

## CIRCULAȚIA SÂNGELUI

Sângele este un țesut special sub formă lichidă care, prin intermediul aparatului circulator, alcătuit din inimă și vasele sanguine, transportă nutrienții și oxigenul la nivelul țesuturilor corpului, de unde preia bioxidul de carbon și produșii de catabolism tisular, transportându-i la nivelul organelor de eliminare. În medicină, disciplina care se ocupă cu studiul sângelui se numește hematologie. Sângele este alcătuit dintr-o parte lichidă, plasma sanguină, în care plutesc o serie de celule specifice sângelui.

Circulația sângelui este asigurată în primul rând prin contracțiile mușchiului cardiac, ajutat de valvulele venoase în combinație cu contracțiile mușchilor scheletici.

În general vasele de sânge bogate în oxigen care pornind de la inimă și irigă țesuturile se numesc artere iar cele care sosesc la inimă și transportă produsele de catabolism de la țesuturi încărcate cu bioxid de carbon se numesc vene.

Sistemul vascular conține la om ca. 70 - 80 ml de sânge pe kilogram, deci la o greutate corporală normală a unui om de 70-80 kg va fi cca. 5 - 6 litri de sânge, bărbații au ca. cu 1 litru mai mult sânge ca femeile.

Sângele se deplasează într-un circuit închis, într-un singur sens, prin circulația sistemică și pulmonară, dispuse în serie și legate prin inimă.

### **Circulația prin artere**

Arterele sunt vasele prin care sângele pleacă de la inimă cu O<sub>2</sub> (în circulația sistemică) sau cu CO<sub>2</sub> (în circulația pulmonară). Proprietățile lor sunt elasticitatea și contractilitatea.

Elasticitatea se manifestă la nivelul arterelor mari, care amortizează „unda de soc” provocată de sistola ventriculară și înmagazinează o parte a energiei sub forma de tensiune elastică a peretilor. Arterele mari, considerate „cisterne de presiune”, transformă curgerea sacadată a sângelui, determinată de ritmicitatea sistolelor, în curgere continuă.

Contractilitatea este caracteristică arterelor mici și arteriolelor, care își modifică activ calibrul, prin activitatea fibrelor musculare netede din tunica lor medie. Sunt considerate „ecluze de irigație”.

Factorul principal al curgerii sangelui prin artere este activitatea mecanica a inimii. Ea determina la nivelul sistemului arterial parametri masurabili, indici importanti ai starii de sanatate.

### **Circulatia mare**

Circulatia mare

porneste de la ventriculul stang al inimii, apoi prin artera principala - aorta - se ramifica arterial la toate organele si tesuturile. La tesuturi, prin capilare, sangele cedeaza oxigen si substante nutritive, se incarca cu bioxid de carbon si cu deseurile rezultate din metabolism, apoi, prin vene, se varsa in auriculul drept al inimii, unde se termina circulatia mare si incepe circulatia mica...

### **Circulatia mica**

Din auriculul drept, sangele trece in ventriculul drept din care porneste circulatia mica. Aceasta trece prin artera pulmonara, in plamani. In capilarele pulmonare, sangele cedeaza bioxidul de carbon adus, se incarca cu oxigen, pe care il transporta prin vene pana in auriculul stang, unde se termina mica circulatie.

### **Circulatia capilara**

Circulatia capilara se adapteaza continuu la nevoile metabolice. In repaus, multe capilare sunt inchise. Ele se deschid cand activitatea se intensifica si creste nevoia de sange in organul respectiv.

Permeabilitatea este proprietatea capilarelor de a permite schimbul de apa si substante dizolvate intre sange si tesuturi prin filtrare, difuziune si osmoza. Peretele capilar este permeabil si pentru leucocite in drumul lor spre focarele de infectie.

Proprietatea capilarelor de a-si modifica lumenul, motricitatea capilara, se datoreaza actiunii musculaturii netede din peretii arteriolelor si sfincterelor precapilare aflate sub controlul SNV simpatic.

### **Circulatia prin vene**

Venele sunt vasele prin care sangele vine la inima cu CO<sub>2</sub> (din circulatia sistemica) si cu O<sub>2</sub> (din circulatia pulmonara). Capacitatea lor este de circa trei ori mai mare decat a arterelor. Proprietatile principale ale venelor sunt distensibilitatea si contractilitatea.

Distensibilitatea este proprietatea venelor de a-si mari pasiv calibrul sub

acțiunea presiunii sangvine, unele vene jucând rolul de „rezervoare” de sange (vena hepatică, splenică). Contractilitatea venelor se datorează tunicii musculare netedă din peretii lor și asigură mobilizarea sângelui din rezerve.

## Sânge

---

**Sângele** (latină *sanguis*, greacă veche: αἷμα, *haima*) este un țesut special sub formă lichidă care, prin intermediul aparatului circulator, alcătuit din inimă și vasele sanguine, transportă nutrienții și oxigenul la nivelul țesuturilor corpului, de unde preia bioxidul de carbon și produșii de catabolism tisular, transportându-i la nivelul organelor de eliminare. În medicină, disciplina care se ocupă cu studiul sângelui se numește hematologie.

Sângele este alcătuit dintr-o parte lichidă, plasma sanguină, în care plutesc o serie de celule specifice sângelui.

Circulația sângelui este asigurată în primul rând prin contracțiile mușchiului cardiac, ajutat de valvulele venoase în combinație cu contracțiile mușchilor scheletici.

În general vasele de sânge bogate în oxigen care pornind de la inimă și irigă țesuturile se numesc *artere* iar cele care sosesc la inimă și transportă produsele de catabolism de la țesuturi încărcate cu bioxid de carbon se numesc *vene*.

## Evoluție

---

Fiecare celulă pentru a supraviețui este nevoită să recurgă la o serie de schimburi de substanțe cu mediul în care se află.

Prin procesele de evoluție apar organisme pluricelulare, prin această formă nu toate celulele au contact direct cu mediul înconjurător, ci indirect prin proces mai îndelungat prin procesul de difuziune dintre celule.

La nevertebratele cele mai inferioare (spongieri, unele celenterate) prevăzute cu sistem gastrovascular, o parte din mediul extern pătrunde în acest sistem și îndeplinește temporar rolul sângelui. Acest lichid care nu se deosebește prea mult de apa exterioară, mediul în care trăiește animalul, poartă denumirea de hidrolimfă. Între hidrolimfă și celulele corpului au loc schimburi de substanțe, cedarea oxigenului spre celule și preluarea CO<sub>2</sub> și a altor produșii metabolici, hidrolimfa îndeplinind în felul acesta funcția respiratorie, de hrănire și de epurare a organismului. Într-un stadiu mai evoluat, odată cu apariția cavității celomice, hidrolimfa devine hemolimfă, un lichid incolor sau ușor albastrui (la crustacee, insecte, moluște) sau roșu (unii viermi). Hemolimfa are o

compoziție proprie, diferită de cea a mediului extern cu care nu mai vine în contact direct. Hemolimfa conține o cantitate mai mică de apă, iar cantitatea de substanțe minerale și organice sporește, la care se mai adaugă anumite tipuri de celule și substanțe pigmentare, cu o afinitate mai mare pentru oxigen, accentuând astfel funcția respiratorie a acestui lichid circulatoriu. Hemolimfa circulă într-un sistem circulator lacunar deschis, venind direct în contact cu celulele corpului.

Dezavantajul acestui sistem o circulație mai înceată. La insecte sângele nu are rol de transport al gazelor. Aerul atmosferic pătrunde în organism prin orificii de pe laturile abdomenului numite stigme. Stigmele se continuă cu tubușoare ce se ramifică și ajung până la ultimele celule. Tubușoarele se numesc trahee și pentru a fi mereu deschise prezintă în interior un firisor de chitină în spirală

Are loc mai apoi transformarea sistemului circulator lacunar într-un sistem circulator închis, ceea ce face ca lichidul care circulă prin el să devină cu o structură tot mai complexă, iar funcțiile și posibilitățile de menținere a compoziției sale cresc. La animalele vertebrate este un sistem circulator închis, lichidul de circulație fiind numit sânge. Deoarece sistemul circulator este închis, sângele nu mai vine în contact direct cu celulele diferitor țesuturi, așa cum are loc în cazul hemolimfei. Schimbul diferitor substanțe se face prin intermediul lichidului extracelular (plasma interstițială). Acest lichid este drenat din spațiile intercelulare de sistemul limfatic și devine limfă.

## **Compoziția și volumul sanguin**

---

Sângele este un țesut lichid de origine mezenchimală, format dintr-o substanță fundamentală interstițială, plasma, în care se găsesc elementele figurate.

Raportul dintre volumul plasmei și cel al elementelor figurate se determină cu ajutorul hematocritului. În practică, termenul de hematocrit exprimă relația procentuală dintre volumul elementelor figurate și cel al plasmei, sau doar volumul procentual al elementelor figurate. La om, media valorilor hematocritului este de 46/54 (sau 46%). Determinarea se face cu sânge recoltat dimineața, pe nemâncate, acesta fiind centrifugat la 3000 rotații pe minut. Elementele figurate, având o densitate mai mare, sedimentează în porțiunea inferioară a eprubetei gradate, hematocritul citindu-se direct. Creșterea numărului hematiilor pe unitate de volum se numește hemoconcentrație, iar scăderea - hemodiluție. În poliglobuliei hematocritul poate ajunge și la valori de 70-75%, iar în anemii la 10-15%.

La om, volumul sanguin constituie circa 7% din greutatea corpului. La o greutate medie de 70 kg, cantitatea de sânge este de 4,9 l. La mamifere cantitatea de sânge este proporțional mai mare decât la celelalte vertebrate.

Nu tot sângele aflat în organism circulă activ în sistemul vascular, o parte găsiindu-se sub formă de rezervă în organele cu structură diverticulară (splină, unele vase abdominale, plexul subpapilar tegumentar). Starea fiziologică și activitatea diferitelor sisteme funcționale modifică raportul dintre cantitatea sângelui circulant și cel stagnant. În timp de repaus la om, sângele circulant este repartizat astfel: 40% în sistemul muscular, 30% în sistemul nervos, renal suprarenal și tiroidian, 20% în organele abdominale și 10% în sistemul coronarian. În efortul fizic, debitul circulatoriu crește mult în mușchi, plămâni, rinichi, creier și în vasele coronare. În acest caz este antrenat sângele din organele de rezervă, precum și din organele care se găsesc în activitate scăzută.

Cantitatea totală de sânge scade în caz de inaniție, anemii, hemoragii.

