CAPITOLO

10

L'apparato cardiovascolare e il sangue

Centomila battiti al giorno, senza mai una pausa più lunga di un secondo: il cuore lavora anche mentre dormi.

OBIETTIVI

1. Descrivere la circolazione doppia e completa e distinguere arterie e vene in base alla direzione del flusso.
2. Riconoscere cavità, valvole e grandi vasi del cuore e spiegare le fasi del ciclo cardiaco.
3. Descrivere il sistema di conduzione e leggere le onde di un elettrocardiogramma.
4. Calcolare la gittata cardiaca e collegare struttura e funzione di arterie, capillari e vene.
5. Descrivere la composizione del sangue, l'emostasi e la compatibilità delle trasfusioni.
6. Conoscere i principali fattori di rischio cardiovascolare e il valore del primo soccorso e della donazione del sangue.

INDICE DEL CAPITOLO

10.1 Un sistema di trasporto a doppio circuito 2
10.2 Il cuore 5
10.3 Il battito cardiaco 7
10.4 I vasi sanguigni e la pressione 12
10.5 Il sangue 15

Scienze naturali 4 · Parte IV · Il corpo umano: nutrizione, scambi e difesa · versione 1.0
Capitolo 10: L'apparato cardiovascolare e il sangue · pagine 251–276 del volume completo · estratto per lo studio

Mettiti due dita sul polso, dal lato del pollice: senti un colpo dopo l'altro, una settantina al minuto. Ogni colpo è un'onda di pressione partita dal cuore una frazione di secondo prima. In un giorno il cuore batte circa centomila volte e spinge nelle arterie qualcosa come settemila litri di sangue; non si ferma mai, nemmeno mentre dormi. Eppure nel corpo di un adulto ci sono soltanto circa 5 litri di sangue: lo stesso sangue, quindi, deve tornare al cuore ed esserne spinto di nuovo, giro dopo giro.

In questo capitolo seguiamo quel giro: la doppia circolazione, il cuore e il segnale elettrico che lo comanda, i vasi, e infine il sangue stesso, con le sue cellule e la sua capacità di fermare un'emorragia.

10.1 Un sistema di trasporto a doppio circuito

10.1.1 Perché serve una circolazione

Una cellula vive solo se riceve di continuo ossigeno e nutrienti ed elimina anidride carbonica e altri rifiuti. Su distanze di pochi centesimi di millimetro basta la diffusione, ma in un corpo grande servirebbero anni. Quasi tutti gli animali più grandi di qualche millimetro hanno perciò un apparato circolatorio. Nell'uomo è l'**apparato cardiovascolare**: una pompa, il cuore, e una rete di tubi, i vasi sanguigni, nei quali scorre un liquido di trasporto, il sangue. Il sangue porta ai tessuti l'ossigeno raccolto nei polmoni (cap. 9) e i nutrienti assorbiti nell'intestino (cap. 8), raccoglie i rifiuti destinati ai polmoni e ai reni (cap. 12), distribuisce ormoni (cap. 13) e calore e porta ovunque le cellule della difesa (cap. 11).

Il sistema è *chiuso*: il sangue resta sempre dentro i vasi (ne esce soltanto una parte del liquido, come vedremo), e gli scambi avvengono attraverso la parete sottilissima dei capillari. I vasi che portano il sangue *dal* cuore verso la periferia sono le **arterie**; quelli che lo riportano *al* cuore sono le **vene**; fra le une e le altre si trovano i **capillari**. La definizione si basa sulla direzione del flusso, non sul contenuto di ossigeno.

10.1.2 Due circuiti in serie

Nei mammiferi e negli uccelli il sangue compie a ogni giro due circuiti, uno dopo l'altro (Figura 10.1). Nella **piccola circolazione** (o polmonare) il ventricolo destro spinge il sangue povero di ossigeno nelle arterie polmonari; nei capillari dei polmoni il sangue cede CO_2 e si carica di O_2, poi torna all'atrio sinistro con le vene polmonari. Nella **grande circolazione** (o sistemica) il ventricolo sinistro spinge il sangue ricco di ossigeno nell'aorta e da qui in tutti gli organi; nei capillari dei tessuti il sangue cede O_2 e raccoglie CO_2, e torna all'atrio destro con le vene cave.

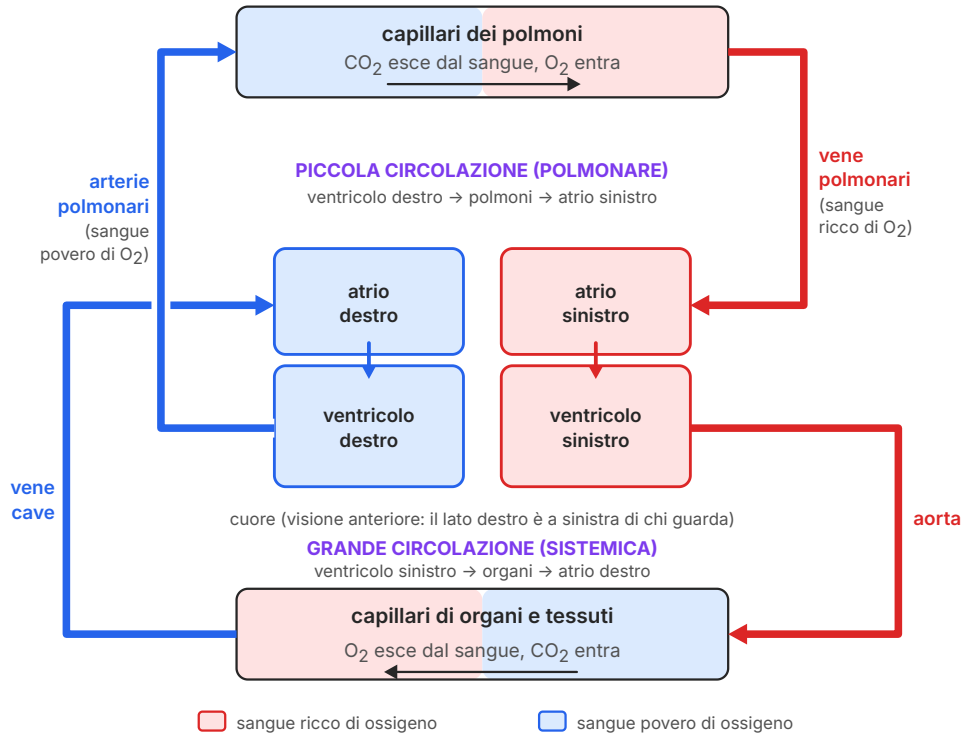


Figura 10.1 La circolazione doppia e completa (schema). Il cuore è visto da davanti, come in tutte le figure di questo capitolo: la sua metà destra è a sinistra di chi guarda. Il rosso e il blu indicano soltanto il contenuto di ossigeno: il sangue non è mai blu. Le arterie polmonari portano sangue povero di ossigeno, le vene polmonari sangue ricco di ossigeno.

Diciamo perciò che la circolazione umana è **doppia e completa**: doppia, perché il sangue passa due volte per il cuore a ogni giro; completa, perché la metà destra e la metà sinistra del cuore sono separate da un setto e il sangue ricco di ossigeno non si mescola mai con quello povero. Il vantaggio è doppio: ai tessuti arriva solo sangue ossigenato, e la pressione nella grande circolazione può essere molto più alta di quella, bassa, adatta ai delicati capillari dei polmoni. Nei pesci, invece, la circolazione è semplice (un solo circuito); negli anfibi è doppia ma incompleta, perché un unico ventricolo riceve sangue da entrambi gli atri.

ERRORE FREQUENTE

«Le arterie portano sangue ossigenato, le vene sangue venoso blu». Due errori in una frase. Le arterie polmonari portano sangue povero di ossigeno, le vene polmonari sangue ricco di ossigeno: arteria e vena si distinguono per la direzione del flusso rispetto al cuore. E il sangue è sempre rosso: rosso vivo quando l'emoglobina è carica di ossigeno, rosso scuro quando lo è meno. Le vene sotto la pelle sembrano bluastre per il modo in cui la pelle diffonde e assorbe la luce, non per il colore del sangue.

APPROFONDIMENTO

Approfondimento · Da Galeno a Harvey e Malpighi

Per quasi quindici secoli la medicina europea seguì il modello di Galeno, medico greco del II secolo d.C. Secondo Galeno il sangue si formava di continuo nel fegato a partire dal cibo, raggiungeva gli organi attraverso le vene e veniva consumato; una parte passava dal ventricolo destro al sinistro attraverso pori invisibili del setto, e le arterie portavano un sangue mescolato allo *pneuma*, lo «spirito» venuto dai polmoni. Nel Cinquecento alcuni anatomisti, fra i quali il cremonese Realdo Colombo, descrissero il passaggio del sangue dal cuore destro al sinistro attraverso i polmoni; a Padova Girolamo Fabrizio d'Acquapendente studiò le valvole delle vene.

L'inglese William Harvey, che si era laureato a Padova, pubblicò nel 1628 l'*Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus*, «Esercitazione anatomica sul movimento del cuore e del sangue negli animali». Gli argomenti erano sperimentali e quantitativi. Harvey stimò il sangue spinto dal cuore a ogni battito e lo moltiplicò per il numero dei battiti: anche con stime prudenti, in mezz'ora il cuore spinge più sangue di quanto ce ne sia in tutto il corpo, e molto più di quanto se ne possa produrre dal cibo. Il sangue, quindi, non si consuma: torna al cuore e gira in circolo. Con un laccio stretto sul braccio mostrò inoltre che le valvole delle vene lasciano passare il sangue solo verso il cuore.

