



МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛЕВЕН
ФАКУЛТЕТ „ОБЩЕСТВЕНО ЗДРАВЕ“
ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ

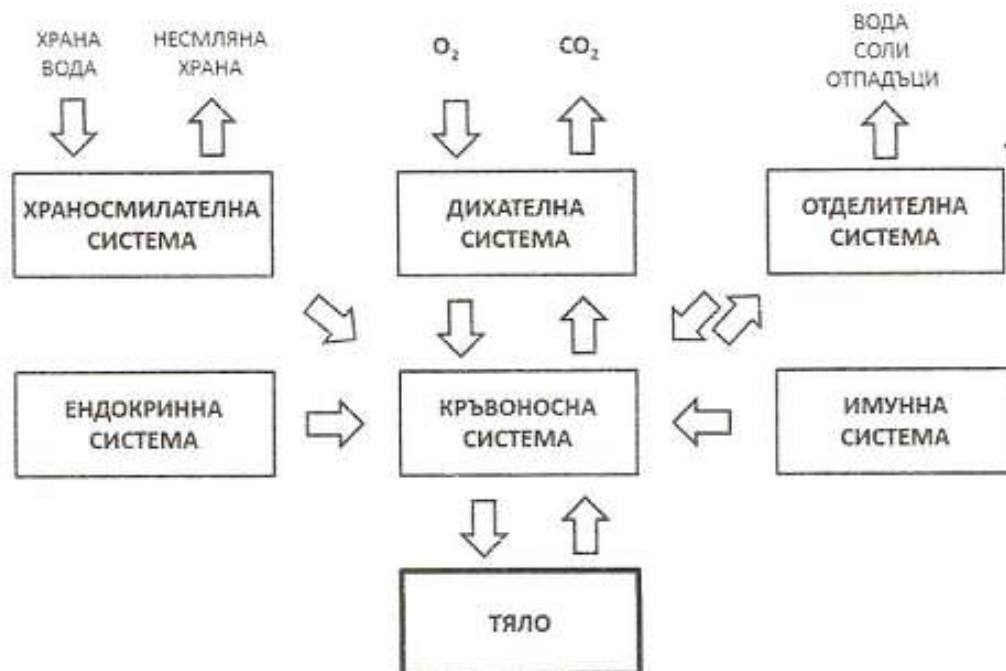
Лекция №13

БИОМЕХАНИКА

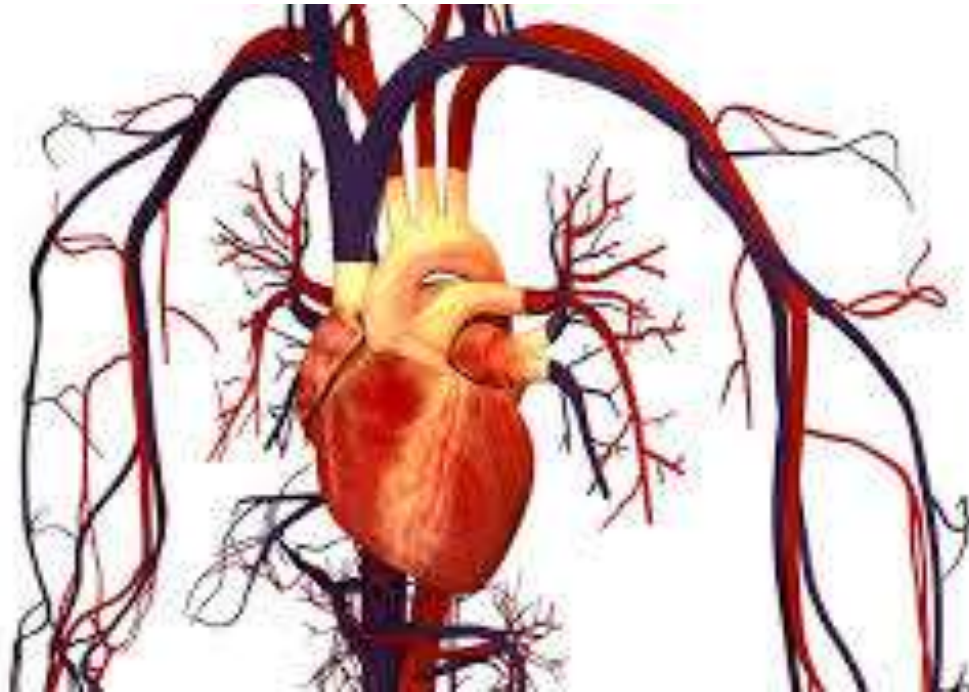
Биомеханика на сърдечно-съдовата система. Работа и мощност на сърцето. Кръвно налягане, фактори, от които зависи и измерване. Обемна и линейна скорост на кръвта. Еластичност на стените на кръвоносните съдове и скорост на кръвта. Характер на движението на кръвта (ламинарно или турболентно).