În general, volumul sângelui se menține constant prin mecanisme compensatorii de trecere a apei din sânge în lichidul interstițial și invers. Astfel, dacă volumul de sânge crește (ingestie de lichide, formare de apă metabolică), surplusul de apă trece la țesuturi (mușchi), și apoi se elimină prin rinichi. Dacă volumul sanguin scade, apa din spațiile interstițiale trece în sânge. În urma hemoragiilor, volumul plasmatic se reface mai repede decât cel al elementelor figurate. Hemoragiile bruște sunt periculoase din cauza hipotensiunii accentuate. Boala cardiovasculară se numește cleovastita oviraptori.

## **Rolul sângelui**

---

Rolul sângelui este cel de a transporta substanțele nutritive prin corp, dar în el se pot transporta și trombocitele ce ajută la repararea țesutului (plăgii).

## **Structură și proprietăți**

---

Sângele este compus din elemente celulare (ca.44 %) și plasmă (ca. 55 %), care conține (90 % apă), proteine, săruri minerale și substanțe cu molecule mici ca monozaharide, hormoni, gaze dizolvate, și substanțe nutritive (glucide, lipide, vitamine), mai conțin produse de catabolism destinate excreției (rinichi) ca uree, acid uric, hipuric.

Din punct de vedere fizico-chimic sângele este o suspensie, cu alte cuvinte un amestec de lichide, gaze, substanțe solide printre care se înțeleg și celulele. Sângele prin conținutul său de eritrocite (globule roșii) în comparație cu plasma

având o vâscozitate mai mare, creșterea hematocritului influențează pozitiv creșterea vâscozității sângelui, care determină încetinirea curentului sanguin, prin proprietatea plastică a eritrocitelor sângele nu se comportă ca o suspensie ci ca emulsie

Valoarea pH-ului sanguin fiind 7,4 care prin diferite procese tampon va fi menținută constant, evitând fenomenele dăunătoare organismului deacidoză sau alcaloză.

Culoarea roșie a sângelui este datorată pigmentului (cu fier) hemoglobină din eritrocite care încărcate cu oxigen au o culoare mai deschisă.

## Plasma

Plasma sanguină reprezintă aproximativ 55–60% din sânge și este formată din aproximativ 90% apă, 1% substanțe anorganice (săruri minerale care conțin ioni dintre care mai importanți sunt cei

de sodiu Na, clor Cl, potasiu K, magneziu Mg, fosfor P și calciu Ca) și aproximativ 9% substanțe organice (proteine, glucide, lipide etc). Raportul de proteine variază între 60 și 80 g/litru ca. 8 % din volumul plasmei.

Proteinele separate prin electroforeză sunt albumine ca și  $\alpha_1$ -,  $\alpha_2$ -,  $\beta$ - și  $\gamma$ globuline. Proteinele din plasmă pe lângă rolul de transport, mai joacă un rol important în apărarea organismului prin sistemul imunologic, în procesul de coagulare a sângelui rolul de tampon în menținerea unui pH constant și menținerea constantă a presiunii osmotice din sânge.

Plasma care nu mai conține factorii de coagulare este numit *ser sanguin* acesta se obține prin centrifugarea sângelui după coagulare.

Serul conține 91 % apă, factori de creștere care nu sunt prezenți în plasmă, 7 % proteine, restul sunt electroliți și hormoni, culoarea galbenă a serului se datorează bilirubinei.

## Elemente figurate

Elementele figurate ale sângelui sunt eritrocitele, leucocitele și trombocitele. Prezintă variații de număr și formă în funcție de specie.

**Eritrocitele** (numite și globulele roșii sau hematii) au rolul de a transporta oxigenul și dioxidul de carbon. Sunt celule anucleate, ce conțin un pigment numit hemoglobină. Aceasta este o proteină compusă dintr-o albumină numită *globină* și o grupare numită hem, ce conține fier, cu rol de fixare a oxigenului. Hemoglobina este pigmentul care determină culoarea roșie a

sângelui. Unele specii de animale au alt tip de pigment sanguin, care conține cupru și este de culoare albastră (Octopus). Circa 1 % din eritrocitele din sângele periferic sunt reticulocite, restul fiind eritrocite mature.

**Leucocitele** sau globulele albe se împart în granulocite și agranulocite. Granulocitele sunt leucocite cu nucleu granular, clasificate după culoarea protoplasmei în trei categorii: eozinofile, bazofile și neutrofile. Au rol imunologic în imunitatea nespecifică. Agranulocitele sunt leucocite cu nucleu de formă mai simplă, negranular, și se clasifică în monocite și limfocite. Au rol în imunitatea specifică.

Numărul normal de globule albe variază în funcție de vârstă, fiind mai mare la copil. Poate depăși valorile normale ale vârstei, în caz de boală. În infecții, în special bacteriene, numărul de leucocite de regulă crește, dar poate să și scadă în infecții cu anumiți germeni, în special virusuri, sau la persoane cu imunodeficiențe.

**Trombocitele**, numite și plachete sanguine, sunt celule ale sângelui cu rol în coagulare.

Proporția elementelor figurate (celulare) din sânge se numește *hematocrit*. Valorile normale ale hematocritului variază în funcție de vârstă și sex. La bărbați, valoarea normală a hematocritului este între 44 - 46 %, la femei între 41 - 43 %. La copii variază în funcție de vârstă, la nou născuți fiind de 60 %, iar la copiii până la pubertate de numai de 30 %.

## **Hematopoieza**

---

Este procesul de formare a elementelor celulare sanguine la nivelul măduvei osoase, din celulele sistemului reticulo-endotelial (celule de tip embrionar) care prin procesul de maturare se pot transforma în oricare celulă specializată din organism.

*Hematopoieza* are mai multe forme ca de exemplu *eritropoeza* formarea eritrocitelor, această maturare a eritrocitelor tinere se produce prin acțiunea hormonului eritropoetină în ficat și rinichi.

Un rol important în eritropoeză îl joacă fierul, cobalamina (vitamina B12) și acidul folie (vitamina B9), o scădere a concentrației sanguine în oxigen stimulează accelerarea eritropoezei cu producerea hormonilor necesari.

Așa numitul cimitir al eritrocitelor este splina și celulele Kupffer din ficat, viața unei eritrocite durează 120 de zile, după moartea

eritrocitelor, hemoglobina suferă un proces de descompunere cu mai multe etape: bilirubina, urobilina, stercobilina acestea se elimină prin urină și fecale.

## Arborele vascular

Arborele vascular este format din: **artere**, vase prin care sangele circula de la inima la tesuturi si organe; **vene**, vase prin care sangele vine la inima; **capilare**, vase de calibru foarte mic, asezate intre artere si vene, la nivelul carora se realizeaza schimburile gazoase si nutritive dintre sange si tesuturi. Structura peretilor vaselor mari cuprinde trei tunici: externa, mijlocie si interna ( . ).

**Structura arterelor.** *Tunica externa* este formata din tesut conjunctiv cu fibre de collagen si elastina, fibre nervoase vegetative si vase de sange proprii, care hranesc peretele vascular (*vasa vasorum*).

*Tunica mijlocie* la arterele mari (de tip elastic) este formata preponderent din lame elastice concentrice si putine fibre musculare netede, iar la arterele mijlocii si mici (de tip muscular) predomina fibrele musculare netede si sunt putine fibre elastice.

Arborele vascular este format din artere, vene si capilare. *Arterele* sunt vase prin care sangele dinspre inima spre tesuturi si organe. *Capilarele* sunt vase cu calibru foarte mic, la nivelul carora se fac schimburile ( gaze, substante) intre sange si diferitele tesuturi. *Venele* sunt vase prin care sangele este readus la inima.

Calibrul arterelor scade de la inima spre periferie, cele mai mici fiind *arteriolele* care se continua cu capilarele.

Artere——arteriole——**capilare**——venule——Vene

Vasele sanguine sunt tuburile prin care este inchis si prin care circula sangele. *Arterele* pornesc din ventricule si, ramificandu-se, se raspandesc la toate organele, unde se capilarizeaza. Arterele mari sunt asezate, in general, profund, pe cand arterele mici sunt superficiale.

In tunica mijlocie a arterelor mari (aorta, artera pulmonara) se gaseste mai mult *tesut elastic* (artere de tip elastic), pe cand in tunica mijlocie a arterelor mai mici predomina *tesutul muscular* (artere de tip muscular). Stratul de tesut elastic se subtiaza pe masura ce ne departam de inima, iar stratul muscular se ingroasa, cu cat ne departam de inima. Datorita acestui fapt, arterele mari sunt extensibile si elastice, pe cand cele mijlocii si mici sunt contractile.

Tunica externa si cea mijlocie nu au aceeasi grosime pe toata lungimea arterelor, pe masura ce ne indepartam de inima si ne apropiem de vasele capilare, ele se subtiaza din ce in ce mai mult, pana dispare la nivelul capilarelor.



*Venele* sunt mai numeroase decat arterele, prin ele sangele circula de la periferie spre inima. Sunt *vene profunde* care insotesc arterele si *vene superficiale* care sunt asezate sub piele si nu insotesc arterele. *Valvulele venoase* se gasesc numai in venele in care sangele circula *de jos in sus* (de ex. in venele membrelor inferioare si vena cava inferioara). Venele care au valvule se numesc *vene valvulare*. Valvulele lipsesc in venele in care sangele circula de sus in jos, ca, de ex. venele jugulare si vena cava superioara. Venele care nu au valvule se numesc *vene avalvulare*. Valvulele venoase au forma unor cuiburi de randunica si sunt asezate cu concavitatea in sus.

### **Structura peretelui vascular**

Structura peretelui vascular (vaselor sanguine, vaselor limfatice). La nivelul vaselor mari( artere, vene) intalnim o structura reprezentata de trei tunici:

- intima (tunica interna);
- media (tunica mijlocie);
- adventicea (tunica externa).

*Intima* este formata dintr-un endoteliu asezat pe membrane bazala(subendoteliu). *Tunica mijlocie* difera de la un tip de vas la altul. La nivelul arterelor, in functie de structura mediei, exista artere de tip elastic si de tip muscular. *Arterele de tip elastic* au in medie predominant fibre elastice, fibre care sunt grupate in lame elastice. Aceste artere sunt mari( aorta, arterele pulmonare, carotidele, iliacele). *Arterele de tip muscular* sunt de calibru mai mic, au media reprezentata de cellule musculare netede si fibre elastice in numar redus. La aceste artere de tip muscular fibrele elastice se concentreaza la cele 2 limite ale mediei numite *limitante* (membrane) *elastice* (interna si externa). Aceste limitante elastice lipsesc la arterele mari si nu le intalnim in structura venelor.