Mancava un pezzo: come passa il sangue dalle arterie alle vene? Harvey non poteva vederlo. Nel 1661 Marcello Malpighi, professore a Bologna, osservò al microscopio il polmone di una rana e vide il sangue scorrere in vasi sottilissimi che collegano le une alle altre: i capillari. Il modello di Harvey era completo. Già nel 1637, nel *Discorso sul metodo*, Cartesio aveva accettato la circolazione di Harvey, pur spiegando il battito in modo diverso, e descriveva il corpo come una macchina, governata dalle stesse leggi della materia inanimata: un'idea che ritroverai in Filosofia.

10.2 Il cuore

10.2.1 Posizione, dimensioni e pareti

Il cuore è un organo muscolare cavo grande più o meno come un pugno chiuso e pesa circa 250–300 g in un adulto. Si trova nel torace, fra i due polmoni, dietro lo sterno e sopra il diaframma, spostato per circa due terzi a sinistra della linea mediana; la sua punta, l'*apice*, è rivolta in basso, in avanti e a sinistra.

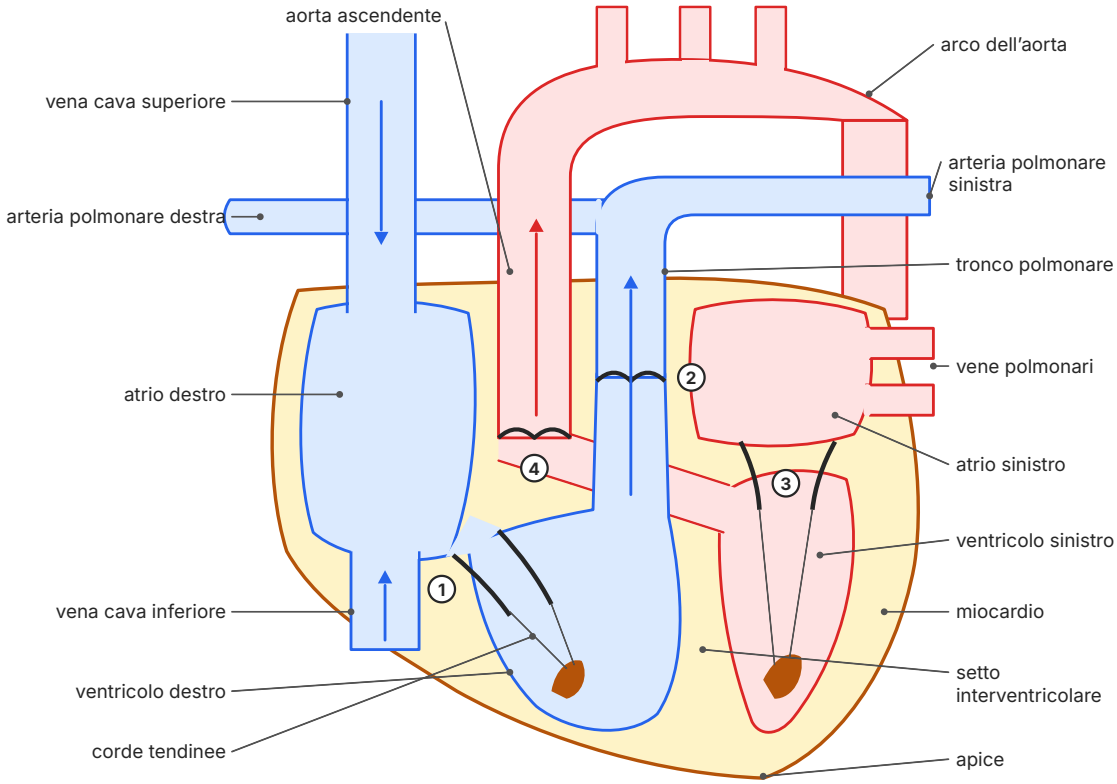
Il cuore è avvolto dal **pericardio**, un sacco a doppia parete: lo strato esterno, fibroso, lo ancora alle strutture vicine; fra i due foglietti del pericardio sieroso un velo di liquido riduce l'attrito a ogni battito. La parete del cuore ha tre strati: l'*epicardio* all'esterno, il **miocardio** al centro, l'*endocardio* all'interno, un endotelio che riveste le cavità e le valvole e continua in quello dei vasi.

> **DA RICORDARE**
>
> **Richiamo.** Lo scorso anno (*Scienze naturali 3*, cap. 14) hai visto che il muscolo cardiaco è striato come lo scheletrico ma involontario, e che le sue cellule, ramificate, sono unite dai dischi intercalari, attraverso i quali l'eccitazione passa da una cellula all'altra: per questo il miocardio si contrae come un'unica massa. Hai visto anche che il sangue è un tessuto connettivo con matrice liquida, il plasma.

10.2.2 Quattro cavità e quattro valvole

Il cuore umano ha quattro cavità (Figura 10.2). In alto si trovano i due **atri**, che ricevono il sangue dalle vene; in basso i due **ventricoli**, che lo spingono nelle arterie. Un setto interatriale e un setto interventricolare separano completamente la metà destra dalla metà sinistra. Nell'atrio destro sboccano la vena cava superiore e la vena cava inferiore; dal ventricolo destro parte il tronco polmonare, che si divide nelle arterie polmonari destra e sinistra. Nell'atrio sinistro sboccano quattro vene polmonari; dal ventricolo sinistro parte l'aorta, che sale, si incurva nell'arco aortico e scende lungo la colonna vertebrale.

Le pareti delle cavità non sono uguali. Gli atri, che spingono il sangue solo nel ventricolo sottostante, hanno pareti sottili. Il ventricolo sinistro, che deve spingere il sangue in tutto il corpo, ha una parete muscolare circa tre volte più spessa di quella del ventricolo destro, che lo spinge soltanto fino ai polmoni. Entrambi i ventricoli, però, espellono a ogni battito lo stesso volume di sangue: se così non fosse, in pochi minuti il sangue si accumulerebbe in uno dei due circuiti.



1 valvola tricuspide · **2** valvola polmonare · **3** valvola mitrale (bicuspide) · **4** valvola aortica

Figura 10.2 Sezione frontale del cuore, vista da davanti (schema non in scala). Le frecce indicano il percorso del sangue. Il ventricolo sinistro ha la parete più spessa. Il tratto che porta il sangue dal ventricolo sinistro alla valvola aortica passa dietro l'uscita del ventricolo destro. Le valvole sono numerate: 1 tricuspide, 2 polmonare, 3 mitrale, 4 aortica.

Il sangue nel cuore scorre in una sola direzione grazie a quattro **valvole**, lembi di tessuto connettivo rivestiti di endocardio che si aprono e si chiudono passivamente, spinti dalle differenze di pressione:

- le due **valvole atrioventricolari**, fra ciascun atrio e il ventricolo sottostante: la **tricuspide** (tre lembi) a destra, la **bicuspide** o **mitrale** (due lembi) a sinistra. I lembi sono collegati da sottili cordoni, le *corde tendinee*, ai muscoli papillari della parete del ventricolo: quando il ventricolo si contrae, le corde impediscono ai lembi di rovesciarsi nell'atrio;
- le due **valvole semilunari**, all'uscita dei ventricoli: la **polmonare**, all'inizio del tronco polmonare, e l'**aortica**, all'inizio dell'aorta. Ciascuna è formata da tre tasche a mezzaluna che si riempiono di sangue e si chiudono quando il sangue tende a ricadere nel ventricolo.

10.2.3 La circolazione coronarica

Il miocardio lavora senza sosta e consuma molto ossigeno, ma non può prenderlo dal sangue che passa nelle cavità: la parete è troppo spessa. Lo riceve da vasi propri, le **arterie coronarie**, destra e sinistra, che nascono dall'aorta subito sopra la valvola aortica e si ramificano sulla superficie del cuore. Il sangue venoso del cuore si raccoglie nel seno coronarico, che sbocca nell'atrio destro. Le coronarie si riempiono soprattutto durante il rilassamento del cuore, quando il miocardio non le comprime. Se una coronaria si chiude, la parte di miocardio che essa irrora resta senza ossigeno: è l'infarto, di cui parleremo più avanti in questo capitolo.

10.3 Il battito cardiaco

10.3.1 Il ciclo cardiaco

La sequenza di eventi che si ripete a ogni battito si chiama **ciclo cardiaco**. La fase di contrazione è la **sistole**, quella di rilassamento la **diastole**. A una frequenza di 75 battiti al minuto un ciclo dura 0,8 s, divisi così (valori tipici): sistole degli atri circa 0,1 s, sistole dei ventricoli circa 0,3 s, diastole di tutte le cavità circa 0,4 s.

1. **Diastole.** Atri e ventricoli sono rilassati. Il sangue arriva dalle vene negli atri e, attraverso le valvole atrioventricolari aperte, scende nei ventricoli, che si riempiono per la maggior parte già in questa fase. Le valvole semilunari sono chiuse.
2. **Sistole atriale.** Gli atri si contraggono e completano il riempimento dei ventricoli.
3. **Sistole ventricolare.** I ventricoli si contraggono: la pressione al loro interno supera subito quella degli atri e le valvole atrioventricolari si chiudono. Quando supera anche la pressione nell'aorta e nel tronco polmonare, le valvole semilunari si aprono e il sangue viene espulso. Alla fine della sistole i ventricoli si rilasciano, la pressione cala e le semilunari si chiudono: comincia una nuova diastole.

Con lo stetoscopio si sentono due *toni cardiaci*: il primo, più lungo e grave, è dovuto alla chiusura delle valvole atrioventricolari all'inizio della sistole ventricolare; il secondo, più breve, alla chiusura delle valvole semilunari all'inizio della diastole. Un suono in più, un *soffio*, può indicare una valvola che non si chiude bene o non si apre del tutto; non sempre è un segno di malattia, e lo valuta il medico.

10.3.2 Il sistema di conduzione

Un cuore isolato dal corpo, in una soluzione adatta, continua a battere: il battito nasce nel cuore stesso. Alcune cellule muscolari cardiache modificate, che si contraggono poco ma generano e conducono impulsi elettrici, formano il **sistema di conduzione** (Figura 10.3). Tutte le sue parti si trovano dentro la parete del cuore.