Проф. Константин Балашев, дхн

Хидродинамични характеристики на сърдечно-съдовата система.

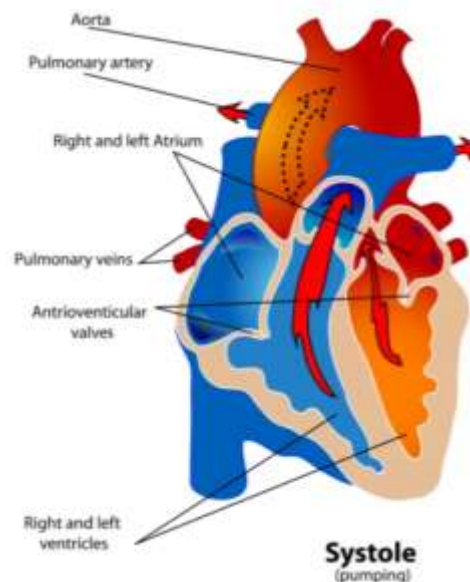
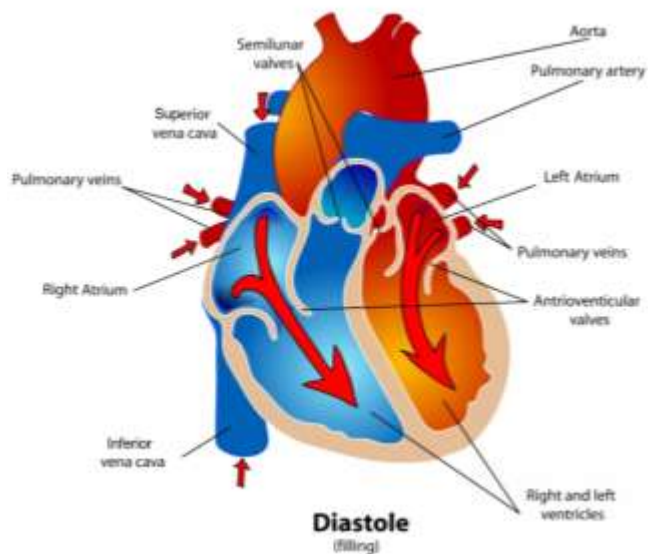


Кръвоносната (сърдечно-съдова) система има централна роля в човешкия организъм. Тя е транспортна система, която свързва и обединява всички останали физиологични системи. Кръвта транспортира кислород от белия дроб и хранителни вещества от храносмилателните органи до всички тъкани на тялото. От тъканите кръвта изнася крайните продукти от обмяната на веществата до белия дроб и отделителните органи. Освен това, кръвоносната система служи и за канал, по който се предават хуморалните въздействия. Кръвообращението играе важна роля в терморегулацията на организма. Кръвната циркулация се регулира по различни начини за да се поддържа адекватно кръвоснабдяване на всички органи, но главно - на мозъка и сърцето.



От механична гледна точка сърдечно-съдовата система представлява затворена система, съдържаща кръв, която се движи от помпа (сърцето) и тръбопроводи, по които циркулира (кръвоносните съдове).