Media( tunica mijlocie) venelor( sanguine si limfatice) este reprezentata de tesut conjunctiv bogat in fibre elastice, colagene si cellule musculare netede. Adventicea este o patura de tesut conjunctiv, prezinta fibre elastice, fibre colagene.

### **Capilarele**

Capilarele sanguine – se interpun intre vasele sanguine (se interprun intre arteriole si venule sau intre 2 arteriole sau intre 2 venule). Pot fi obisnuite (lumen constant regulat) si sinusoide (au calibru mult mai mare si foarte variabil), de ex. in parenchimuri(de ex. hepatic). Capilarele limfatice se termina

in fund de sac, calibrul este destul de neregulat. Peretele capilarelor sanguine si limfatice este foarte subtire, format din endoteliu sprijinit pe membrane bazala.

Circulatia prin capilare se face cu viteza si presiune scazute. Acestea, precum si peretele subtire, unistratificat al capilarelor, favorizeaza schimburile de substante dintre sange si cellule. Presiunea sanguina din capilare forteaza o parte din plasma sa iasa printre celule, formand lichidul intercelular. El scalda celulele si prin intermediul lui se realizeaza schimburile de substante dintre celule si sange : oxigenul si nutrimentele trec din capilare in lichidul intercelular, iar dioxidul de carbon si produsii toxici sau nefolositori intra in sangele din capilare.

O parte din lichidul intercelular intra in capilarele limfatice, vase in forma de” deget de manusa”, inchise , formand limfa.

### **Marea si mica circulatie**

In alcatuirea arborelui vascular se disting 2 teritorii de circulatie: circulatia mare-sistemica, si circulatia mica –pulmonara.

*Circulatia mica/ pulmonara*= incepe in ventriculul drept, prin trunchiul arterei pulmonare, care transporta spre plaman sange cu CO<sub>2</sub>.

Trunchiul pulmonar se imparte in cele 2 artere pulmonare, care duc sangele cu CO<sub>2</sub> spre reseaua capilara din jurul alveolelor, unde il cedeaza alveolelor care-l elimina prin expiratie. Sangele cu O<sub>2</sub> este colectat de venele pulmonare, cate doua pentru fiecare plaman. Cele 4 vene pulmonare sfarsesc in atriul stang.

*Circulatia mare/ sistemica*= incepe in ventriculul stang, prin artera aorta care transporta sangele cu O<sub>2</sub> si substante nutritive spre tesuturi si organe. De la nivelul acestora, sangele incarcat cu CO<sub>2</sub> este preluat de cele 2 vene cave care-l duc in atriul drept.

Inregistrarea modificarilor de potential electric care insotesc activitatea miocardului=**electrocardiograma**. Inregistrarea se poate face la suprafata inimii sau a corpului.

ECG (electrocardiograma) consta din *unde* (care sunt deflexiuni /devieri de amplitudini variabile, exprimate in mV), *segmente* (liniile orizontale dintre 2 unde vecine) si intervale (distanța între începutul unei unde și începutul alteia).

În cadrul sistemelor și aparatelor care alcătuiesc ființa biologică umană, sistemul circulator ocupă un rol de primă importanță, fiind distribuitorul "sevei vieții".

Corpul uman este alcătuit dintr-o vastă rețea de canale, mai mici sau mai mari, prin care circulă permanent lichide cu diverse încărcături. Sistemul circulator reprezintă o imensă rețea de distribuție, redistribuție, evacuare și recaptare a fluidelor din corp, având o importanță covârșitoare pentru organism. Multitudinea de vase tubulare ale sistemului circulator, prin intermediul cărora circulă sângele, reușește să irige permanent întreg organismul, fără să fie omis nici un ungher, nici măcar o celulă, din zecile de miliarde care alcătuiesc corpul uman.

### **asele de sânge, circulația mare și circulația mică**

Vasele de sânge mari (artere, vene), mici (capilare) sau intermediare (arteriole, venule), străbat întreg corpul, transportând prin ele substanțe esențiale pentru viață. După conținutul sângelui în gaze precum și în alte substanțe, circulația are două componente majore, una arterială și cealaltă venoasă

#### **• Circulația arterială**

Arterele sunt canale mari prin care circulă sângele de la inimă spre țesuturi. Principalele trunchiuri arteriale descriu marea circulație (circulația mare) mare și mica circulație (circulația mică).

Aorta este vasul principal ce pleacă din ventriculul stâng al inimii, ramificându-se apoi în derivații cu calibrul din ce în ce mai mic (arteriole, capilare). Arterele și arteriolele pornite din aortă descriu circulația arterială mare. Artera pulmonară, pleacă din ventriculul drept și transportă sânge venos spre plămâni, fiind componenta arterială principală a circulației mici

Arterele și mai ales arteriolele, sub influența impulsurilor nervoase primite prin nervii simpatici, se dilată sau se contractă schimbând debitul sanguin. Modificările de calibru, influențează debitul irigației tisulare, după nevoile organismului. Din acest motiv, aceste canalele, au fost numite „ecluze de irigație”.

#### **• Capilarele**

După ce sângele a străbătut arterele mari și mici ajunge în rețeaua vaselor capilare. Capilarele sunt vase scurte (0,5cm) și cu diametre microscopice (mai mici de 20μ). Ele sunt foarte numeroase realizând o lungime totală de 2500 km. și o suprafață de 6200 mp. Capilarul are două terminații, prin care se leagă, la un capăt, de arteriole iar de celălalt capăt de venule (vene cu calibru mic). De asemenea, vasele capilare prezintă ramificații laterale prin care se unesc între

ele.

Aceste minuscule canale, permit trecerea prin pereții lor subțiri, în spațiul interstițial, și de aici în celule și retur (din celule înapoi în circuitul sanguin), a apei, a proteinelor plasmatiche cu masă moleculară mică, a unor elemente figurate, a mineralelor ionice, a gazelor, a substanțelor plastice ori energetice, a unor compuși de asimilație sau dezasimilație. Prin intermediul lichidelor interstițiale are loc schimbul nutritiv (nutriția celulară), respirator și excretor, dintre celule și sânge. Lichidele, celulele și substanțele care ies din vasele capilare sanguine, constituie mediul local al țesuturilor și al organelor. Deși provin din același sânge, aceste medii locale sunt diferite de la un țesut la altul, deoarece celulele tind să le adapteze propriilor necesități (față de "zonele" ecologice, în care factorii biotici se adaptează la mediu, țesuturile organismului, prezintă și capacitatea de a adapta mediul la cerințele lor). Din interacțiunea dintre celulele unui țesut și mediul local depinde starea de sănătate sau aceea de boală a unui organ sau a întregului organism.

Diametrul foarte mic al capilarelor, nu permite trecerea unor elemente mai mari, fără ca acestea să nu se deformeze. De exemplu, eritrocitele nu pot străbate capilarele păstrându-și aspectul, deoarece sunt prea voluminoase. Din cauza taliei mari, ele sunt nevoite să se îngheșue, modificându-și reversibil forma, în timpul trecerii prin vasele capilare sau prin pereții acestora. (vezi imaginea 4). În urma acestui frecuş permanent, globulele roșii se uzează și îmbătrânesc repede, trebuind înlocuite în mod continuu.

Capilarele au proprietatea de a-și modifica calibrul, permeabilitatea, filtrabilitatea și aderența pereților interni. În mod obișnuit, prin vasele capilare, trece doar 5% din totalul sângelui circulant. Acest volum, prin modificarea formei capilarelor, poate crește de 6 ori. Sporul cantitativ de sânge capilar se realizează pe baza micșorării volumului de sânge din vasele mai mari. Dacă are loc o vasodilație capilară la nivelul întregii suprafețe cutanate, se scoate din circulație o cantitate însemnată de sânge de la nivelul organelor, mai ales a ficatului, splinei și plămânilor producându-se decongestionarea lor. Vasoconstricția dermică, acționează în sens contrar, aducând un flux sporit sanguin spre viscere prin scăderea volemiei sanguine periferice.

Există numeroși factori tisulari, fizici și chimici care pot modifica calibrul capilarelor. Căldura și acidoza provoacă dilatarea acestor vase minuscule, în timp ce frigul are o acțiune contractilă. Dintre cataboliți, dioxidul de carbon, acidul lactic, acidul uric au efect dilatator, iar amoniacul acționează ca vasoconstrictor. Lipsa vitaminei P, hipokaliemia, hipocalcemia, carența

proteică, histamina, insuficiența sau excesul unor hormoni, precum și alte substanțe, pot produce o creștere exagerată a permeabilității capilare. În aceste condiții, capilarele își pierd rezistența, devin fragile, se sparg ușor și permit trecerea, uneori masivă, a lichidelor în spațiul interstițial, producându-se uneori, microhemoragii sau mai des, edem.

- Circulația venoasă

În cadrul sistemului circulator, sângele este adus înapoi, la inimă, prin componenta venoasă. De la țesuturi prin capilare, sângele revine la cord prin venule, care unindu-se se captează în vene. Vena cavă superioară și vena cavă inferioară, sunt canalele care colectând tot sângele venos al circulației mari, se deschid în atriul drept (vezi imaginea 3).

Circulația venoasă reprezintă un transport sanguin de întoarcere, care se realizează mai greoi, în primul rând din cauza că, cu excepția părții superioare a corpului, se desfășoară împotriva gravitației. Factorii cei mai importanți care asigură desfășurarea optimă a circulației venoase sunt: respirația, contracțiile ventriculare, contracțiile musculaturii scheletice ale membrelor inferioare și pulsațiile arterelor. Inspirația pulmonară realizează o aspirație a sângelui venos spre cord, mai ales în venele mari, deoarece se creează o presiune intratoracică negativă. Totodată, inspirația profundă, exercită o presiune asupra organelor abdominale, prin intermediul diafragmei, presiune care se transmite venelor. Se poate conchide deci, că respirația corectă și efortul fizic moderat au efecte dintre cele mai favorabile asupra circulației venoase.

## Sângele

Sângele este un țesut lichid, compus dintr-o parte lichidă (plasmă -55%) și una solidă (elemente figurate -45%), care circulă într-un sistem închis (sistemul circulator). Față de alte țesuturi, celulele sângelui nu sunt imobilizate, ci ele "plutesc" într-un lichid vâscos (plasma). Datorită acestui fapt, sângele este un țesut mobil care reușește să se strecoare în toate părțile corpului.