1. Il **nodo senoatriale** (seno-atriale, SA), nella parete dell'atrio destro vicino allo sbocco della vena cava superiore, genera spontaneamente gli impulsi: è il *pacemaker* («segnapassi») naturale. L'impulso si propaga attraverso la parete dei due atri, che si contraggono quasi insieme.
2. Fra atri e ventricoli il tessuto connettivo dello *scheletro fibroso*, che sostiene le valvole, è un isolante elettrico. L'unica via di passaggio parte dal **nodo atrioventricolare** (AV), nella parte bassa del setto interatriale, che rallenta l'impulso di circa 0,1 s: il tempo perché gli atri finiscano di svuotarsi prima che i ventricoli si contraggano.
3. Dal nodo AV l'impulso percorre il **fascio di His**, che attraversa lo scheletro fibroso ed entra nel setto interventricolare, dove si divide in una branca destra e una branca sinistra.
4. Le branche scendono lungo il setto fino all'apice e continuano nelle **fibre di Purkinje**, che risalgono nella parete dei ventricoli e vi distribuiscono rapidamente l'impulso. I ventricoli si contraggono dall'apice verso la base, spremendo il sangue verso le valvole semilunari, come si spreme un tubetto di dentifricio dal fondo.

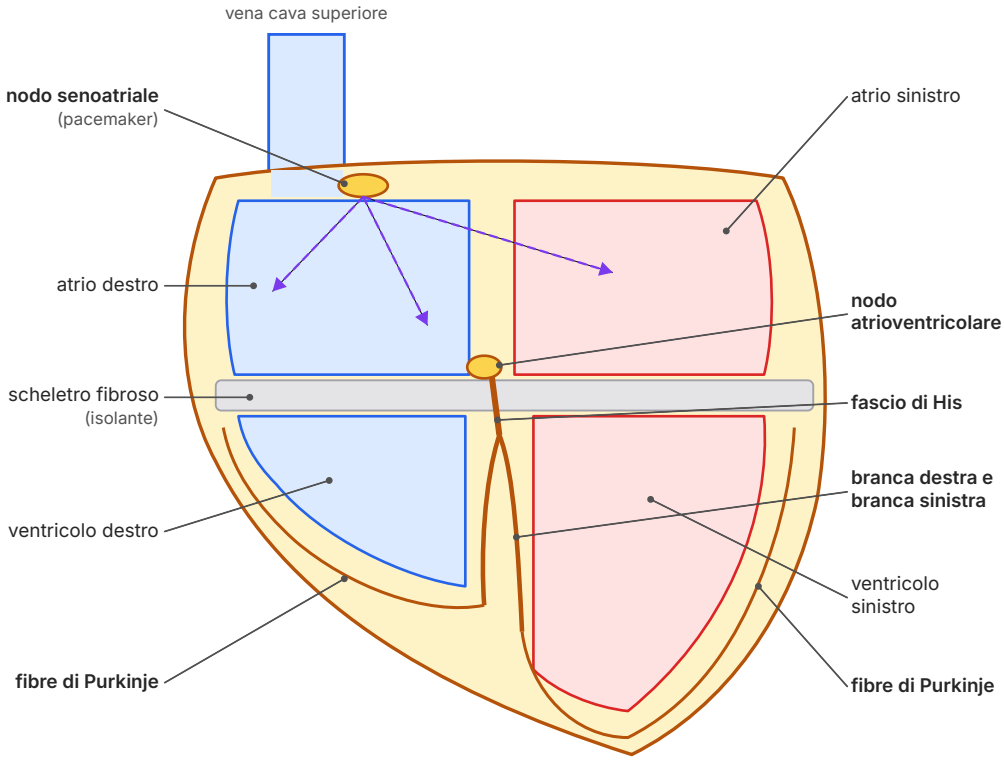


Figura 10.3 Il sistema di conduzione del cuore (schema non in scala, visione anteriore). L'impulso nasce nel nodo senoatriale, si diffonde nella parete degli atri, attraversa lo scheletro fibroso solo passando per il nodo atrioventricolare e il fascio di His, poi scende nel setto con le due branche e si distribuisce nelle pareti dei ventricoli con le fibre di Purkinje. Tutte queste strutture si trovano dentro la parete del cuore.

ERRORE FREQUENTE

«Il pacemaker sta nell'atrio sinistro» e «le fibre di Purkinje avvolgono il cuore dall'esterno». Il nodo senoatriale si trova nella parete dell'atrio *destro*, e tutto il sistema di conduzione, fibre di Purkinje comprese, è *dentro* il miocardio. Attenzione anche alle figure: nella visione anteriore l'atrio destro è a sinistra di chi guarda.

10.3.3 L'elettrocardiogramma

Le correnti prodotte dagli impulsi del cuore si diffondono nei tessuti fino alla pelle. Con elettrodi sugli arti e sul torace si misura fra due punti una piccola differenza di potenziale (in fisica, la grandezza che si misura in volt e che fa muovere le cariche in un circuito), dell'ordine del millivolt. La sua registrazione nel tempo è l'**elettrocardiogramma** (ECG), messo a punto dal fisiolo-

go olandese Willem Einthoven nel 1903. Un ECG completo registra dodici «derivazioni», cioè dodici combinazioni di elettrodi; la Figura 10.4 mostra l'andamento tipico di una di esse.

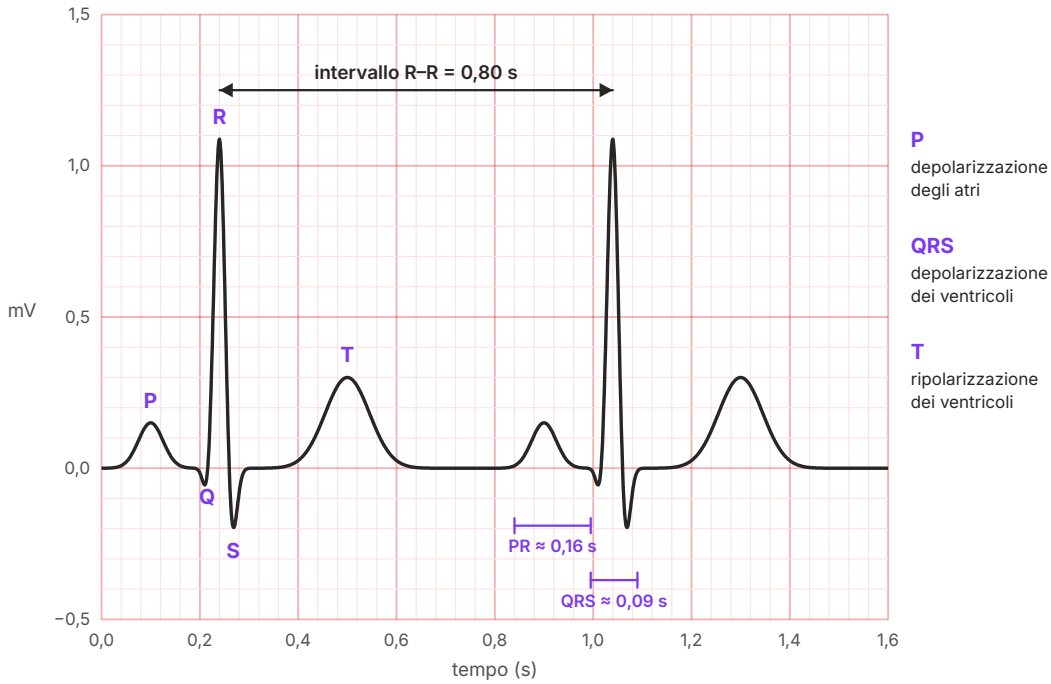


Figura 10.4 Due battiti di un elettrocardiogramma (derivazione II), andamento tipico calcolato con un modello: i valori sono indicativi. La carta millimetrata usa la convenzione clinica: un quadretto piccolo vale 0,04 s in orizzontale e 0,1 mV in verticale. L'intervallo fra due onde R è di 0,80 s, cioè 75 battiti al minuto.

- l'**onda P** corrisponde alla depolarizzazione degli atri, cioè all'eccitazione elettrica che precede la loro contrazione;
- il **complesso QRS**, più alto perché la massa dei ventricoli è maggiore, corrisponde alla depolarizzazione dei ventricoli; la ripolarizzazione degli atri avviene nello stesso momento e resta nascosta;
- l'**onda T** corrisponde alla ripolarizzazione dei ventricoli, che si preparano al battito successivo.

L'ECG registra i tempi e il percorso dell'attività elettrica, non la forza del cuore. Dalla distanza fra due onde R si ricava la frequenza; un intervallo PR troppo lungo indica un rallentamento nel nodo AV; onde anomale possono rivelare un'aritmia o la sofferenza del miocardio durante un infarto. Nella *fibrillazione ventricolare* le fibre dei ventricoli si contraggono in modo caotico e il cuore smette di pompare: è una delle cause più frequenti di arresto cardiaco improvviso.

10.3.4 La gittata cardiaca e la sua regolazione

La **frequenza cardiaca** (FC) di un adulto a riposo è in genere compresa fra 60 e 100 battiti al minuto, più bassa negli sportivi allenati. Il volume di sangue che ciascun ventricolo espelle a ogni battito è la **gittata sistolica** (GS), circa 70 mL a riposo. Il volume espulso da un ventricolo in un minuto è la **gittata cardiaca** (GC):

$$GC = FC \times GS$$

ESEMPIO SVOLTO

Calcolare la gittata cardiaca

Problema. Un adulto a riposo ha una frequenza di 70 battiti/min e una gittata sistolica di 70 mL. Quanto vale la sua gittata cardiaca? Quanto tempo impiega il ventricolo sinistro a pompare un volume pari a tutto il sangue del corpo, circa 5 L?