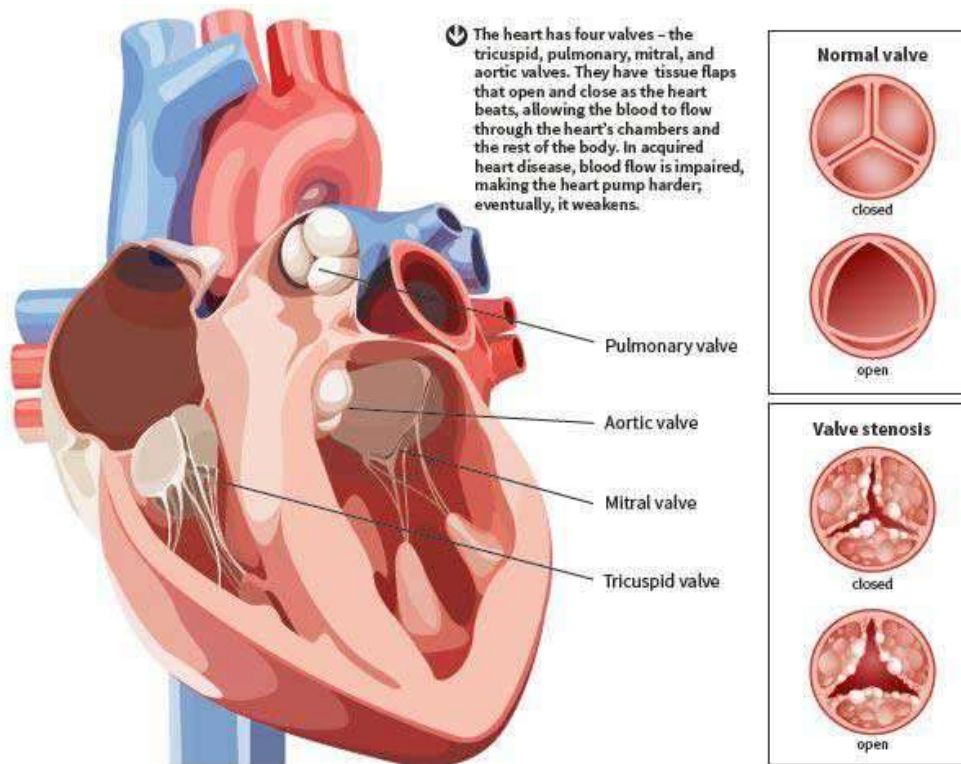
Кръвта представлява около 7 % от цялата маса на човешкото тяло. Типичен 70 килограмов възрастен човек има около 5 литра кръв. Кръвта е сложна двуфазна течност, съдържаща множество различни субстанции в разтворена или суспендирана форма. Тя не е просто течност или разтвор, а дисперсна система - суспензия. Състои се от кръвна плазма и суспендирани в нея кръвни клетки - еритроцити, левкоцити и тромбоцити. Движението на кръвта в по-голямата част от кръвоносната система се описва добре от закона на Хаген-Поазьой.