Rolul sângelui este acela de a asigura:

- transportul diferitelor substanțe spre locul lor de destinație; țesuturi și celule (substanțe nutritive, produși intermediari, enzime, hormoni, etc.),
- respirația tisulară (transportul oxigenului dinspre plămâni spre celule și a dioxidul de carbon dinspre celule spre plămâni),
- epurarea organismul (descărcarea din mediul intern, prin organele de eliminare, mai ales prin rinichi, a produșilor de dezasimilație și a toxinelor),

- transformarea unor substanțe (prin enzimele pe care le conține și mai ales prin transportul compușilor spre ficat),
- imunitatea organismului (prin anticorpii pe care îi conține),
- repartizarea și reglarea căldurii în organism,
- menținerea constantă a echilibrului acido-bazic și a balanței hidrice,
- reconstrucției organice, acolo unde este necesar.

Deși sângele se reconstituie în permanență, compoziția sa rămâne aproape invariabil constantă. Acest echilibru funcțional, poartă denumirea de homeostază. Homeostaza este controlată și dirijată de către sistemul neuro-endocrin cu participarea organelor hematoformatoare - pe de-o parte și a unor aparate (respirator, excretor) - pe de altă parte. Astfel, prin analize de laborator, se pot determina valorile multor elemente circulante, care în mod normal trebuie să rămână relativ constante, ca:

- glicemia (nivelul glucozei din sânge),
- nivelul lipidelor (lipide totale, trigliceride, colesterol) din sânge,
- nivelul proteinelor din sânge și raportul dintre albumine și globuline
- valoarea unor minerale (fier, calciu, magneziu, sodiu, etc.).

Sângele arterial conține hemoglobină saturată în oxigen (oxihemoglobină). El circulă prin artere, de la plămâni spre țesuturi, unde donează oxigenul celulelor.

Sângele venos conține carbohemoglobină (hemoglobină care a legat dioxidul de carbon), circulând prin vene, de la țesuturi la plămâni.

De la aceste reguli, face excepție sângele care circulă prin artera, respectiv vena pulmonară. Prin artera pulmonară circulă sângele de la inimă la plămâni (sânge încărcat cu dioxid de carbon, sânge venos), iar prin vena pulmonară trece sânge oxigenat, de la plămâni la inimă.

## Componentele sângelui

Cele două componente ale sângelui sunt plasma și elementele figurate.

### Plasma

Plasma este componenta lichidă, lipsită de elemente figurate, atât a sângelui, cât și al altor fluide din corp (lichidul cefalorahidian, limfa, lichidul seminal, lichidul interstițial).

Plasma sângelui este un lichid gălbui, ușor vâscos. Ea trebuie închipuită ca un lichid "gros" în care se află în suspensie diferite organite (elementele figurate). Plasma conține: apă (90%), săruri minerale, proteine (albumine, globuline, fibrinogen, enzime), lipide (colesterină, picături microscopice de lipide neutre, acizi grași), substanțe intermediare, hormoni, anticorpi, glucide.

Această componentă reprezintă 55% din volumul total sângelui. Datorită compoziției chimice a plasmei, sângele reușește să neutralizeze o serie de acizi care sunt produși fără încetare de către țesuturi.

Plasma nu îndeplinește funcție respiratorie, deoarece poate dizolva o cantitate foarte mică de oxigen molecular.

Lăsată liberă, plasma coagulează. Cheagul care se formează are o culoare albicioasă și conține multă fibrină. În timpul coagulării, fibrinogenul (proteină dizolvată în plasmă) se transformă în fibrină, componentă insolubilă.

Fibrinogenul are o consistență vâscoasă, și prezintă proprietatea de a se alipii de pereții vaselor de sânge rănite, oprind hemoragia.

Dacă din plasmă se exclud proteinele de coagulare, rezultă serul.

### **Elementele figurate**

Elementele figurate reprezintă partea solidă a sângelui (45% din volumul acestuia), fiind reprezentate, după cum se poate vedea în tabelul de mai jos, prin 3 categorii de celule: eritrocite, leucocite și trombocite. Dintre aceste elemente, doar leucocitele sunt celule adevărate (prezintă nucleu și metabolism activ).

Sângele unui adult conține aproximativ 30.000 de miliarde de globule roșii și 50 de miliarde de globule albe.

### **Hematopoieza**

Hematopoieza este un ansamblu de procese succesive prin care se formează și se dezvoltă elementele figurate (celulele sanguine) (vezi imaginea 7). Deoarece celulele sanguine mature circulante au o viață limitată, înlocuirea lor în mod continuu, necesită existența unor celule precursori capabile să se multiplieze, să se diferențieze și să se maturizeze până la dobândirea funcțiilor caracteristice.

### **Hematopoieza**

Toate elementele figurate, își au originea primordială în hemohistoblast (celula stem multipotentă), celulă capabilă să se multiplieze și apoi să se diferențieze în celule stem unipotente (celule orientate către una din seriile sanguine), așa cum sunt celulele stem eritropoietică, granulo-monocitopoietică, trombocitopoietică și limfopoietică.

În primul trimestru de viață intrauterină, chiar din a III-a săptămână, începe să se formeze celulele sanguine primitive, iar apoi, din luna a II-a, activitatea hematopoietică este preluată de către ficat și de splină. Din luna a VI - a, măduva osoasă preia treptat această funcție generatoare.

La adult, hematopoieza se realizează aproape în totalitate, în măduva vertebrelor, a coastelor, în interiorul oaselor late și în extremitatea celor lungi. Doar monocitele și limfocitele au o altă origine; sistemul reticulo-endotelial, respectiv ganglionii limfatici (vezi imaginea 8)

### Organe hematoformatoare

Întregul proces hematopoietic se află sub control neuroendocrin.

Principiile capabile să stimuleze hematopoieza, se numesc hematopoietice.

Dintre laturile hematopoiezei, aceea prin care se formează globulele roșii, poartă denumirea de eritropoieză, iar aceea prin care se formează trombocitele, se numește trombopoieză.

### Coagularea sângelui și hemostaza (stoparea hemoragiilor)

Procesul de coagulare a sângelui este realizat prin intermediul unei fracțiuni a proteinelor plasmatică; fibrinogenul, care este precursorul solubil al fibrinei. La apariția unor hemoragii, fibrinogenul trece în fibrină, proteină cu structură filamentoasă, deosebit de ramificată. Eritrocitele și trombocitele sunt prinse în rețeaua filamentoasă și sunt supuse dezintegrării. Astfel se formează cheagul, care la început aderă la pereții vaselor de sânge, și serul.

Coagularea sângelui, deci transformarea fibrinogenului în fibrină, depinde de o serie de factori, care activându-se acționează în cascadă (vezi imaginea 9) [mai multe despre coagularea sângelui].

### Schema coagulării sângelui



Coagularea reprezintă un proces deosebit de important, prin efectul antihemoragic prompt promovat. Însă stoparea naturală a hemoragiilor, nu se datorează exclusiv coagulării sângelui. Procesul antihemoragic, numit hemostază, implică și participarea altor factori, care împreună reușesc nu numai să oprească sângerarea, dar și să refacă în totalitate vasul de sânge lezat (mai multe despre hemostază).

## Epurarea

Celulele organismului au tendința permanentă de a elimina resturile (cataboliți, toxine, diferiți acizi) provenite din activitatea lor metabolică și nutrițională. Aceste reziduuri nu pot fi eliminate altundeva decât în sânge. Pe de altă parte, tot celulele au nevoie de o serie de substanțe pentru hrănire, respirație, construcții și reconstrucții. Singura cale de acces spre acești compuși rămâne tot sângele. Activitatea celulară fiind deosebit de intensă, țesuturile au nevoie de un contact permanent cu mediul sanguin prin care să realizeze schimburi de substanțe.

În condiții de laborator, un fragment de țesut viu păstrat într-un borcan are nevoie de un volum de lichid nutritiv de 2000 de ori mai mare decât propriul său volum și de o atmosferă gazoasă de 10 ori mai mare decât mediul lichid, ca să nu fie otrăvit de resturile nutriției lui (Alexis Carrel). Celule organismului nostru își îndeplinesc cu succes misiunea cu o cantitate de lichid, extrem de mică față de necesitățile teoretice simulate în laborator. Cantitatea de sânge la om reprezintă doar 10 % din greutatea unui individ, ceea ce înseamnă, firește pur teoretic, că este de 20.000 de ori sub necesar. Însă sângele nu stagnează, el circulă îndeplinind desăvârșit cele două roluri esențiale pentru fiecare celulă; nutritiv-respirator și epurator.

Dacă sângele din sistemul circulator nu ar reuși să îndeplinească un rol epurator satisfăcător, țesuturile și celulele din care sunt alcătuite ar fi ucise în câteva zile de către otrăvuri. Ajunge ca circulația într-o anumită zonă a corpului să încetinească

și toxic. Însă organismul posedă capacități uimitoare prin care reușește să purifice sângele, ajutându-se de două perechi de organe fundamentale; plămânii și rinichii.

Străbătând plămânii, sângele se descarcă de dioxidul de carbon precum și de o serie de compuși rezidual volatili (alcooli, corpi cetonici, etc.). Rinichii, filtrează sângele și selectează acele substanțe indispensabile (mai ales săruri

minerale), pe care le redă sistemului circulator, eliminând, pe cale urinară, reziduurile.

Epurarea sângelui, devine în anumite circumstanțe deficitară, caz în care se recomandă apelarea la principii depurative.

### **Boli, dezechilibre și alte disfuncții care ating sistemul circulator**

În mod direct sau indirect, aproape orice tulburare lasă o amprentă asupra sistemului circulator. În acest context, nu este de mirare frecvența cu care se recurge la analizelor de sânge

### **Fiziologia circulației**

Sangele se deplasează într-un circuit închis, într-un singur sens, prin circulația sistemică și pulmonară, dispuse în serie **a) Circulația prin artere**. Arterele sunt vasele prin care sangele pleacă de la inimă cu  $O_2$  (în circulația sistemică) sau cu  $CO_2$  (în circulația pulmonară). Proprietățile lor sunt elasticitatea și contractilitatea. **Elasticitatea** se manifestă la nivelul arterelor mari, care amortizează „unda de soc” provocată de sistola ventriculară și înmagazinează o parte a energiei sub formă de tensiune elastică a peretilor. Arterele mari, considerate „cisterne de presiune”, transformă curgerea saccadată a sângelui, determinată de ritmicitatea sistolelor, în curgere continuă. **Contractilitatea** este caracteristică arterelor mici și arteriolelor, care își modifică activ calibrul, prin activitatea fibrelor musculare netede din tunica lor medie. Sunt considerate „ecluze de irigație”. Factorul principal al curgerii sângelui prin artere este activitatea mecanică a inimii. Ea determină la nivelul sistemului arterial parametri măsurabili, indici importanți ai stării de sănătate. Presiunea arterială variază în funcție de: debitul cardiac, rezistența periferică dată de vasozitatea sângelui și de frecvență, volumul sângelui circulant și elasticitatea peretilor arteriali, care scade cu vârsta.

