseudostratificato ciliato.

18. Femore: lungo, appendicolare. Vertebra lombare: irregolare, assile. Scapola: piatto, appendicolare (cingolo scapolare). Osso del carpo: breve, appendicolare. Sterno: piatto, assile. Omero: lungo, appendicolare. Costa: piatto, assile. Osso del tarso: breve, appendicolare.

19. $M = 10 \times 40{,}08 + 6 \times (30{,}97 + 4 \times 16{,}00) + 2 \times (16{,}00 + 1{,}008) = 400{,}8 + 569{,}82 + 34{,}016 = 1004{,}6$ g/mol. Ca: 400,8/1004,6 = 39,9 %. P: $6 \times 30{,}97 = 185{,}82$; 185,82/1004,6 = 18,5 %.

20. a) $I = 2{,}2 - 1{,}6 = 0{,}6$ µm; $H = 2{,}2 - 2 \times 1{,}0 = 0{,}2$ µm. b) $L = A + I = 1{,}6 + 0{,}4 = 2{,}0$ µm.

21. Accorciamento di ogni sarcomero: 2,5 − 2,1 = 0,4 µm; totale $4000 \times 0{,}4$ µm = 1600 µm = 1,6 mm. Lunghezza iniziale $4000 \times 2{,}5$ µm = 10 mm: 1,6/10 = 16 %. Zona H: prima 2,5 − 2,0 = 0,5 µm, dopo 2,1 − 2,0 = 0,1 µm.

22. Secondo genere: la resistenza (caviglia) sta fra il fulcro (avampiede) e la forza (calcagno). $F = 600 \text{ N} \times 12 \text{ cm} / 16 \text{ cm} = 450$ N. È minore del peso, come in ogni leva di secondo genere.

23. a) Primo genere: il fulcro sta fra la forza (nuca) e la resistenza (baricentro della testa). b) $F = 50 \text{ N} \times 2{,}5 \text{ cm} / 5{,}0 \text{ cm} = 25$ N. c) $F = 50 \text{ N} \times 6{,}0 \text{ cm} / 5{,}0 \text{ cm} = 60$ N: più del doppio. Tenere a lungo la testa china affatica i muscoli della nuca.

24. a) 22 + 20 + 18 + 15 + 13 + 12 = 100 strette. b) (22 − 12)/22 = 0,45: diminuzione del 45 %. c) All'inizio i muscoli usano l'ATP presente e la creatina fosfato, che si esauriscono in pochi secondi; poi l'ATP viene soprattutto dalla glicolisi, più lenta, e la fatica, che ha cause diverse (calo delle riserve, accumulo di prodotti del metabolismo), riduce la frequenza. d) Dopo il riposo la creatina fosfato si ricostituisce in parte e il numero di strette risale, senza tornare del tutto al valore iniziale se il riposo è breve.

25. a) Si accorciano la banda I e la zona H (che scompare); la banda A resta 1,6 µm. b) In ogni metà i filamenti spessi iniziano a $(L - 1{,}6)/2$ dalla linea Z, i sottili arrivano a 1,0 µm: sovrapposizione = $1{,}0 - (L - 1{,}6)/2$. A 2,4 µm: 1,0 − 0,4 = 0,6 µm; a 3,6 µm: 1,0 − 1,0 = 0. c) Senza sovrapposizione le teste di miosina non possono legarsi all'actina: non si formano ponti trasversali e non c'è forza.

26. a) Nel derma (il bulbo del pelo e la ghiandola sudoripara possono arrivare al confine con l'ipoderma); i vasi sanguigni sono nel derma e nell'ipoderma. b) Nello strato basale, dove si trovano anche i melanociti. c) L'epidermide non ha vasi sanguigni: i vasi più vicini sono nelle papille del derma.

27. a) muscolo cardiaco (le linee scure sono i dischi intercalari); b) cartilagine (ialina); c) osso compatto, con un osteone; d) tessuto adiposo.

28. Traccia. Ipotesi: la soglia di discriminazione di due punte è più piccola sul polpastrello. Variabile indipendente: la zona della pelle; dipendente: la distanza minima a cui il soggetto percepisce due punte. Costanti: stesso compasso, stessa pressione leggera, stesso soggetto o gruppo, stessa procedura; soggetto bendato, prove a caso con una sola punta (controllo) e due punte, distanze presentate in ordine casuale, più ripetizioni e più soggetti. Sicurezza: punte arrotondate, pressione leggera, compasso disinfettato fra un soggetto e l'altro. Risultato atteso: soglia di pochi millimetri sul polpastrello, di alcuni centimetri sull'avambraccio, perché i recettori del tatto vi sono più fitti.

29. Traccia. Lo stimolo (aumento della temperatura) è rilevato dai termocettori; l'ipotalamo comanda vasodilatazione e sudorazione. Ma il sudore raffredda solo evaporando, assorbendo circa 2,4 kJ per grammo: con l'aria molto umida evapora poco e gocciola, il calore non viene ceduto e la temperatura continua a salire, mentre il corpo perde acqua e sali. Il feedback negativo funziona, ma gli effettori non bastano. Prevenzione: bere spesso, fare pause all'ombra, evitare le ore più calde, abiti leggeri, fermarsi ai primi sintomi.

30. Traccia. Le lampade emettono soprattutto UV-A, che penetrano nel derma, invecchiano le fibre e danneggiano il DNA; l'abbronzatura è una risposta al danno, non una protezione completa (protegge poco, molto meno di una crema e degli abiti). Gli UV-B del Sole causano scottature e anch'essi mutazioni (dimeri di timina); i danni al DNA si accumulano negli anni e aumentano il rischio di tumori della pelle, melanoma compreso. Consigli: evitare le lampade, esporsi gradualmente evitando le ore centrali, usare abiti, cappello, occhiali e creme seguendo le indicazioni, considerare il proprio fototipo, controllare i nei con la regola ABCDE e rivolgersi al medico se cambiano.

31. Traccia. Se le proteine si accorciassero, si accorcerebbero anche i filamenti di miosina, e quindi la banda A, che ne misura la lunghezza. Le misure del 1954 (A. F. Huxley e Niedergerke; H. E. Huxley e Hanson) mostrarono invece che la banda A resta costante mentre la banda I e la zona H si riducono: i filamenti conservano la loro lunghezza e cambia soltanto la loro sovrapposizione. È ciò che prevede il modello dello scorrimento. Un dato che una delle due ipotesi prevede e l'altra esclude permette di scegliere fra loro.