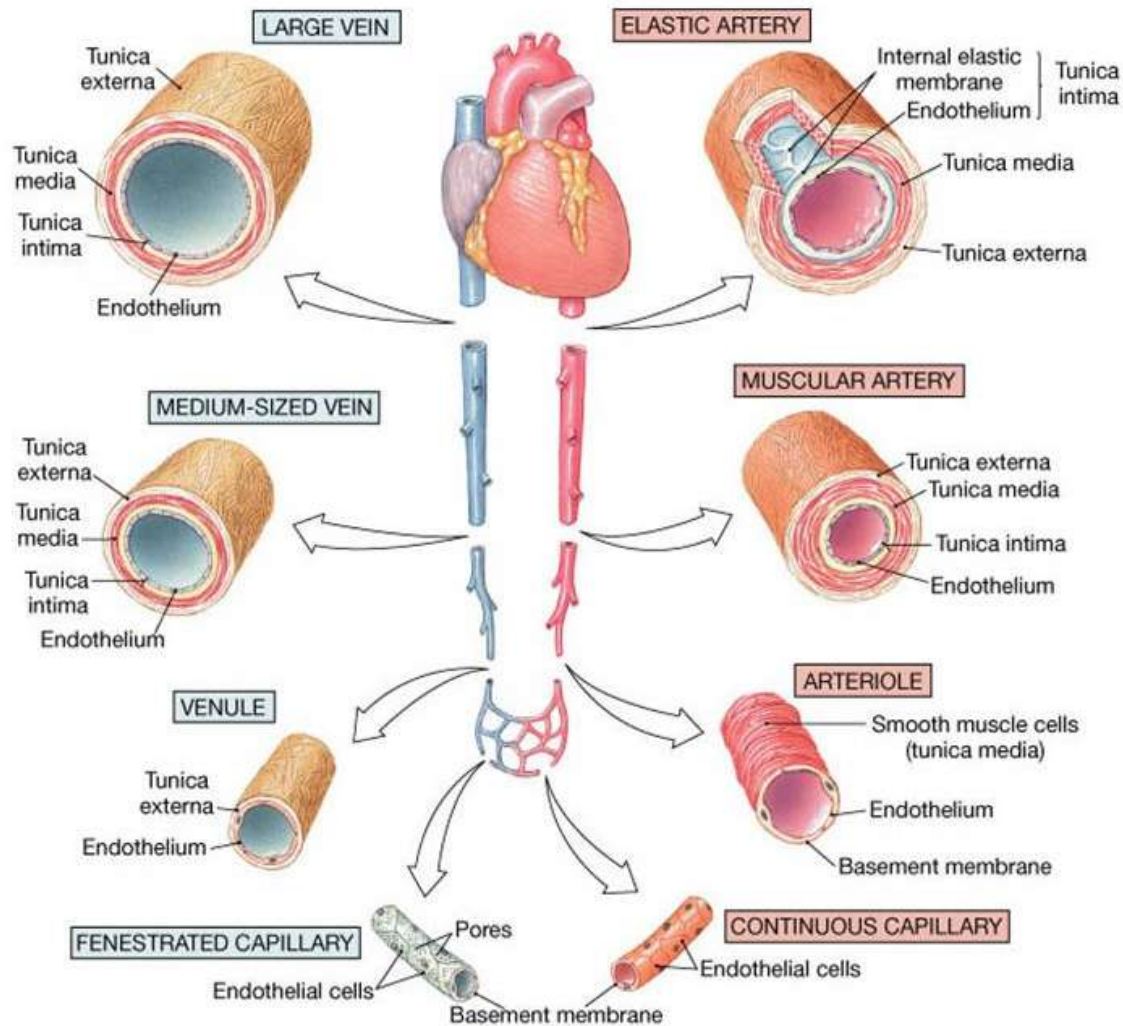
Сърцето представлява двойна сгъстително-разредителна помпа, състояща се от 2 предсърдия и 2 камери, действащи последователно. Всеки неин работен цикъл има 3 фази:

- *диастола* (свиване на предсърдията и отпускане на камерите) и
- *систола* (свиване на камерите и отпускане на предсърдията)
- *пауза* (отпускане на камерите и на предсърдията).

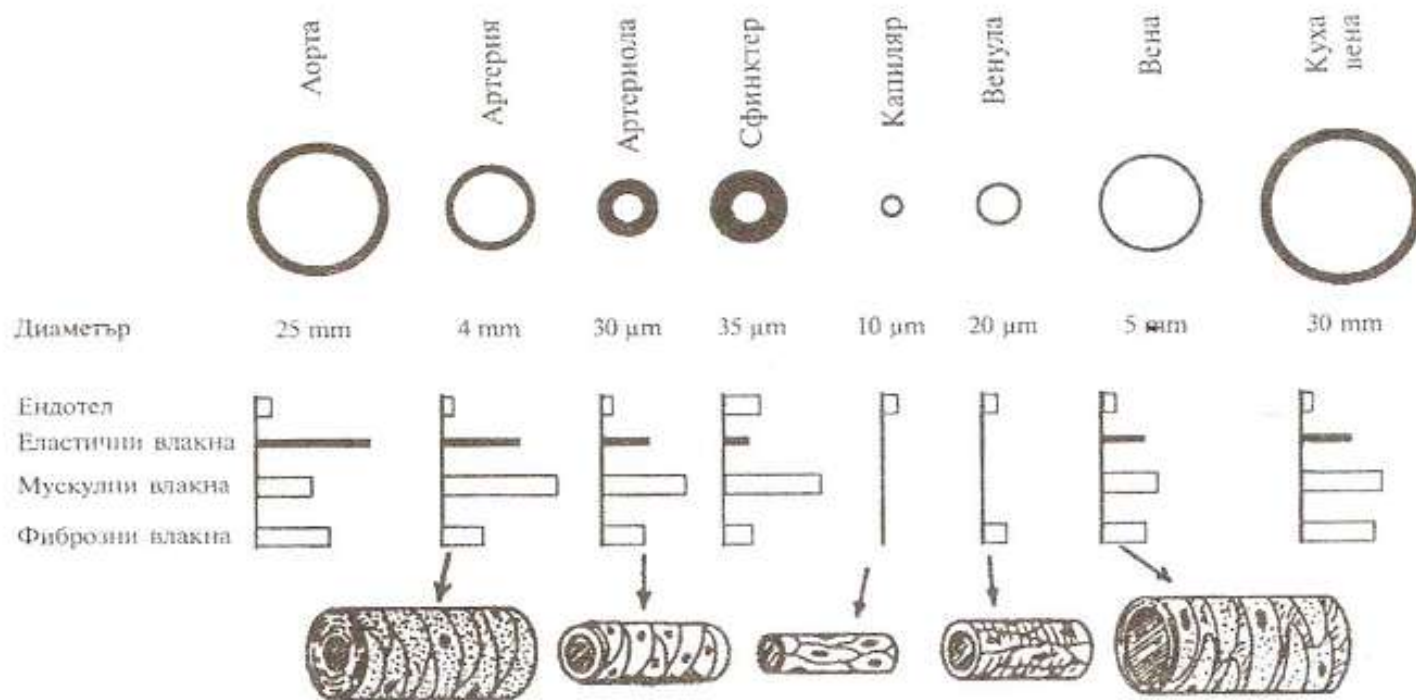
Продължителността на един цикъл е около 0,8 s. Това означава, че честотата на сърдечната дейност е около 70 цикъла в минута или около 1,1 Hz. Сърцето на нормален възрастен човек изпомпва около 80 милилитра при всяка контракция. При тези условия за един циркулационен цикъл е необходима около 1 минута.