**b) Circulația capilară** (tab. 26.). Circulația capilară se adaptează continuu la nevoile metabolice. În repaus, multe capilare sunt închise. Ele se deschid când activitatea se intensifică și crește nevoia de sânge în organul respectiv. Principalele proprietăți ale capilarelor sunt permeabilitatea și motricitatea.

**Permeabilitatea** este proprietatea capilarelor de a permite schimbul de apă și substanțe dizolvate între sânge și țesuturi prin filtrare, difuziune și osmoza. Peretele capilar este permeabil și pentru leucocite în drumul lor spre focarele de infecție. Proprietatea capilarelor de a-și modifica lumenul, **motricitatea capilară**, se datorează acțiunii musculaturii netede din peretii arteriolelor și sfincțerelor precapilare aflate sub controlul SNV simpatic.

**c) Circulația prin vene**. Venele sunt vasele prin care sangele vine la inimă cu  $CO_2$  (din circulația sistemică) și cu  $O_2$  (din circulația pulmonară). Capacitatea lor este de circa

trei ori mai mare decăt a arterelor. Proprietatile principale ale venelor sunt distensibilitatea si contractilitatea.

**Distensibilitatea** este proprietatea venelor de a-si mari pasiv calibrul sub actiunea presiunii sangvine, unele vene jucand rolul de „rezervoare” de sange (vena hepatica, splenica). **Contractilitatea** venelor se datoreaza tunicii musculare netede din peretii lor si asigura mobilizarea sangelui din rezerve.

Factorii care determina intoarcerea sangelui la inima prin sistemul venos sunt: activitatea de pompa aspiro-respingatoare a inimii, prin aspiratie atriala in timpul sistolei ventriculare, aspiratia toracica in timpul inspiratiei, „presa” abdominala din timpul inspiratiei, contractiile musculaturii scheletice, prezenta valvulelor venoase in venele situate sub nivelul inimii, gravitatiea pentru venele situate deasupra inimii si pulsatiea arterelor aflate in acelasi „pachet vascular” cu venele.

### Elemente de Hemodinamica

**Hemodinamica** are ca obiect studiul fenomenelor fizice ale circulatiei (mecanica inimii si hidrodinamica curgerii sangelui prin vase elastice), aparatele, modelele precum si dispozitivele experimentale folosite pentru acest studiu. Studiul circulatiei sanguine foloseste modele mecanice datorita numeroaselor analogii care exista între functionarea inimii si cea a unei pompe, între artere si tuburile elastice etc.

**Inima** este un organ cavitat musculos care pompeaza sânge (lichid newtonian pseudoplastic) în tot organismul prin contractii ritmice (datorita ciclului cardiac) în vasele de sânge de diametre diferite, având pereti nerigizi si partial elastici. Inima are aproximativ 60-100 batai /minut, si aproximativ 100.000 batai / zi. Bataile inimii sunt accelerate de activitatea musculara si de temperatura mai ridicata a corpului.

### **Rolul de pompa al inimii**

Rolul principal al inimii consta în expulzarea sangelui în circulatie, prin închiderea si deschiderea în mod **pasiv** a valvulelor care au rol de supapa. Inima este constituita din doua pompe (Fig. 22), conectate prin circulatiile pulmonara si sistemica:

- **pompa dreapta** care are rolul de a pompa spre plamâni sângele dezoxigenat colectat din organism (circulatia pulmonara)

- **pompa stânga** colecteaza sângele oxigenat din plamâni si îl pompeaza în corp (circulatia sistemica)

Fiecare parte a inimii este echipata cu doua seturi de valvule care, în mod normal, impun deplasarea sangelui într-un singur sens, cele doua pompe ale inimii având fiecare câte doua camere: **atriul** este un rezervor care colecteaza sângele adus de vene si

**ventriculul** care pompează sângele în artere. **Septul** este peretele care desparte atât atriile cât și ventriculele și care împiedică trecerea sângelui dintr-un atriu/ventricul în celălalt. Etanșeitatea pompelor este determinată de musculatura cardiacă.

Miscarea valvulelor este reglată de diferența de presiune dintre atri, ventricule și vase sanguine, ele împiedicând sângele să curgă în direcție gresită. Musculatura cardiacă asigură atât variația volumului inimii și presiunii sângelui precum și energia necesară funcționării prin procesele biofizice și chimio-mecanice din miocard.

### **Fazele ciclului cardiac**

Activitatea de pompă a inimii se poate aprecia cu ajutorul debitului cardiac, care reprezintă volumul de sânge expulzat de fiecare ventricul într-un minut. El este egal cu volumul de sânge pompat de un ventricul la fiecare bataie (volum-bataie), înmulțit cu frecvența cardiacă. Volumul-bataie al fiecărui ventricul este, în medie, de 70 ml, iar frecvența cardiacă normală este de 70-75 batai/min.; astfel, debitul cardiac de repaus este de aproximativ 5 l/min. Inima trebuie să pună în mișcare în fiecare minut, în medie 4 l în repaus, iar în timpul exercițiilor fizice, până la 20 l. În somn, debitul cardiac scade, iar în stări febrile, sarcină și la altitudine, crește.

Fiecare bataie a inimii constă într-o anumită succesiune de evenimente, care reprezintă **ciclul cardiac**. Acesta cuprinde 3 faze:

- **sistola atrială** constă în contractia celor două atri, urmată de influxul sanguin în ventricule. Când atriile sunt complet golite, valvulele atrioventriculare se închid, împiedicând întoarcerea sângelui în atri.

- **sistola ventriculară** constă în contractia ventriculelor și eiecția din ventricule a sângelui, care intră astfel în sistemul circulator. Când ventriculele sunt complet golite, valvula pulmonară și cea aortică se închid.

- **diastola** constă în relaxarea atriilor și ventriculelor, urmată de reumplerea atriilor.

Închiderea valvulelor atrioventriculare și a celor aortice produce sunetele specifice batailor inimii și pot fi ascultate cu ajutorul stetoscopului (Fig. 23).

Fazele ciclului cardiac, din punct de vedere mecanic, cu referire la **ventriculul stâng** sunt: umplerea (diastola ventriculară), contractia atrială, contractia izovolumică sau izometrică, eiecția și relaxarea izovolumică (izometrică).

**Umplerea** corespunde diastolei ventriculare care durează 0,50s. Datorită relaxării miocardului, presiunea intracavitară scade rapid până la câțiva mmHg. În momentul în care devine mai mică decât presiunea atrială, se deschide valvula mitrală ducând la scurgerea sângelui din atriu. Relaxarea continuă a miocardului, permite scăderea în

continuare a presiunii, generând umplerea rapidă a ventriculului, urmat de un aflux mai lent, datorită scăderii diferenței de presiune.

**Contractia atrială** este faza în timpul căreia se umple complet ventriculul. În timpul acestor faze, valvula sigmoidă este închisă, iar presiunea aortică este mai mare decât cea ventriculară.

În timpul **contractiei izovolumice** (la volum constant), ambele valvule sunt închise, ventriculul contractându-se ca o cavitate închisă, asupra unui lichid incompresibil, fapt care duce la o creștere foarte rapidă a presiunii intracavitare. Deoarece musculatura se contractă, forma ventriculului se modifică, dar volumul sângelui conținut rămâne același. Presiunea sângelui crește rapid depășind-o pe cea din aorta, în acest moment deschizându-se valvula sigmoidă.

În timpul **ejecției**, datorită contractiei miocardului ventricular, sângele este expulzat în aorta, cu viteză mare, la început având loc o ejeție rapidă (aproximativ  $\frac{2}{3}$  din debitul sistolic este expulzat în prima jumătate a sistolei). Prin urmare, presiunea aortică și cea ventriculară devin foarte apropiate ca valoare, la o diferență de 2-3 mmHg. Musculatura se relaxează după jumătatea perioadei de ejeție și presiunea din ventricul scade, la început mai încet decât cea aortică, expulzarea sângelui continuând mai lent. Când presiunea ventriculară scade sub cea aortică, se închide valvula sigmoidă.

Urmează o perioadă scurtă în care cele două ventricule devin cavități închise (diastolă izovolumică sau **relaxare izovolumică**). În acest timp, presiunea intraventriculară continuă să scadă până la valori inferioare celei din atrii, permițând deschiderea valvelor atrio-ventriculare. În acest moment, începe umplerea cu sânge a ventriculelor. Această relaxare este foarte rapidă, așezarea fibrelor musculare în straturi cu orientare diferită și energia elastică înmagazinată în țesutul conjunctiv ce leagă straturile reprezentând factori deosebit de importanți.

### **Structura mușchiului cardiac**

Cele trei straturi din care este alcătuit mușchiul inimii au fiecare câte o altă orientare a fibrelor musculare (Fig. 24) și participă în mod diferit la etapele ciclului cardiac și anume:

- **stratul intern cuprinde fibre rasucite elicoidale;**
- **stratul median este alcătuit din fibre circulare care ajută la micșorarea volumului ventricular în sistolă; el este foarte bine dezvoltat în ventriculul stâng;**
- **stratul extern are de asemenea fibre rasucite elicoidale, dar în sens invers celor din stratul intern;** compunând forța generată de fibrele elicoidale din stratul intern ( $F_1$  din Fig. 24) cu forța generată de fibrele elicoidale din stratul extern ( $F_2$  din Fig. 24) se

obține o rezultantă (R) paralelă cu axul longitudinal al inimii, prin urmare sub efectul forțelor dezvoltate de fibrele spiralate baza inimii se

Deoarece prezintă avantaje energetice și de rezistență, structura elicoidală este întâlnită la multe forme vii.

### **Lucrul mecanic al inimii**

Dintre fenomenele fizice care se desfășoară în cursul activității inimii, o importanță deosebită o are efectuarea de lucru mecanic de către inimă prin expulzarea sângelui, la fiecare ciclu (aproximativ 1,6J). Lucrul mecanic reprezintă produsul scalar dintre forță și deplasare. Dacă nu există deplasare (de exemplu, variație nulă de volum în cazul funcționării unei pompe), nu se poate vorbi despre efectuare de lucru mecanic. În fazele ciclului cardiac în care variația de volum este nulă (contractia și relaxarea izovolumice sau izometrice) nu se efectuează lucru mecanic, spre deosebire de etapa de ejectie (Fig. 25).