Soluzione. GC = FC × GS = 70 battiti/min × 70 mL/battito = 4900 mL/min ≈ 4,9 L/min, cioè circa 5 L al minuto. Il tempo è 5 L ÷ 4,9 L/min ≈ 1,0 min: a riposo il ventricolo sinistro pompa ogni minuto, più o meno, l'intero volume del sangue.

Controllo. Le unità: battiti/min × mL/battito = mL/min. L'ordine di grandezza (litri al minuto) è quello atteso.

Nello sforzo intenso la gittata cardiaca può crescere di quattro o cinque volte, perché aumentano sia la frequenza sia la gittata sistolica. Il nodo senoatriale, lasciato a sé, genererebbe circa 100 impulsi al minuto; il sistema nervoso autonomo (vedi cap. 14) ne regola il ritmo. Il simpatico libera noradrenalina, che accelera il battito e rafforza la contrazione; il nervo vago (parasimpatico) libera acetilcolina, che lo rallenta: a riposo prevale il vago. Nello sforzo e nella paura le ghiandole surrenali liberano anche adrenalina (cap. 13), che ha effetti simili a quelli del simpatico. Infine, se al cuore torna più sangue, le fibre del ventricolo si allungano di più durante il riempimento e si contraggono con più forza (legge di Frank-Starling): così il cuore espelle automaticamente il sangue che riceve.

IN SINTESI

Gittata cardiaca = frequenza cardiaca × gittata sistolica: GC = FC × GS

Valori tipici a riposo, adulto: FC ≈ 60–100 battiti/min · GS ≈ 70 mL · GC ≈ 5 L/min

Frequenza dall'ECG: FC (battiti/min) = 60 s ÷ intervallo R–R (s)

10.4 I vasi sanguigni e la pressione

10.4.1 Arterie e arteriole

La parete delle arterie e delle vene ha tre strati, o *tonache* (Figura 10.5): la **tonaca interna**, formata dall'endotelio, un epitelio pavimentoso a un solo strato, e da un sottile strato di connettivo; la **tonaca media**, di muscolo liscio e fibre elastiche; la **tonaca esterna**, di connettivo, che ancora il vaso agli organi vicini.

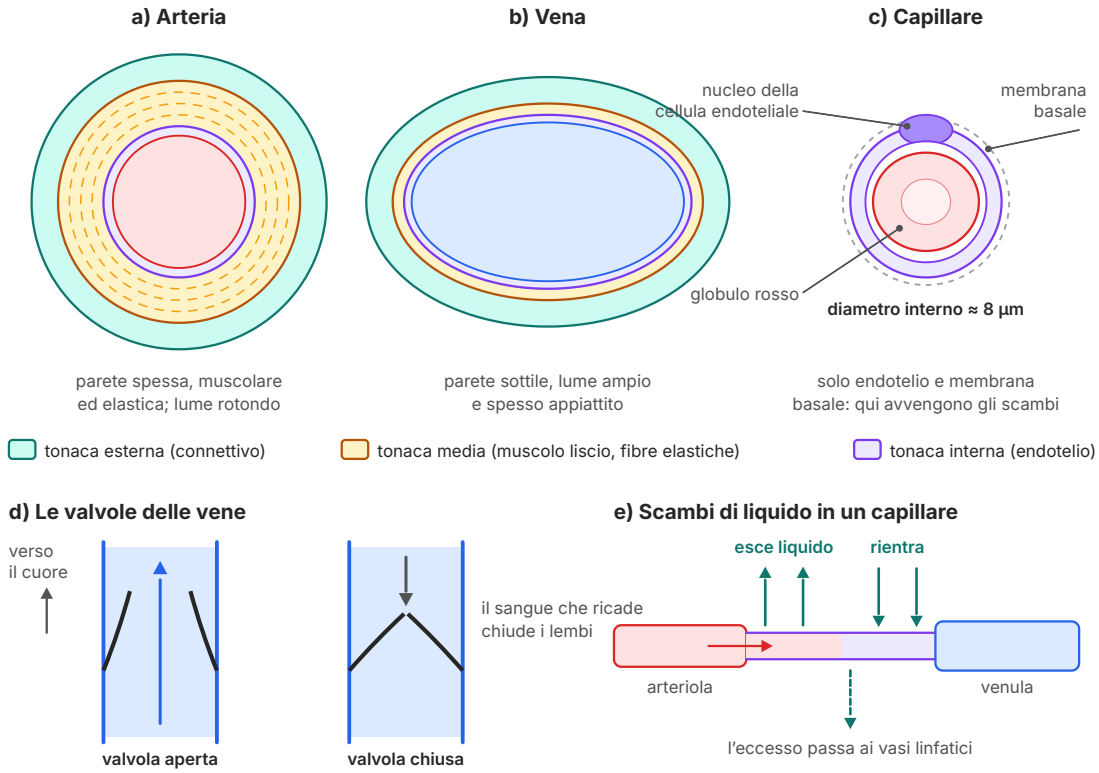


Figura 10.5 La struttura dei vasi sanguigni (schema non in scala; il capillare è molto più ingrandito degli altri due vasi). a–c) Sezioni trasversali di un'arteria, di una vena e di un capillare. d) Le valvole delle vene lasciano passare il sangue solo verso il cuore. e) Lungo un capillare il liquido esce dal lato dell'arteriola e rientra in gran parte dal lato della venula; il resto è raccolto dai vasi linfatici.

Le grandi arterie vicine al cuore, come l'aorta, hanno una tonaca media ricca di fibre elastiche. A ogni sistole la loro parete si dilata e accumula una parte dell'energia del sangue espulso; durante la diastole ritorna su sé stessa e continua a spingere il sangue: così il flusso, intermittente all'uscita dal cuore, diventa quasi continuo nei vasi più piccoli. L'onda di dilatazione che corre

lungo le arterie è il **polso** che senti al polso o al collo. Le arterie si ramificano in vasi sempre più piccoli fino alle **arteriole**, che hanno una tonaca media fatta soprattutto di muscolo liscio: contraendosi o rilasciandosi restringono o allargano il loro lume e così decidono quanto sangue arriva a ciascun organo.

10.4.2 I capillari e gli scambi

I capillari sono i vasi più sottili: hanno un diametro interno di circa 8 µm, appena sufficiente a far passare i globuli rossi uno alla volta, e una parete formata soltanto dall'endotelio e dalla sua membrana basale. Ma sono moltissimi, e formano reti così fitte che quasi nessuna cellula del corpo si trova a più di qualche centesimo di millimetro da un capillare. Attraverso la parete passano per diffusione l'ossigeno, l'anidride carbonica, il glucosio e le altre piccole molecole, ciascuna secondo il proprio gradiente di concentrazione.

Dalla parete dei capillari passa anche acqua con i soluti piccoli, ma non le proteine del plasma, troppo grandi. All'inizio del capillare, dal lato dell'arteriola, la pressione del sangue (circa 35 mmHg) spinge il liquido fuori dal vaso. Lungo il capillare la pressione scende (circa 15 mmHg alla fine), e prevale l'effetto osmotico delle proteine rimaste nel plasma, soprattutto l'albumina, che richiama acqua all'interno: è l'osmosi che hai studiato in *Scienze naturali 2*, cap. 4. Su tutto il corpo, ogni giorno, escono dai capillari circa 20 litri di liquido e ne rientrano circa 17; i circa 3 litri restanti, insieme alle poche proteine sfuggite, sono raccolti dai vasi linfatici e riportati nel sangue (vedi cap. 11).

10.4.3 Le vene e il ritorno venoso

I capillari confluiscono nelle **venule** e queste nelle vene, che hanno le stesse tre tonache delle arterie ma con una tonaca media molto più sottile e un lume più ampio. Nelle vene la pressione è bassa, e il sangue delle gambe deve risalire contro la gravità fino al cuore. Lo aiutano tre meccanismi:

- le **valvole venose**, ripiegature della tonaca interna, soprattutto nelle vene degli arti, che lasciano passare il sangue solo verso il cuore (Figura 10.5, d);
- la **pompa muscolare**: contraendosi, i muscoli scheletrici comprimono le vene che li attraversano e spingono il sangue verso l'alto, perché le valvole impediscono il riflusso;
- la **pompa respiratoria**: nell'inspirazione la pressione nel torace diminuisce e quella nell'addome aumenta, e il sangue viene richiamato verso il cuore (cap. 9).

In ogni momento le vene contengono circa due terzi di tutto il sangue: sono il serbatoio del sistema. Se le valvole delle vene superficiali delle gambe non si chiudono bene, le vene si dilatano e diventano tortuose (vene varicose).

10.4.4 La pressione arteriosa

La **pressione arteriosa** è la pressione che il sangue esercita sulla parete delle arterie. Sale al massimo durante la sistole ventricolare (pressione *sistolica*) e scende al minimo alla fine della diastole (pressione *diastolica*). Si misura in millimetri di mercurio, mmHg, e si scrive come una coppia di numeri: un valore tipico di un adulto a riposo è circa 120/80 mmHg, cioè 120 di sistolica e 80 di diastolica. È un valore tipico, non un obiettivo uguale per tutti: la pressione varia con l'età, durante il giorno, con lo sforzo e con le emozioni.

Lo *sfigmomanometro* a bracciale fu ideato nel 1896 dal medico piemontese Scipione Riva-Rocci. Il bracciale gonfiato comprime l'arteria del braccio finché il sangue non passa più; sgonfiandolo lentamente, il sangue ricomincia a passare quando la pressione del bracciale scende sotto la sistolica, e scorre liberamente quando scende sotto la diastolica.