Faza de umplere reprezintă un aport de lucru mecanic datorat presiunii mai mari a sângelui din atriu.

**Lucrul mecanic este cu atât mai mare cu cât numărul contracțiilor cardiace crește, ca în cazul efortului fizic.**

Conform legii de conservare a energiei, lucrul mecanic al inimii se va regăsi sub alte forme de energie în:

- energia potențială a sângelui (careia îi corespunde o presiune efectivă asupra peretilor vasului),
- în energia cinetică a sângelui care măsoară mișcarea sângelui,
- în încălzirea sângelui ca urmare a frecărilor dintre straturile de sânge.

**Lucrul mecanic generat de inimă în sistolă se acumulează parțial sub forma de energie potențială și este cedat apoi coloanei de sânge în timpul diastolei.** Deoarece arterele au pereți elastici, în condițiile regimului pulsatil în care lucrează inimă, acestea permit curgerea sângelui și în perioada în care inimă este în diastolă; astfel, debitul este cu mult mai mare decât debitul ce ar exista în vase cu pereți neelastici (vezi Mecanica Lichidelor-Curgerea prin pereți elastici, experimentul lui Marey).

### **Schema generală a patului vascular**

**În Fig. 26 este reprezentată schema generală a patului vascular. Dinspre aorta, unde presiunea este cea mai mare (presiunea medie este de 100 mmHg), sângele curge spre locul cu presiunea cea mai joasă, vena cava (presiunea medie este de 10**

mmHg). Se poate face o analogie cu sensul curentului electric de la un potential mai mare la un potential mai scazut, debitul sanguin reprezentând echivalentul intensitatii curentului electric. Drumul se ramifica, ramificatiile fiind legate în paralel. Presupunând ca rezistenta, în unitati arbitrare, a fiecărei cai este 0,1 ( $R_1 = R_2 = R_3 = 0,1$ ), se poate calcula rezistenta echivalenta a gruparii serie (Fig.27) comparativ cu a gruparii paralel (Fig. 28).

$$R_{serie - echivalent} = R_1 + R_2 + R_3 = 0,3$$

iar în cazul gruparii paralel:  $1/R_{serie - echivalent} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 = 3/0,1 \Rightarrow R_{paralel - echivalent} = 0,033$

Se observa ca rezistenta echivalenta la curgerea în paralel este mult mai mica decât în cazul serie.

Prin urmare, desi are loc o ramificare din ce în ce mai complexa a vaselor de sânge, cu cresterea sectiunii transversale a patului vascular (sectiunea totala a capilarelor fiind de cca. 750 de ori mai mare decât aria sectiunii transversale a aortei), rezistenta la înaintare a sângelui scade, viteza de curgere fiind invers proportionala cu suprafata sectiunii vasului.

Legea lui Laplace stabileste ce calibru va avea vasul de sânge, care se comporta ca o membrana elastica de forma cilindrica, atunci când sângele are o anumita presiune. Tensiunea  $T$  depinde de structura peretelui vasului sanguin.

Legea lui Laplace se scrie matematic astfel :  $Dp=T/R$ , unde  $p$  este presiunea arteriala,  $T$  este tensiunea exercitata de sânge asupra peretilor arteriali iar  $R$  este raza arterei. Se observa ca pentru o diferenta de presiune data  $Dp$ , tensiunea în vas  $T$  depinde de raza. Pentru aceeasi presiune de distensie rezistenta peretilor vasculari este invers proportionala cu raza vasului de sânge.

Legea lui Laplace are o importanta deosebita în biofizica aparatului circulator. Cu ajutorul ei se pot explica unele particularitati anatomo-functionale fiziologice si patologice ale inimii si ale vaselor de sânge si anume:

- **daca scade raza de curbura  $R$  a stratului median al muschiului inimii, având constanta tensiunea parietala  $T$ , conform legii Laplace, se constata ca presiunea la care are loc expulzarea sângelui creste ;**

- **în regiunea apicala peretele ventricular se subtiaza, raza de curbura a cordului fiind mai mica, la aceeasi presiune a sângelui, tensiunea din perete este mai mica;**

- în cazul hipertrofiei cardiace, creșterea razei de curbura duce la diminuarea presiunii sistolice, adică la o expulzare deficitară, pentru aceeași tensiune în fibrele musculare ;

- în cazul cardiomiopatiei dilatative, muschiul cardiac este slăbit, raza ventriculului crește. Cardiomiopatia dilatativă este o afecțiune severă în care muschiul cardiac este slăbit și nu mai are putere să pompeze sângele în întreg organismul. Inimă slăbită nu poate să pompeze mult sânge, astfel încât rămâne mai mult sânge la acest nivel după fiecare bătaie de inimă. Pe măsura ce cantități mai mari de sânge rămân în camerele inferioare din inimă (ventriculi), acestea se dilată. În timp, muschiul cardiac își pierde forma (se dilată) și devine tot mai slab. Majoritatea pacienților cu cardiomiopatie dilatativă dezvoltă în final insuficiența cardiacă. Insuficiența cardiacă nu semnifică oprirea inimii, ci mai degrabă este o afecțiune în care ventriculii sunt incapabili să pompeze suficient sânge pentru a întruni necesarul de oxigen și nutrienți al organismului.

- în cazul anevrismelor, deoarece crește raza vasului (Fig. 29), la aceeași presiune distală, vom avea o creștere a tensiunii perietale și, în consecință, o creștere a riscului de rupere a peretelui vascular.

## Structura peretilor vaselor de sânge

### *Structura arterelor și venelor*

*Tunica interna* – intimă – este formată dintr-un rând de celule endoteliale turtite și captusește interiorul peretelui, conferindu-i caracter neted; endoteliul prezintă o permeabilitate selectivă pentru diferite substanțe.

*Tunica medie* are structură diferită, în funcție de calibrul arterelor. Arterele mari, *artere de tip elastic*, au în structura peretilor lor fibre de elastină și pe măsura ce diametrul arterial se diminuează începe să predomină țesutul muscular neted, care atinge cea mai mare dezvoltare la nivelul arteriolelor. Arterele mijlocii și mici, *artere de tip muscular*, conțin numeroase fibre musculare netede, printre care sunt dispersate fibre de colagen și de elastină. Fibrele de elastină și cele de colagen sunt țesuturi de susținere; primele sunt foarte ușor extensibile, creând pasiv, adică fără consum de energie, o tensiune elastică în peretele vasului, conferindu-i acestuia o rezistență minimă la distensia produsă de presiunea sanguină, fibrele de colagen sunt mult mai rezistente la întinderi decât fibrele de elastină și conferă vasului sanguin rezistență la presiuni mari.



***Tunica externa*** este formata din tesut conjunctiv, cu fibre de collagen si elastina, si de asemenea fibre nervoase vegetative, cu rol vasomotor.

### ***Structura capilarelor***

Capilarele contin la exterior un strat format din tesut conjunctiv cu fibre de collagen si de reticulina, în care se gasesc si fibre nervoase vegetative, iar la interior un tesut monostrat endotelial.

Muschii netezi care intra în structura vaselor de sânge pot ramâne contractati pentru o perioada mai lunga de timp, activitatea lor fiind controlata de sistemul nervos autonom. Îndeplinesc multiple roluri, cum ar fi: dilatarea si contractarea vaselor sanguine, dar si deplasarea alimentelor ingerate de-a lungul tubului digestiv, contractia uterului etc. În arteriole se afla o cantitate mare de muschi netezi, controlul exercitat de acestia asupra calibrului vascular fiind cel mai reprezentativ la acest nivel.

Factorii care intervin în geneza rigiditatii intra în actiune la valori de tensiune diferite. Când tensiunea este scazuta, este solicitata elastina, la cresterea tensiunii va fi solicitat collagenul. Cu cât diametrul arterei este mai mare, deci artera este mai dilatata, cu atât ea va deveni mai rigida, deoarece cresterea diametrului duce la o transmisie progresiva a tensiunii de la elastina la collagen.

Elasticitatea arteriala joaca un rol deosebit de important în reologia sângelui, deoarece nu numai ca transforma regimul intermitent de propulsare a masei sanguine în regim continuu de curgere, dar mareste si debitul sângelui în vase (vezi experimentul lui Marey). Daca peretii arteriali ar fi rigizi, debitul sanguin ar fi mai mic, iar inima ar trebui sa efectueze în timpul sistolei un lucru mecanic mai mare.

Conform legii lui Laplace, în arteriole, deoarece raza acestora este mai mica decât raza arterei, la aceeasi presiune a sângelui, avem o tensiune parietala mult mai mica.

### ***Vâscozitatea sângelui***

La fluidele reale, în timpul curgerii apar forte de frecare interna între straturile moleculare care curg cu viteze diferite. Aceste forte, numite forte de **vâscozitate**, tind sa anuleze miscarea relativa a straturilor si ele sunt cu atât mai mari cu cât viteza relativa a straturilor este mai mare. În general, pentru un fluid aflat în curgere laminara, forta de vâscozitate este proportionala cu gradientul vitezei:

***Fora de vâscozitate = coeficientul de vâscozitate ' aria ' gradientul vitezei***

$$F_v = \eta \cdot S \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

$h$  = coeficientul de vâscozitate (numit si vâscozitate);

$S$  = aria suprafetei de frecare între straturi;

$\Delta v$  = viteza relativa de curgere a straturilor;

$\Delta x$  = distanta între straturi (masurata pe o directie perpendiculara pe directia de curgere);

gradientul vitezei =  $\Delta v / \Delta x$ .

Coeficientul de vâscozitate se masoara în Poiseuille: 1 Poiseuille (1 PI) = 1 Ns/m<sup>2</sup>.

Unitatea utilizata frecvent se numeste poise: 1 poise (1 P) = 10<sup>-1</sup> Ns/m<sup>2</sup>.

Vâscozitatea apei la temperatura camerei este 1 cP = 0,01 P, iar a sângelui (la temperatura corpului) este cuprinsa între 0,02 si 0,04 P. Vâscozitatea sângelui variaza cel mai mult cu temperatura si cu numarul de hematii pe unitatea de volum.

Fluidele reale care satisfac relatia de mai sus se numesc **fluide newtoniene**. Vâscozitatea acestor fluide ( $\eta$ ) nu depinde de viteza de curgere si nici de presiune ( $\eta$  = const.). Exista si **fluide reale newtoniene**, care nu satisfac relatia de proportionalitate între forta de vâscozitate si gradientul vitezei, deoarece vâscozitatea lor depinde de viteza de curgere sau de presiune.