La pressione diminuisce lungo il percorso del sangue: è più alta nell'aorta, scende soprattutto attraverso le arteriole, è di qualche decina di mmHg nei capillari e quasi zero nelle vene cave, all'ingresso dell'atrio destro. È questa differenza di pressione a far scorrere il sangue. Anche la *velocità* cambia: è massima nell'aorta, di qualche decina di centimetri al secondo, e minima nei capillari, meno di un millimetro al secondo. Un capillare da solo è strettissimo, ma i capillari sono miliardi, e la loro sezione complessiva è circa mille volte quella dell'aorta: lo stesso volume di sangue al minuto passa così più lentamente, e c'è il tempo per gli scambi.

> **COLLEGAMENTI**
>
> **Fisica · Pressione e portata.** La pressione è il rapporto fra una forza e la superficie su cui agisce, e nel SI si misura in pascal (Pa). In medicina si usa ancora il millimetro di mercurio: 1 mmHg = 133,3 Pa. La pressione arteriosa è una pressione *relativa*: 120 mmHg significa 120 mmHg in più della pressione atmosferica. La *portata* di un condotto, il volume che passa in un secondo, è uguale al prodotto fra l'area della sezione e la velocità media del liquido: se la portata è la stessa, dove la sezione totale è mille volte più grande la velocità è mille volte più piccola.

10.4.5 Quando i vasi e il cuore si ammalano

Secondo l'Organizzazione mondiale della sanità le malattie cardiovascolari sono la prima causa di morte nel mondo: nel 2022 hanno causato circa 19,8 milioni di morti, circa il 32 % del totale, e l'85 % di esse è dovuto a infarti e ictus (OMS, scheda informativa del 2025). Alla loro origine c'è spesso l'**aterosclerosi**: nella parete delle arterie si accumulano lentamente, nel corso di anni, depositi di lipidi (soprattutto colesterolo trasportato dalle lipoproteine LDL), cellule infiammatorie e tessuto fibroso, che formano una *placca*. La placca restringe il lume e rende la parete rigida; se si rompe, su di essa si forma un coagulo che può chiudere del tutto il vaso. Quando si chiude una coronaria, una parte del miocardio muore per mancanza di ossigeno: è l'*infarto miocardico*. Quando un'arteria del cervello si chiude o si rompe, si ha un *ictus*.

Si parla di *ipertensione* quando la pressione, misurata più volte a riposo, resta stabilmente alta: secondo le linee guida europee (Società europea di cardiologia, 2024), a 140/90 mmHg o più. L'ipertensione spesso non dà sintomi, ma affatica il cuore e danneggia nel tempo le arterie, i reni e gli occhi; per questo è utile misurare la pressione anche quando si sta bene, e la diagnosi spetta al medico.

COLLEGAMENTI

Educazione alla salute · Proteggere il cuore e saper intervenire. Alcuni fattori di rischio cardiovascolare non si possono cambiare: l'età, il sesso, la familiarità. Molti altri sì: il fumo, che danneggia l'endotelio e favorisce la formazione di coaguli; la sedentarietà; un'alimentazione ricca di grassi saturi e di sale e povera di frutta, verdura e cereali integrali (vedi la dieta mediterranea, cap. 8); il sovrappeso; il consumo di alcol. L'ipertensione, il colesterolo alto e il diabete si scoprono con semplici controlli e si curano con l'aiuto del medico.

Davanti a una persona che non risponde e non respira normalmente, ogni minuto conta: si chiama subito il **112**, il numero unico di emergenza, e si iniziano le compressioni toraciche (il «massaggio cardiaco»), che mantengono un minimo di circolazione al cervello. Se il cuore è in fibrillazione ventricolare, un **defibrillatore semiautomatico esterno** (DAE) analizza il ritmo e, se serve, eroga una scarica che può farlo ripartire; i DAE si trovano sempre più spesso nelle scuole, nelle palestre e nelle stazioni. Queste manovre si imparano nei corsi BLSD (*Basic Life Support and Defibrillation*) tenuti da istruttori qualificati: frequentarne uno è un gesto di cittadinanza attiva.

10.5 Il sangue

Un adulto ha circa 5 litri di sangue (da 4 a 6, secondo corporatura e sesso). Se si centrifuga in una provetta un campione di sangue reso incoagulabile, si separa in due parti (Figura 10.6, a): in alto un liquido giallo paglierino, il plasma, circa il 55 % del volume; in basso le cellule e i frammenti di cellule, la *parte corpuscolata* o elementi figurati, circa il 45 %. La percentuale del volume occupata dai globuli rossi è l'**ematocrito** (dal greco αἷμα, «sangue», e κρίνω, «separo»): circa il 45 %, in media un po' più alto negli uomini che nelle donne. Fra le due parti resta un sottile strato biancastro di globuli bianchi e piastrine, meno dell'1 %.

10.5.1 Il plasma

Il **plasma** è per circa il 91 % acqua. Vi sono disciolti ioni (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Cl^-, HCO_3^-...), nutrienti come glucosio e amminoacidi, prodotti di rifiuto come l'urea, gas, ormoni e soprattutto proteine, circa il 7 %. Le *proteine plasmatiche*, prodotte per la maggior parte dal fegato (cap. 8), sono di tre gruppi principali:

- le **albumine**, le più abbondanti, che trattengono l'acqua nei vasi con il loro effetto osmotico e trasportano molte sostanze poco solubili;

- le **globuline**, fra le quali le proteine di trasporto e gli anticorpi (cap. 11);
- il **fibrinogeno** e gli altri fattori della coagulazione.

Il plasma privato del fibrinogeno e degli altri fattori della coagulazione è il *siero*, il liquido che resta quando il sangue coagula in provetta.

10.5.2 I globuli rossi

I **globuli rossi** o *eritrociti* sono le cellule più numerose del sangue: circa 5 milioni in un microlitro (Tabella 10.1). Sono dischi biconcavi di circa 7,5 μm di diametro, più sottili al centro che ai bordi (Figura 10.6, b): una forma che offre molta superficie agli scambi di gas e permette di piegarsi per passare nei capillari più stretti. Maturando, i globuli rossi dei mammiferi perdono il nucleo e gli organuli: non si dividono più e non consumano l'ossigeno che trasportano, perché ricavano energia dalla sola glicolisi, una via metabolica che non usa ossigeno (la studierai il prossimo anno). Sono pieni di **emoglobina**, circa 280 milioni di molecole ciascuno, che lega l'ossigeno nei polmoni e lo cede nei tessuti (cap. 9).

Un globulo rosso vive circa 120 giorni. Quelli invecchiati sono distrutti dai macrofagi della milza e del fegato: il ferro viene recuperato e riutilizzato, mentre il resto del gruppo eme diventa bilirubina, eliminata con la bile (cap. 8). Per mantenerne costante il numero, il midollo osseo rosso ne produce circa 2 milioni al secondo. Il ritmo è regolato da un ormone, l'**eritropoietina** (EPO), prodotta soprattutto dai reni quando il sangue porta poco ossigeno ai tessuti: in alta quota, per esempio, l'EPO aumenta e con essa il numero dei globuli rossi (cap. 9 e cap. 12). Un difetto di globuli rossi o di emoglobina è un'*anemia*, spesso dovuta a carenza di ferro.

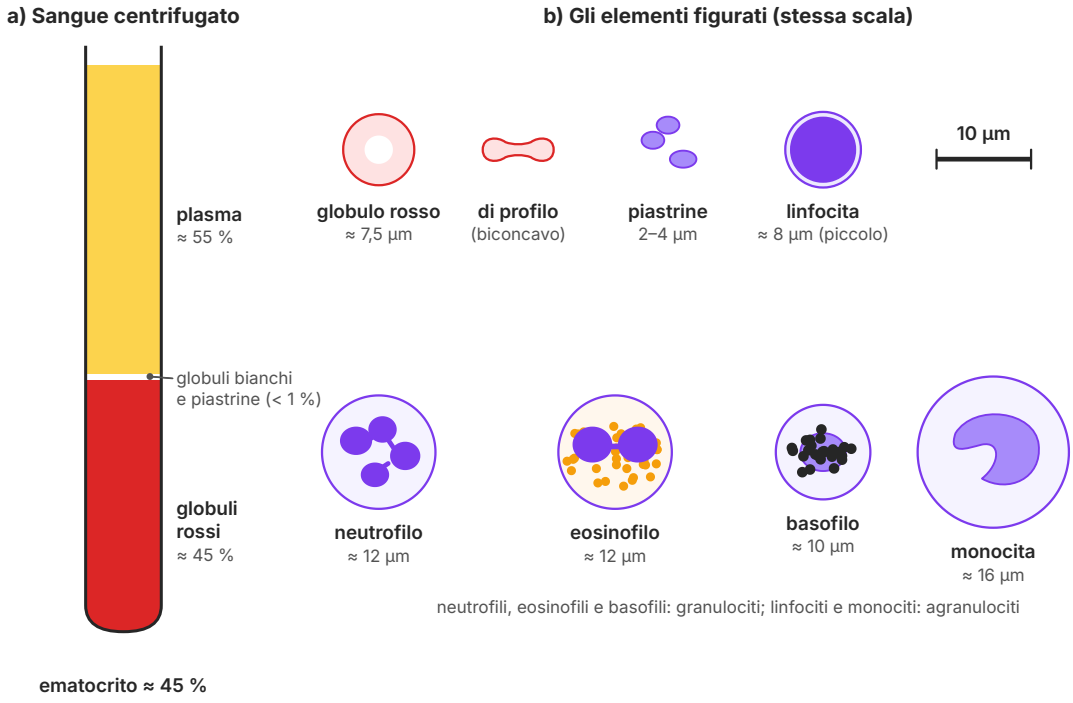


Figura 10.6 Le componenti del sangue. a) Un campione di sangue reso incoagulabile e centrifugato si separa in plasma e parte corpuscolata; lo strato di globuli bianchi e piastrine è ingrandito per renderlo visibile. b) Gli elementi figurati disegnati tutti alla stessa scala (barra: 10 µm), con i nuclei e i granuli come appaiono con le colorazioni usate in laboratorio. Le dimensioni sono valori tipici.