Vâscozitatea sângelui depinde de concentratia hematiilor, care, prin forma lor discoidala, maresc rezistenta la curgere (frecarea interna) a sângelui. În anemie, concentratia hematiilor este redusa, ceea ce micsoreaza vâscozitatea sângelui, în timp ce o concentratie ridicata a hematiilor creste vâscozitatea. În plus, daca viteza de curgere a sângelui creste, hematiile tind sa se orienteze pe directia de curgere, astfel încât scade rezistenta la curgere. Vâscozitatea sângelui scade deci atunci când viteza de curgere creste. Aceasta proprietate defineste sângele **ca fluid newtonian pseudoplastic** si se datoreaza faptului ca sângele nu este un fluid omogen, ci o suspensie. În componenta sângelui intra plasma sanguina si elementele figurate, cum ar fi globulele rosii (eritrocite sau hematii), mai multe tipuri de globule albe (leucocite) si trombocite. În conditii normale, plasma sanguina este de 1,2 – 1,6 ori mai vâscoasa decât apa, iar sângele de 2 – 4 ori. Plasma este un fluid newtonian.

Globulele albe: diametru 10 mm, concentratie (4-11)·10<sup>3</sup>/mm<sup>3</sup>.

Trombocite: diametru 1,5–3 mm, concentratie ~(15-40)·10<sup>4</sup>/mm<sup>3</sup>.

Dintre elementele figurate, practic numai hematiile influenteaza vâscozitatea sângelui (fiind mult mai numeroase – cca. 96%). Vâscozitatea sângelui creste aproximativ exponential cu hematocritul (H). Valoarea optima a hematocritului este definita ca valoarea pentru care cantitatea de hemoglobina ce poate intra în capilare este maxima. Aceasta cantitate este proportionala cu raportul H/h. La om, H/h este maxim când H = 48% (valoarea optima a hematocritului).

Un alt lichid nenewtonian este **lichidul sinovial** din articulatiile oaselor. Introducerea unui fluid între doua corpuri solide aflate în contact micsoreaza mult forta de frecare dintre ele. Frecarea solid - solid este înlocuita cu frecarea interna din fluid. Fluidul devine **lubrifiant**, iar efectul de micsorare a frecarii se numeste **lubrifiere**. Vâscozitatea lichidului sinovial scade odata cu cresterea presiunii (lichid nenewtonian pseudoplastic), ceea ce înlesneste lubrifierea.

**Sângele reprezinta o suspensie de elemente celulare (50% din volumul sau) într-o solutie apoasa (plasma) de electroliti, neelectroliti si substante macromoleculare (dispersie coloidala), fiind asadar un sistem dispers complex. Din punct de vedere al vâscozitatii, sângele este un lichid nenewtonian, pseudoplastic. În cazul unei suspensii vâscozitatea sistemului depinde atât de mediul de dispersie (plasma în cazul sângelui), cât si de particulele aflate în suspensie, fiind functie de volumul total al acestor particule.**

**Valoarea vâscozitatii sângelui la temperatura de 37°C este de aproximativ 3 cP. Vâscozitatea relativa a sângelui în raport cu apa ( $n_{\text{apa}} = 0,70$  cP), va fi, în medie:**
$$n_{\text{relativ}} = n_{\text{sange}} / n_{\text{apa}} = 4$$

**Vâscozitatea sanguina relativa la subiectii sanatosi are valori cuprinse între 3,9 si 4,9, fiind puternic dependenta de vârsta (atinge maximul de 4,9 la vârste cuprinse între 35 – 40 de ani).**

**Datorita compozitiei neomogene a sângelui, vâscozitatea acestuia variaza cu valoarea hematocritului, cu viteza de curgere si cu raza vasului de sânge.**

**Hematocritul reprezinta procentul de elemente figurate, în special hematii, dintr-un anumit volum de sânge. Deoarece plasma este un lichid newtonian, elementele figurate sunt cele care confera sângelui caracterul nenewtonian. Prin urmare, vâscozitatea sângelui va fi mai mare acolo unde densitatea de elemente figurate este mai mare.**

**La omul sanatos, valoarea hematocritului este de 40 – 45%, variind în functie de vârsta si sex. Hematocritul si dozarea hemoglobinei, ajuta la punerea unui diagnostic mai precis de anemie (hematocrit scazut și hemoglobină scăzută).**

**Vâscozitatea sângelui variaza cu viteza de curgere, scăzând cu cresterea acesteia, datorita deformarii elastice a eritrocitelor. Scade, de asemenea, când diametrul vasului devine mai mic decât 1 mm (în capilare).**

**Vâscozitatea serului da indicatii referitoare la proportia si calitatea proteinelor cuprinse în el. În stare normala, la o temperatura de 37°C, vâscozitatea specifica a serului uman este constanta, cu fluctuatii mici în intervalul 1,64 – 1,69. În stari patologice, vâscozitatea serului variaza mult, putând lua valori cuprinse în intervalul 1,5 – 3. În timp ce prezenta substantelor cristaloide în ser (uree, NaCl) nu modifica sensibil vâscozitatea serului, cresterea procentului de proteine duce la marirea vâscozitatii acestuia.**

### **Fenomenul de acumulare axiala a eritrocitelor**

Atunci când viteza sângelui creste, hematiile tind sa se acumuleze spre centrul tubului, marind hematocritul în aceasta zona si micșorându-l la perete. Se formeaza un fel de manson de hematii în regiunea centrala, înconjurat de plasma, care are vâscozitate mica. În acelasi timp, ele se aliniaza paralel cu directia de curgere. La viteze mari de curgere se ajunge la saturatie: hematiile ating gradul maxim de ordonare, rezistenta la curgere devine minima, iar vâscozitatea nu mai depinde de viteza sângelui. Comparând profilul de curgere cu cel dat de legea lui Poiseuille se observa ca la margini acest profil este respectat în timp ce în centru hematiile au practic aceeasi viteza.

### **Viteza de curgere a sângelui**

Doar în vasele mici curgerea sângelui poate fi considerata laminara, în majoritatea vaselor mari curgerea sângelui se face intermediar între regimul laminar si cel turbulent. Prin vasele capilare, care au diametre mai mici decât cele ale hematiilor, se produce o deformare elastica a acestora, ele deplasându-se una câte una, cu viteza foarte mica, antrenate de plasma (Fig. 32).

În restul vaselor de sânge, curgerea este preponderent nelaminara, datorita vâscozitatii, neomogenitatii, expulzarii ciclice ale sângelui precum si a dimensiunilor variabile ale vaselor. Curgerea turbulenta a sângelui în vasele mari (mai accentuata în partea initiala a aortei si arterei pulmonare) este deosebit de importanta deoarece faciliteaza schimburile între fluid si peretii vasului si omogenizarea substantelor dizolvate. În vase de diferite calibre, viteza sângelui este variabila. În vasele mari viteza medie a sângelui are valoarea de aproximativ 35 cm/s, viteza care scade la trecerea în vasele mici pâna la 1 mm/s în capilare (Fig. 33). Datorita regimului pulsatoriu si deformabilitatii peretilor viteza instantanee variaza în timp.

Deoarece aria totala a capilarelor este de 750 ori mai mare decât aria sectiunii aortei, rezulta ca viteza medie de curgere a sângelui prin capilare este de 750 de ori mai mica decât viteza medie de curgere a sângelui prin aorta.

Pentru a aprecia **circulatia sângelui prin artere** se masoara **presiunea arteriala, debitul sanguin si rezistenta la curgere a sângelui** (rezistenta periferica).

**Presiunea sanguina arteriala (PA)** este presiunea exercitata de sânge asupra peretilor arterelor mari, cum ar fi artera brahiala. Este determinata de forta si cantitatea sângelui pompat de inima, precum si de marimea si elasticitatea arterelor.

Presiunea sanguina în celelalte vase de sânge este mai mica decât presiunea arteriala.

Presiunea arteriala maxima în timpul ciclului cardiac este **presiunea sistolica**, iar cea minima este **presiunea diastolica**, atinsa în faza de repaus a ciclului cardiac. **PA sistolica** (maxima) corespunde sistolei ventriculare. Aceasta depinde de forta de contractie si volumul bataie al vetriculului stâng, având o valoare normala de 100 – 140 mmHg. **PA diastolica** corespunde sfârșitului diastolei ventriculare, depinzând de rezistenta periferica opusa de sistemul arterial. Valoarea normala a PA diastolice este cuprinsa în intervalul 60 – 90 mmHg.

Elasticitatea este proprietatea arterelor mari de a se lasa destinse când creste presiunea sângelui si de a reveni la calibrul initial când presiunea a scazut la valori mai mici.

În timpul sistolei ventriculare când sângele este expulzat în circulatie intermitent, cu o presiune mare, în artere este pompat un volum de 75 ml de sânge peste cel continut în aceste vase. Datorita elasticitatii, unda de soc sistolica este amortizata, curgerea devenind continua în zonele distale. În aceasta faza a ciclului cardiac are loc înmagazinarea unei parti a energiei sistolice sub forma de energie elastica a peretilor arteriali, aceasta energie fiind retrocedata coloanei de sânge în timpul diastolei. Prin aceste variatii pasive ale calibrului vaselor mari, se produce transformarea ejectiei sacadate a sângelui din inima în curgere continua a acestuia prin artere. Astfel, peretele vascular se încarca în sistola (proportional cu complianta) si se descarca în diastola, întocmai ca un acumulator de energie. Între undele de debit si de presiune exista un defazaj.

Presiunea sângelui la nivelul arterei aorte are un nivel oscilant între 80-120 Torr (mmHg) sau o valoare medie de 100 Torr. Presiunea arterială, apoi venoasă scade progresiv până aproape de anulare în vena cava (Fig. 35).

Scaderea presiunilor nefiind liniară, înseamnă că rezistența la curgere nu este constantă, arteriolele opunând cea mai mare rezistență, la nivelul lor producându-se și cea mai mare cadere de presiune. Tot în arteriole se amortizează și variațiile ciclice datorate contractiilor cardiace.

În timpul ciclului cardiac porțiunea ascendentă a presiunii sângelui (Fig. 36) începe în momentul deschiderii valvei sigmoide aortice datorită patrunderii sângelui în artere. În acest moment peretii arterelor sunt destinși și înmagazinează energie potențială elastică.

### **Factori care influențează presiunea arterială:**

- **frecvența bătăilor:** cu cât este mai mare rata de pompare a inimii, cu atât crește mai mult presiunea arterială.

- **volumul sanguin total:** cu cât acesta este mai mare, cu atât trebuie să crească și rata de pompare, deci și presiunea arterială.