10.5.3 I globuli bianchi e le piastrine

I **globuli bianchi** o *leucociti* sono cellule nucleate che difendono il corpo dalle infezioni; sono molto meno numerosi dei globuli rossi (da 5000 a 10 000 per microlitro) e lavorano soprattutto nei tessuti, dove escono passando fra le cellule della parete dei capillari. Se ne distinguono cinque tipi (Figura 10.6, b). I *granulociti*, con granuli ben visibili nel citoplasma, sono i neutrofili (circa il 60–70 % dei leucociti, con un nucleo diviso in più lobi), gli eosinofili (2–4 %) e i basofili (meno dell'1 %); gli *agranulociti* sono i linfociti (20–25 %) e i monociti (3–8 %), che nei tessuti diventano macrofagi. Il ruolo di ciascun tipo nelle difese lo vedrai nel cap. 11.

Le **piastrine** non sono cellule ma frammenti di cellule: dischetti di 2–4 µm senza nucleo, che si staccano da grandi cellule del midollo osseo, i megacariociti. Ce ne sono da 150 000 a 400 000 per microlitro, e vivono da 5 a 9 giorni. Servono a fermare le emorragie.

Tabella 10.1 Gli elementi figurati del sangue di un adulto (valori indicativi, da testi di fisiologia).

Elemento	Numero per µL	Diametro	Durata della vita	Funzione principale
globuli rossi	≈ 5 milioni	≈ 7,5 µm	≈ 120 giorni	trasporto di O_2 (e di una parte della CO_2)
globuli bianchi	5000–10 000	6–20 µm	da ore ad anni, secondo il tipo	difesa dalle infezioni
piastrine	150 000–400 000	2–4 µm	5–9 giorni	emostasi

10.5.4 L'emostasi e la coagulazione

Quando un vaso si rompe, l'**emostasi** ferma la perdita di sangue con tre meccanismi che si susseguono in pochi secondi o minuti:

1. **Vasocostrizione.** Il muscolo liscio della parete del vaso danneggiato si contrae e riduce il flusso.
2. **Tappo piastrinico.** Le piastrine aderiscono al collagene messo a nudo dalla lesione, si attivano e liberano sostanze che richiamano altre piastrine: in pochi minuti formano un tappo che chiude i piccoli fori.
3. **Coagulazione.** Una serie di reazioni a catena fra i *fattori della coagulazione*, proteine del plasma che si attivano l'una con l'altra, porta alla formazione di un enzima, la *trombina*. La trombina trasforma il fibrinogeno, solubile, in **fibrina**, insolubile: i filamenti di fibrina formano una rete che intrappola globuli rossi e piastrine e consolida il tappo in un *coagulo*.

Molte tappe della coagulazione richiedono ioni Ca^{2+}; per questo nelle sacche per la raccolta del sangue si aggiunge citrato, che lega gli ioni calcio e impedisce la coagulazione. Il fegato, per produrre diversi fattori della coagulazione, ha bisogno della **vitamina K**, che ricaviamo dalle verdure a foglia verde e in parte dai batteri dell'intestino (cap. 8). Riparata la ferita, un altro enzima, la plasmina, scioglie il coagulo. Se manca uno dei fattori, il sangue coagula con difficoltà: è il caso dell'emofilia, malattia ereditaria legata al cromosoma X che hai studiato in *Scienze naturali 2*, cap. 8. Il rischio opposto è un coagulo che si forma dentro un vaso integro, un *trombo*, che può bloccare la circolazione.

10.5.5 I gruppi sanguigni e le trasfusioni

In *Scienze naturali 2*, cap. 8, hai visto la genetica dei sistemi AB0 e Rh. Dal punto di vista della fisiologia, ciò che conta sono gli *antigeni*, molecole presenti sulla membrana dei globuli rossi, e gli *anticorpi* presenti nel plasma. Nel sistema AB0 il plasma contiene fin dai primi mesi di vita gli anticorpi contro gli antigeni A o B che i propri globuli rossi *non* hanno: una persona di gruppo A ha anticorpi anti-B, una di gruppo 0 anti-A e anti-B, una di gruppo AB nessuno dei due. Nel

sistema Rh, invece, una persona Rh− produce anticorpi anti-Rh solo dopo essere venuta a contatto con globuli rossi Rh+.

In una trasfusione di globuli rossi il plasma del ricevente non deve contenere anticorpi contro gli antigeni dei globuli rossi del donatore: altrimenti questi vengono agglutinati e distrutti, con una reazione che può essere mortale. Lo stesso meccanismo spiega la *malattia emolitica del neonato*: una madre Rh− che porta in grembo un figlio Rh+ può produrre anticorpi anti-Rh dopo il contatto con il sangue fetale, di solito al parto; in una gravidanza successiva con un feto Rh+ i suoi anticorpi, attraversando la placenta, distruggerebbero i globuli rossi del feto. Oggi la si previene somministrando alla madre, durante la gravidanza e dopo il parto, anticorpi anti-Rh già pronti, che eliminano i globuli rossi fetali prima che il suo sistema immunitario li riconosca.

ESEMPIO SVOLTO

Chi può donare globuli rossi a chi

Problema. Un paziente di gruppo A Rh+ ha bisogno di una trasfusione di globuli rossi. Fra i donatori disponibili ci sono persone di gruppo 0 Rh−, A Rh−, B Rh+ e AB Rh+. Quali sono compatibili?

Soluzione. Il plasma del paziente (gruppo A) contiene anticorpi anti-B; essendo Rh+, non produce anticorpi anti-Rh. Sono quindi compatibili i globuli rossi che non portano l'antigene B, qualunque sia il loro fattore Rh: 0 Rh− e A Rh−. Non sono compatibili B Rh+ e AB Rh+, perché portano l'antigene B.

Osservazione. Nella pratica gli ospedali trasfondono, quando possono, sangue dello stesso gruppo e dello stesso Rh del paziente; il gruppo 0 Rh− si usa soprattutto nelle emergenze, quando non c'è il tempo di determinare il gruppo del ricevente.

COLLEGAMENTI

Educazione civica · Donare il sangue. Il sangue non si può fabbricare: ogni trasfusione dipende da un donatore. In Italia la donazione è volontaria, anonima e gratuita, e la promuovono associazioni di volontariato come l'AVIS e la FIDAS. Può donare chi è maggiorenne, pesa almeno 50 kg ed è in buona salute, dopo un colloquio e una visita medica; ogni donazione è anche un piccolo controllo della propria salute. Dal sangue donato si separano globuli rossi, plasma e piastrine, destinati a pazienti diversi: chi subisce un intervento chirurgico o un incidente, chi è in cura per un tumore, chi ha bisogno di trasfusioni regolari per una malattia del sangue.

ESPERIENZA DI LABORATORIO

La frequenza cardiaca prima e dopo l'esercizio

Obiettivo. Misurare come cambia la frequenza cardiaca con uno sforzo moderato e quanto tempo impiega a tornare al valore di riposo.

Materiali. Un cronometro; uno scalino o una panca bassa e stabile; facoltativo, uno sfigmomanometro elettronico da braccio; carta millimetrata o un foglio di calcolo.

Procedimento. Lavorate a coppie. 1) Dopo 5 minuti seduti, trovate il polso radiale con l'indice e il medio (non con il pollice, che ha un polso proprio) e contate i battiti per 30 s; moltiplicate per 2. Ripetete tre volte e fate la media. 2) Salite e scendete dallo scalino per 2 minuti a ritmo regolare. 3) Misurate subito la frequenza, e poi di nuovo dopo 1, 3 e 5 minuti di riposo da seduti. Se avete lo sfigmomanometro elettronico, misurate la pressione a riposo e subito dopo l'esercizio, seguendo le istruzioni dell'apparecchio. 4) Raccogliete i dati della classe in una tabella e rappresentate la frequenza in funzione del tempo.

Sicurezza. Chi ha problemi di cuore, asma da sforzo o un esonero dall'attività fisica non svolge l'esercizio ma registra i dati. Ci si ferma subito in caso di capogiro, dolore o fiato corto. Il risultato non è un esame medico e non va interpretato come tale.

Risultato atteso. La frequenza aumenta subito dopo l'esercizio e poi torna verso il valore di riposo in pochi minuti; di solito il ritorno è più rapido in chi è allenato.

Domande. Perché la frequenza aumenta con lo sforzo? Quale parte del sistema nervoso la fa aumentare? Perché si misura la frequenza di riposo più volte?

SINTESI

- L'apparato cardiovascolare è un sistema **chiuso**: il cuore spinge il sangue nelle **arterie**, gli scambi avvengono nei **capillari** e le **vene** riportano il sangue al cuore. Arterie e vene si distinguono per la direzione del flusso, non per il contenuto di ossigeno.
- La circolazione umana è **doppia e completa**: piccola circolazione (ventricolo destro → polmoni → atrio sinistro) e grande circolazione (ventricolo sinistro → organi → atrio destro); sangue ossigenato e non ossigenato non si mescolano.
- Harvey (1628) dimostrò la circolazione del sangue con argomenti sperimentali e quantitativi; Malpighi (1661) vide i capillari.
- Il cuore ha due **atri** e due **ventricoli**; le valvole **atrioventricolari** (tricuspide, mitrale) e **semilunari** (polmonare, aortica) fanno scorrere il sangue in un solo verso. Il miocardio è irrorato dalle **coronarie**.
- Il ciclo cardiaco alterna **sistole** e **diastole**; i due toni cardiaci sono dovuti alla chiusura delle valvole.
- Il battito nasce nel **nodo senoatriale** (atrio destro) e si propaga attraverso il nodo atrioventricolare, il fascio di His e le fibre di Purkinje, tutti dentro la parete del cuore. L'**ECG** registra l'attività elettrica: onda P, complesso QRS, onda T.
- **GC = FC × GS**: a riposo circa 70 battiti/min × 70 mL ≈ 5 L/min. Simpatico e adrenalina aumentano la frequenza, il vago la riduce.
- Arterie: parete spessa ed elastica; arteriole: regolano il flusso agli organi; capillari: solo endotelio, sede degli scambi; vene: parete sottile, valvole, serbatoio di sangue. Il ritorno venoso è aiutato da valvole, pompa muscolare e pompa respiratoria.
- La **pressione arteriosa** (tipicamente circa 120/80 mmHg) diminuisce lungo il circuito; la velocità del sangue è minima nei capillari, che hanno la sezione totale più grande.
- Il sangue è formato da **plasma** (≈ 55 %) e elementi figurati (ematocrito ≈ 45 %): globuli rossi senza nucleo (≈ 120 giorni, prodotti nel midollo sotto lo stimolo dell'**EPO**), globuli bianchi e piastrine.
- L'**emostasi** comprende vasocostrizione, tappo piastrinico e coagulazione: la trombina trasforma il fibrinogeno in fibrina; servono Ca^{2+} e vitamina K.
- Nelle trasfusioni il plasma del ricevente non deve avere anticorpi contro gli antigeni AB0 e Rh dei globuli rossi del donatore. Prevenzione cardiovascolare, primo soccorso (112, BLSD) e donazione del sangue sono temi di salute e di cittadinanza.