- **debitul sanguin cardiac** (sau produsul cardiac) reprezintă produsul dintre rata inimii și volumul de ejeție. Practic, debitul cardiac reflectă eficiența cu care inima controlează circulația sanguină în organism. Presiunea arterială crește cu debitul. Pentru un debit de 5 l/min. (în repaus) presiunea arterială este 125/80 mmHg. Pentru un debit de 15 l/min. (la efort fizic), presiunea este 180/125 mmHg.

- **rezistența la curgere** a vaselor de sânge este raportul dintre diferența de presiune de la capetele vasului ( $\Delta p$ ) și debitul sanguin  $Q$ :

În condiții normale, debitul sanguin  $Q$  este constant, deci presiunea arterială crește odată cu rezistența la curgere. Rezistența unui vas de sânge depinde de diametrul vasului și de netezimea peretilor vasului. Rezistența este mai mare dacă vasul este mai îngust sau dacă peretii vasului sunt mai puțin netezi. Depunerile de grăsimi pe peretii arteriali cresc presiunea sanguină. Substanțele vasodilatatoare (cum ar fi nitroglicerina) scad presiunea arterială, în timp ce substanțele vasoconstrictoare o măresc. Datorită presiunii diferite, sistemul arterial contribuie cu 93% din rezistența totală a patului vascular, în timp ce sistemul venos cu 7%.

- **elasticitatea peretilor arteriali:** presiunea arterială crește când rigiditatea peretilor arteriali crește. Majoritatea medicamentelor antihipertensive reduc rigiditatea arterială, acționând ca antagoniști (sau factori de blocaj) la nivelul canalelor de calciu din membrana plasmatică a celulelor musculare aflate în peretii arteriali, ceea ce

determina relaxarea fibrelor musculare din peretii vaselor sanguine. Este prevenita atât rigiditatea vaselor de sânge, cât și vasoconstrictia.

- **vâscozitatea sângelui**: dacă sângele este mai vâscos, presiunea arterială este mai mare.

Sângele este un lichid nenewtonian, pseudoplastic, neomogen, reprezentând un sistem dispers complex. El reprezintă o suspensie de elemente celulare (50% din volumul său) într-o soluție apoasă (plasma) de electroliti, neoelectroliti și substanțe macromoleculare.

Vâscozitatea sângelui la 37°C este aproximativ 3 cP, adică de 4 ori vâscozitatea apei ( $\eta_{\text{apa}} = 0,70 \text{ cP}$ ):  $\eta_{\text{sânge}} / \eta_{\text{apa}} = 4$ .

În general vâscozitatea sângelui depinde de: hematocrit, viteza de curgere, raza vasului și temperatura. Plasma este cu aproximație un lichid newtonian, deci caracterul sângelui de fluid nenewtonian este determinat de prezența elementelor figurate.

Vâscozitatea sângelui crește în intoxicațiile cu CO<sub>2</sub> din cauza creșterii volumului hematiilor. Din același motiv,

Rezistența la curgere a ) și deci și presiunea arterială cresc cu vâscozitatea. a sângelui (

La o aceeași diferență de presiune între capetele vasului, debitul sanguin într-un vas de sânge  $Q = \Delta p$  crește. De exemplu, în extremitățile corpului expuse la frig vâscozitatea sângelui crește mult datorită scăderii temperaturii, deci crește și debitul sanguin scade, determinând o hipoxie severă, urmată de necroza tesuturilor periferice (degeraturile).

### **Măsurarea presiunii arteriale**

Primul document care atestă măsurarea presiunii arteriale datează din secolul al XVIII-lea. În 1773, cercetătorul englez Stephen Hales a măsurat în mod direct presiunea sângelui unui cal prin inserarea unui tub cu un capăt deschis direct în vena jugulară a animalului. Sângele a urcat în tub până la înălțimea de 2,5 m adică până la înălțimea la care presiunea coloanei de sânge (greutatea coloanei raportată la suprafață) a devenit egală cu presiunea din sistemul circulator. Acest experiment stă la baza utilizării cateterului pentru măsurarea **directă** a presiunii arteriale. Cateterul este o sondă care se introduce direct în arteră, prevăzută cu un manometru miniaturizat care permite monitorizarea continuă a presiunii sângelui (metoda este folosită rar, mai ales în urgență).

În mod uzual, presiunea arterială se măsoară prin metode **indirecte** bazate pe principiul comprimării unei artere mari cu ajutorul unei manșon pneumatice în care se realizează o presiune măsurabilă, valorile presiunii intraarteriale apreciindu-se prin diverse metode, comparativ cu presiunea cunoscută din manșeta. Dintre metodele indirecte menționăm: metoda palpatorie, metoda auscultatorie, metoda oscilometrică.

**Metoda palpatorie** (Riva Rocci) măsoară numai presiunea sistolică, prin perceperea primei pulsații a arterei radiale (palparea pulsului) la decompresia lentă a manșonului aplicat în jurul brațului.

În **metoda auscultatorie** (Korotkow) în loc de palparea pulsului, se ascultă cu ajutorul unui stetoscop plasat în plica cotului zgomotele ce apar la nivelul arterei brahiale la decompresia lentă a manșonului, datorită circulației turbulente, urmându-se a determina atât presiunea sistolică, cât și cea diastolică. Se pompează aer în manșon până ce prin stetoscop nu se mai aude nici un zgomot (presiunea din manșon este mai mare cu 30-40 mm Hg peste cea la care dispare pulsul radial), după care aerul este decompresat lent. Când presiunea aerului devine egală cu presiunea sistolică, sângele reușește să se deplaseze prin artera brahială dincolo de zona comprimată de manșon, iar în stetoscop se aud primele zgomote. În acest moment se citește presiunea pe manometru, ea reprezentând valoarea presiunii sistolice. Zgomotele provin de la vârtejurile ce apar în coloana de sânge care curge cu viteză mare. Curgerea se face în regim turbulent deoarece se îngustează lumenul arterial. Pe măsura ce aerul din manșon este decompresat, zgomotele se aud tot mai tare deoarece amplitudinea mișcărilor peretilor arteriali crește și odată cu ea se intensifică vibrațiile sonore. În momentul în care presiunea aerului din manșon și presiunea diastolică sunt egale, artera nu se mai închide în diastolă, zgomotele scad brusc în intensitate și dispar. Presiunea citită în acest moment pe manometru este presiunea diastolică. Așadar, momentul în care se aude în stetoscop primul zgomot marchează **presiunea sistolică**; momentul în care zgomotele nu se mai aud marchează **presiunea diastolică**.

**Metoda oscilometrică** (Pachon) permite determinarea presiunii sistolice, diastolice și medii. Aceasta metodă urmărește amplitudinea oscilațiilor peretilor arterei brahiale în timpul decompresiei treptate a aerului din manșonul gonflabil. Presiunea sistolică se înregistrează la apariția oscilațiilor, presiunea diastolică la dispariția acestora, iar presiunea medie în momentul în care amplitudinea oscilațiilor este maximă.

### **Aspecte biofizice ale patologiei circulației sângelui**

Se referă la **modificări ale vâscozității** sanguine, ale **dimensiunilor inimii**, precum și la **modificări aparute în diametrele și elasticitatea vaselor de sânge**.

**Cresterea vâscozității sanguine** duce la o rezistență vasculară mărită. Apare suprasolicitarea cordului prin creșterea presiunilor arteriale în circulația sistemică



si în special pulmonara, acest lucru favorizând staza sanguina, aderenta trombocitara, ateroscleroza si accidentele vasculare.

Cresterea vâscozitatii sanguine se poate datora unui numar anormal de **leucocite** (de exemplu în leucemii) sau unei cantitati crescute de **proteine plasmatic** - fibrinogenul (în inflamatii) sau ca lanturile K (proteine ce intra în compozitia anticorpilor) secretate de o linie limfocitara anormala (boala numita macroglobulinemie în care vâscozitatea relativa a serului este  $>4$  ).Vâscozitatea sângelui creste în intoxicatiile cu bioxid de carbon.

**Cresterea hematocritului** se întâlnește rar, în **cazul deshidratarii** (prin transpiratie, prin febra, prin varsaturi) precum si în **poliglobulie** (boala care se caracterizeaza prin cresterea exagerata a numarului de globule rosii). Din cauza valorilor mari ale hematocritului, creste vâscozitatea sângelui prin stânjenirea miscarii libere a hematiilor care sunt deformatate mecanic si favorizarea aparitiei de aglomerari eritrocitare. Aceste cresteri ale hematocritului pot aparea ca un mecanism compensator în hipoxie (scaderea presiunii partiale a oxigenului în sânge) – de exemplu hipoxia datorata altitudinii sau hipoxia din unele boli ce afecteaza ventilatia pulmonara.

Conform legii lui Poiseuille, pentru a trece printr-un vas un anumit debit de sânge, trebuie sa se actioneze cu o presiune cu atât mai mare cu cât vâscozitatea lichidului este mai mare. Prin urmare, cresterea vâscozitatii sângelui cere o contractie mai mare din partea inimii pentru a asigura circulatia, ceea ce se traduce prin cresterea tensiunii arteriale.

**Scaderea vâscozitatii sanguine** este întâlnita în starile de **anemie**, în **pierderea de sânge** sau când se consuma multe lichide înainte de recoltarea sângelui, hiperglicemie.

**Modificarea dimensiunilor inimii** poate sa apara ca urmare a presiunii marite a sângelui care necesita din partea inimii efectuarea unui lucru mecanic mai mare. În aceste conditii, inima marindu-si dimensiunile (razele de curbura ale peretilor devenind mai mari), conform legii lui Laplace, pentru a realiza o aceeași presiune sistolica se produce o tensiune mai mare în pereti. Exemplu hipertrofia mușchiului cardiac, cardiomiopatia dilatativă.

Când **peretii arteriali devin rigidizeaza** aportul de lucru mecanic al arterei fata de cord dispare sau se micsoreaza foarte mult, inima fiind nevoita sa efectueze un lucru mecanic mai mare decât în mod obisnuit, ceea ce duce la obosirea acesteia. Mai mult, poate sa apara si riscul curgerii turbulente, urmat de cresterea rezistentei la înaintare a coloanei de sânge si la aparitia unor sufluri.

În **ateroscleroza** (Fig. 38) depozitele de colesterol de pe peretii vaselor de sânge, **micsoreaza diametrul** acestora, aria sectiunii transversale îngustându-se, creste viteza

fluidului prin acea secțiune. O creștere a vitezei de curgere a fluidului atrage după sine o creștere a presiunii dinamice, urmate de o scădere a presiunii statice, vasul putându-se bloca, la fel cum, de asemenea, este posibil ca un cheag de sânge să blocheze vasul îngustat.