ESERCIZI

Comprendere e ricordare

1. ● Quale vaso porta ai polmoni sangue povero di ossigeno?
   - **A.** l'aorta
   - **B.** le vene polmonari
   - **C.** il tronco polmonare
   - **D.** la vena cava superiore

2. ● La valvola fra l'atrio sinistro e il ventricolo sinistro è la:
   - **A.** mitrale (bicuspide)
   - **B.** tricuspide
   - **C.** aortica
   - **D.** polmonare

3. ● Il nodo senoatriale, pacemaker naturale del cuore, si trova:
   - **A.** nel setto interventricolare
   - **B.** nella parete dell'atrio destro, vicino allo sbocco della vena cava superiore
   - **C.** nella parete del ventricolo sinistro, vicino all'apice
   - **D.** nell'atrio sinistro, vicino allo sbocco delle vene polmonari

4. ● Nell'elettrocardiogramma il complesso QRS corrisponde:
   - **A.** alla contrazione degli atri
   - **B.** alla ripolarizzazione dei ventricoli
   - **C.** alla chiusura delle valvole semilunari
   - **D.** alla depolarizzazione dei ventricoli

5. ● In un adulto l'ematocrito vale circa:
   - **A.** 5 %
   - **B.** 45 %
   - **C.** 55 %
   - **D.** 90 %

6. ●● In quali vasi la velocità del sangue è minima?
   - **A.** nell'aorta
   - **B.** nelle arterie di medio calibro
   - **C.** nelle vene cave
   - **D.** nei capillari

7. ●● La vitamina K è necessaria alla coagulazione perché:
   - **A.** serve al fegato per produrre diversi fattori della coagulazione
   - **B.** scioglie i coaguli una volta riparata la ferita
   - **C.** è il monomero da cui si forma la fibrina
   - **D.** lega gli ioni calcio del plasma

8. ●● Il primo tono cardiaco è dovuto:
   - **A.** alla contrazione degli atri
   - **B.** all'apertura delle valvole semilunari
   - **C.** alla chiusura delle valvole atrioventricolari
   - **D.** alla chiusura delle valvole semilunari

9. ●●● Una donna di gruppo A Rh−, che non ha mai ricevuto trasfusioni e non ha avuto gravidanze, ha nel plasma:
   - **A.** anticorpi anti-A, anti-B e anti-Rh
   - **B.** soltanto anticorpi anti-A
   - **C.** nessun anticorpo contro i gruppi sanguigni
   - **D.** anticorpi anti-B, ma non anti-Rh

Vero o falso

10. ● Tutte le arterie trasportano sangue ricco di ossigeno.

11. ● I globuli rossi maturi dell'uomo non hanno nucleo.

12. ●● Le fibre di Purkinje si trovano sulla superficie esterna del cuore, sotto il pericardio.

13. ●● La parete del ventricolo sinistro è più spessa di quella del ventricolo destro, ma i due ventricoli espellono a ogni battito lo stesso volume di sangue.

14. ●●● Il siero è il plasma privato del fibrinogeno e degli altri fattori della coagulazione.

15. ● Le vene hanno una tonaca media più spessa di quella delle arterie dello stesso calibro.

Applicare

16. ● Una ragazza a riposo ha una frequenza cardiaca di 72 battiti/min e una gittata sistolica di 75 mL. Calcola la sua gittata cardiaca in L/min.

17. ●● Durante una corsa la gittata cardiaca di un atleta è di 18 L/min e la sua frequenza di 150 battiti/min. Calcola la gittata sistolica in mL.

18. ●● Un adulto ha 5,0 L di sangue e una gittata cardiaca di 5,0 L/min a riposo e di 20 L/min durante uno sforzo. Quanto tempo impiega il ventricolo sinistro a pompare un volume pari a tutto il sangue, a riposo e durante lo sforzo? Esprimi il secondo risultato in secondi.

19. ● Un campione di 5,0 mL di sangue reso incoagulabile viene centrifugato: la colonna di globuli rossi occupa 2,2 mL. Calcola l'ematocrito e il volume del plasma (trascura lo strato di globuli bianchi e piastrine).

20. ●● Un paziente di gruppo B Rh+ ha bisogno di globuli rossi. Fra i donatori disponibili ci sono persone di gruppo 0 Rh−, A Rh+, B Rh−, AB Rh+ e 0 Rh+. Quali sono compatibili? Motiva.

21. ●● Esprimi in kilopascal una pressione arteriosa di 120/80 mmHg (1 mmHg = 133,3 Pa).

22. ●●● La gittata cardiaca a riposo è di 5,0 L/min. Supponi che la sezione dell'aorta sia di 2,5 cm^2 e che la sezione complessiva di tutti i capillari sia di 2500 cm^2. Calcola la velocità media del sangue nell'aorta e nei capillari, in cm/s (ricorda che 1 L = 1000 cm^3 e che la portata è uguale al prodotto fra sezione e velocità).

Leggere dati e figure

23. ●● Osserva la Figura 10.4. a) Quanto dura l'intervallo fra due onde R? Calcola la frequenza cardiaca. b) Che cosa avviene nel cuore durante l'onda P e durante l'onda T? c) Perché il complesso QRS è più alto dell'onda P?

24. ●● La Tabella 10.2 riporta la frequenza cardiaca di uno studente durante l'esperienza di laboratorio di questo capitolo (dati di esempio). a) Di quale percentuale è aumentata la frequenza subito dopo l'esercizio rispetto al riposo? b) A quale delle misure di recupero la frequenza risulta tornata entro il 10 % del valore di riposo?

25. ●●● Usa i valori della Tabella 10.1: in un microlitro di sangue ci sono 5,0 milioni di globuli rossi, 7000 globuli bianchi e 250 000 piastrine. a) Quanti globuli rossi ci sono per ogni globulo bianco? b) E per ogni piastrina? c) Un adulto ha 5,0 L di sangue: quanti globuli rossi contiene in tutto (1 L = 10^6 µL)?

Tabella 10.2 Frequenza cardiaca di uno studente prima e dopo 2 minuti di esercizio allo scalino (dati di esempio).

Momento della misura	Frequenza (battiti/min)
a riposo (media di tre misure)	68
subito dopo l'esercizio	132
dopo 1 min di riposo	104
dopo 3 min di riposo	84
dopo 5 min di riposo	72

Indagare e argomentare

26. ●● Rifai con i valori moderni il ragionamento quantitativo di Harvey: con una gittata sistolica di 70 mL e una frequenza di 70 battiti/min, quanti litri di sangue spinge il ventricolo sinistro in un'ora? Confronta il risultato con i circa 5 L di sangue del corpo e spiega perché il modello di Galeno non poteva essere corretto.

27. ●●● Progetta un esperimento per verificare se la durata dell'esercizio (1, 2 o 4 minuti allo scalino) influisce sul tempo che la frequenza cardiaca impiega a tornare al valore di riposo. Indica la variabile indipendente, la variabile dipendente, le variabili da tenere costanti, il controllo e le regole di sicurezza.

28. ●●● Chi vive in alta quota ha in media un ematocrito più alto di chi vive al livello del mare. Spiega il meccanismo, indicando l'organo e l'ormone coinvolti. Perché un ematocrito troppo alto, come quello causato dall'uso illecito di EPO nello sport, può essere pericoloso per il cuore e la circolazione?

29. ●● Spiega come una placca aterosclerotica in una coronaria può portare a un infarto. Perché, davanti a una persona in arresto cardiaco, è importante chiamare subito il 112 e iniziare le compressioni toraciche prima che arrivi il soccorso?

PER APPROFONDIRE

- [TOR] G. J. Tortora, B. Derrickson, *Principles of Anatomy and Physiology*: i capitoli sul sangue, sul cuore e sui vasi sanguigni, con molte figure e i valori normali dei parametri cardiovascolari.
- [SIL] D. U. Silverthorn, *Human Physiology: An Integrated Approach*: i capitoli sulla fisiologia cardiovascolare e sul sangue, con un'attenzione particolare alla pressione e alla regolazione del flusso.
- [CAM] L. A. Urry et al., *Campbell Biology*: il capitolo sulla circolazione e gli scambi gassosi, con il confronto fra gli apparati circolatori degli animali.
- [HAR] W. Harvey, *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus*: il breve trattato del 1628, disponibile in traduzione, nel quale si può seguire il ragionamento sperimentale che portò alla scoperta della circolazione.

Glossario del capitolo

Arteria
Vaso che porta il sangue dal cuore verso la periferia; la sua parete ha una tonaca media spessa, muscolare ed elastica.

Atrio
Cavità superiore del cuore, a parete sottile, che riceve il sangue dalle vene e lo spinge nel ventricolo sottostante.

Capillare
Vaso sottilissimo (diametro interno ≈ 8 µm) con la parete formata solo da endotelio e membrana basale, attraverso la quale avvengono gli scambi fra sangue e tessuti.

Ciclo cardiaco
Sequenza di eventi di un battito: sistole (contrazione) e diastole (rilassamento) degli atri e dei ventricoli.

Circolazione doppia e completa
Circolazione in cui il sangue passa due volte per il cuore a ogni giro (piccola e grande circolazione) e il sangue ricco di ossigeno non si mescola con quello povero.

Elettrocardiogramma
Registrazione dell'attività elettrica del cuore con elettrodi sulla pelle (ECG): onda P, complesso QRS, onda T.

Ematocrito
Percentuale del volume del sangue occupata dai globuli rossi; circa 45 % in un adulto.

Emostasi
Insieme dei processi che fermano un'emorragia: vasocostrizione, tappo piastrinico e coagulazione.

Eritropoietina
Ormone (EPO) prodotto soprattutto dai reni quando i tessuti ricevono poco ossigeno; stimola il midollo osseo rosso a produrre globuli rossi.

Gittata cardiaca
Volume di sangue espulso da un ventricolo in un minuto: GC = FC × GS, circa 5 L/min a riposo.

Globulo rosso
Eritrocita: cellula del sangue senza nucleo, a disco biconcavo, piena di emoglobina; trasporta l'ossigeno e vive circa 120 giorni.

Nodo senoatriale
Gruppo di cellule cardiache nella parete dell'atrio destro che genera spontaneamente gli impulsi del battito (pacemaker naturale).

Piastrina
Frammento di cellula (2–4 µm) che deriva dai megacariociti del midollo osseo e partecipa all'emostasi.

Plasma
Parte liquida del sangue (≈ 55 % del volume): acqua con ioni, nutrienti, rifiuti, ormoni e proteine plasmatiche.

Pressione arteriosa
Pressione del sangue sulla parete delle arterie, massima nella sistole e minima nella diastole; si misura in mmHg (tipicamente circa 120/80).

Valvola atrioventricolare
Valvola fra un atrio e il ventricolo sottostante: tricuspide a destra, mitrale (bicuspide) a sinistra; si chiude all'inizio della sistole ventricolare.

Valvola semilunare
Valvola a tre tasche all'uscita di un ventricolo (polmonare, aortica), che impedisce al sangue di ricadere nel ventricolo.

Vena
Vaso che riporta il sangue al cuore; ha una parete più sottile di quella delle arterie, un lume ampio e, negli arti, valvole.

Ventricolo
Cavità inferiore del cuore, a parete muscolare spessa, che spinge il sangue nelle arterie: il destro nel tronco polmonare, il sinistro nell'aorta.

Soluzioni

1. C. Il tronco polmonare, che si divide nelle arterie polmonari, porta ai polmoni il sangue povero di ossigeno che esce dal ventricolo destro.

2. A. A sinistra si trova la mitrale (due lembi), a destra la tricuspide.

3. B. Il nodo senoatriale è nella parete dell'atrio destro, vicino allo sbocco della vena cava superiore.

4. D. Il complesso QRS registra la depolarizzazione dei ventricoli, che precede la loro contrazione.

5. B. L'ematocrito è la percentuale del volume del sangue occupata dai globuli rossi: circa il 45 %. Il 55 % è il plasma.

6. D. Nei capillari, perché la loro sezione complessiva è la più grande di tutto il circuito.

7. A. La vitamina K serve al fegato per sintetizzare diversi fattori della coagulazione; la fibrina deriva dal fibrinogeno e il calcio non è legato dalla vitamina K.

8. C. Il primo tono è dovuto alla chiusura delle valvole atrioventricolari all'inizio della sistole ventricolare; il secondo alla chiusura delle semilunari.

9. D. Ha anticorpi anti-B (contro l'antigene che non possiede) fin dall'infanzia; gli anticorpi anti-Rh si formano solo dopo un contatto con globuli rossi Rh+, che non c'è stato.

10. Falso. Le arterie polmonari portano sangue povero di ossigeno: le arterie sono i vasi che portano il sangue dal cuore alla periferia.

11. Vero. Perdono nucleo e organuli durante la maturazione nel midollo osseo.

12. Falso. Le fibre di Purkinje si trovano dentro la parete dei ventricoli, nel miocardio, come tutto il sistema di conduzione.

13. Vero. Il ventricolo sinistro lavora contro una pressione molto più alta, ma i volumi espulsi devono essere uguali, altrimenti il sangue si accumulerebbe in uno dei due circuiti.

14. Vero. È il liquido che resta quando il sangue coagula: il fibrinogeno è diventato fibrina ed è rimasto nel coagulo.

15. Falso. Le vene hanno una tonaca media più sottile e un lume più ampio delle arterie.

16. GC = 72 battiti/min × 75 mL = 5400 mL/min = 5,4 L/min.

17. GS = GC ÷ FC = 18 000 mL/min ÷ 150 battiti/min = 120 mL.

18. A riposo: 5,0 L ÷ 5,0 L/min = 1,0 min. Durante lo sforzo: 5,0 L ÷ 20 L/min = 0,25 min = 15 s.

19. Ematocrito = 2,2 mL ÷ 5,0 mL × 100 = 44 %. Volume del plasma = 5,0 mL − 2,2 mL = 2,8 mL.

20. Il plasma del paziente (gruppo B) contiene anticorpi anti-A; essendo Rh+, non produce anticorpi anti-Rh. Sono compatibili i globuli rossi senza antigene A, qualunque sia l'Rh: 0 Rh−, B Rh− e 0 Rh+. Non lo sono A Rh+ e AB Rh+, che portano l'antigene A.

21. 120 mmHg × 133,3 Pa/mmHg = 15 996 Pa ≈ 16,0 kPa; 80 mmHg × 133,3 Pa/mmHg = 10 664 Pa ≈ 10,7 kPa. La pressione arteriosa è quindi circa 16,0/10,7 kPa (in più della pressione atmosferica).

22. Portata = 5,0 L/min = 5000 cm^3 ÷ 60 s ≈ 83 cm^3/s. Aorta: v = 83 cm^3/s ÷ 2,5 cm^2 ≈ 33 cm/s. Capillari: v = 83 cm^3/s ÷ 2500 cm^2 ≈ 0,033 cm/s (circa 0,3 mm/s), mille volte di meno.

23. a) L'intervallo R–R è di 0,80 s; FC = 60 s ÷ 0,80 s = 75 battiti/min. b) Durante l'onda P si depolarizzano gli atri, che subito dopo si contraggono; durante l'onda T i ventricoli si ripolarizzano, alla fine della loro sistole. c) Perché la massa muscolare dei ventricoli, che si depolarizza durante il QRS, è molto maggiore di quella degli atri.

24. a) (132 − 68) ÷ 68 × 100 ≈ 94 %. b) Il 10 % di 68 è 6,8: il valore deve scendere a 74,8 battiti/min o meno. Dopo 3 minuti è ancora 84; dopo 5 minuti è 72: la frequenza risulta rientrata alla misura dei 5 minuti.

25. a) 5 000 000 ÷ 7000 ≈ 710 (circa 700 globuli rossi per ogni globulo bianco). b) 5 000 000 ÷ 250 000 = 20. c) 5,0 L = 5,0 × 10^6 µL; 5,0 × 10^6 globuli rossi/µL × 5,0 × 10^6 µL = 2,5 × 10^{13} globuli rossi, cioè 25 000 miliardi.

26. Traccia. 70 mL × 70 battiti/min × 60 min = 294 000 mL ≈ 290 L all'ora, circa 60 volte il volume del sangue del corpo e molto più del cibo e delle bevande di un giorno. Se il sangue si formasse dal cibo nel fegato e si consumasse negli organi, come pensava Galeno, il corpo dovrebbe produrne e distruggerne centinaia di litri all'ora: è impossibile. L'unica spiegazione è che lo stesso sangue torni al cuore e venga spinto di nuovo: circola.

27. Traccia. Variabile indipendente: la durata dell'esercizio (1, 2, 4 min); variabile dipendente: il tempo di ritorno della frequenza entro, per esempio, il 10 % del valore di riposo, misurata a intervalli regolari. Da tenere costanti: altezza dello scalino, ritmo (con un metronomo), posizione durante il recupero, modo di misurare il polso, ora del giorno; le prove della stessa persona vanno fatte in giorni diversi o dopo un recupero completo. Il controllo è la frequenza di riposo misurata più volte. Servono più partecipanti e la media dei risultati. Sicurezza: partecipano solo studenti senza controindicazioni, ci si ferma al primo malessere, un adulto è presente.

28. Traccia. In alta quota la pressione parziale dell'ossigeno è più bassa, e i tessuti ricevono meno ossigeno; i reni lo «sentono» e producono più eritropoietina (EPO), che stimola il midollo osseo rosso a produrre più globuli rossi: l'ematocrito sale e il sangue trasporta più ossigeno. Un ematocrito troppo alto rende il sangue più viscoso: scorre con più difficoltà, il cuore deve lavorare di più e aumenta il rischio che si formino trombi, con possibili infarti e ictus. Per questo l'uso di EPO come doping è vietato ed è anche pericoloso.

29. Traccia. La placca restringe la coronaria e la rende rigida; se si rompe, su di essa si forma un coagulo che può chiudere il vaso. La parte di miocardio irrorata da quella coronaria resta senza ossigeno e, se il flusso non viene ripristinato in fretta, muore: è l'infarto. In un arresto cardiaco il cuore non pompa e il cervello senza ossigeno subisce danni in pochi minuti: chiamare subito il 112 fa partire i soccorsi avanzati, e le compressioni toraciche mantengono un minimo di circolazione finché non arrivano il DAE e i soccorritori.