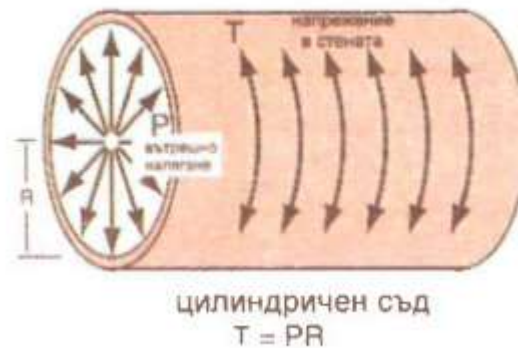
Сърцето има система от клапи, които (когато функционират нормално) придвижват кръвта само в една посока. Ако тези клапи се повредят (не се отварят или не се затварят напълно) изпомпването на кръвта не е ефективно. Дефектите на сърдечните клапи са два типа: клапите или не се отварят достатъчно (*стеноза*) или не се затварят добре (*недостатъчност*). При *стеноза* работата на сърцето е увеличена, защото за преодоляване на стесняването е необходимо допълнително количество енергия и работа на сърдечните мускули. При *недостатъчност* част от изпомпаната кръв се връща обратно в сърцето, така че обемът на изпомпената кръв се намалява. И при двата типа сърдечни дефекти изпомпването на кръв в системната циркулация е намалено. Неефективно действащите естествени сърдечни клапи могат да бъдат заменени оперативно.



Съдовата система се състои от артерии, артериоли, капиляри, венули и вени, съединени последователно. От своя страна артериите, вените и особено артериолите, капилярите и венулите представляват система от успоредно свързани съдове. Общата дължина на кръвоносните съдове е оценена на около 100 000 километра.



Различните видове **кръвоносни съдове** имат различни компоненти, структура и функции. Артериите са изградени от ендотелен слой, еластични и мускулни влакна, а отвън са покрити с рехавява съединително-тъканна обвивка. Те буферират (изглаждат) пулсациите на кръвното налягане. Артериолите имат подобен строеж, но с по-малко еластични влакна и повече мускулни. Благодарение на гладката мускулатура в стените си те могат да променят диаметъра си и чрез това участват активно в регулацията на кръвния поток. Капилярите са изградени само от ендотелни клетки. В тях се осъществява двупосочната обмяна на вещества между кръвта и околните тъкани. Във венулите освен ендотелни клетки има и осъдени съединително-тъканни елементи. Вените имат три слоя както при артериите, но при тях средният слой е по-беден на еластични влакна. Те могат да променят относително лесно своя диаметър и да предизвикват промени в обемното разпределение на кръвта в съдовата система.

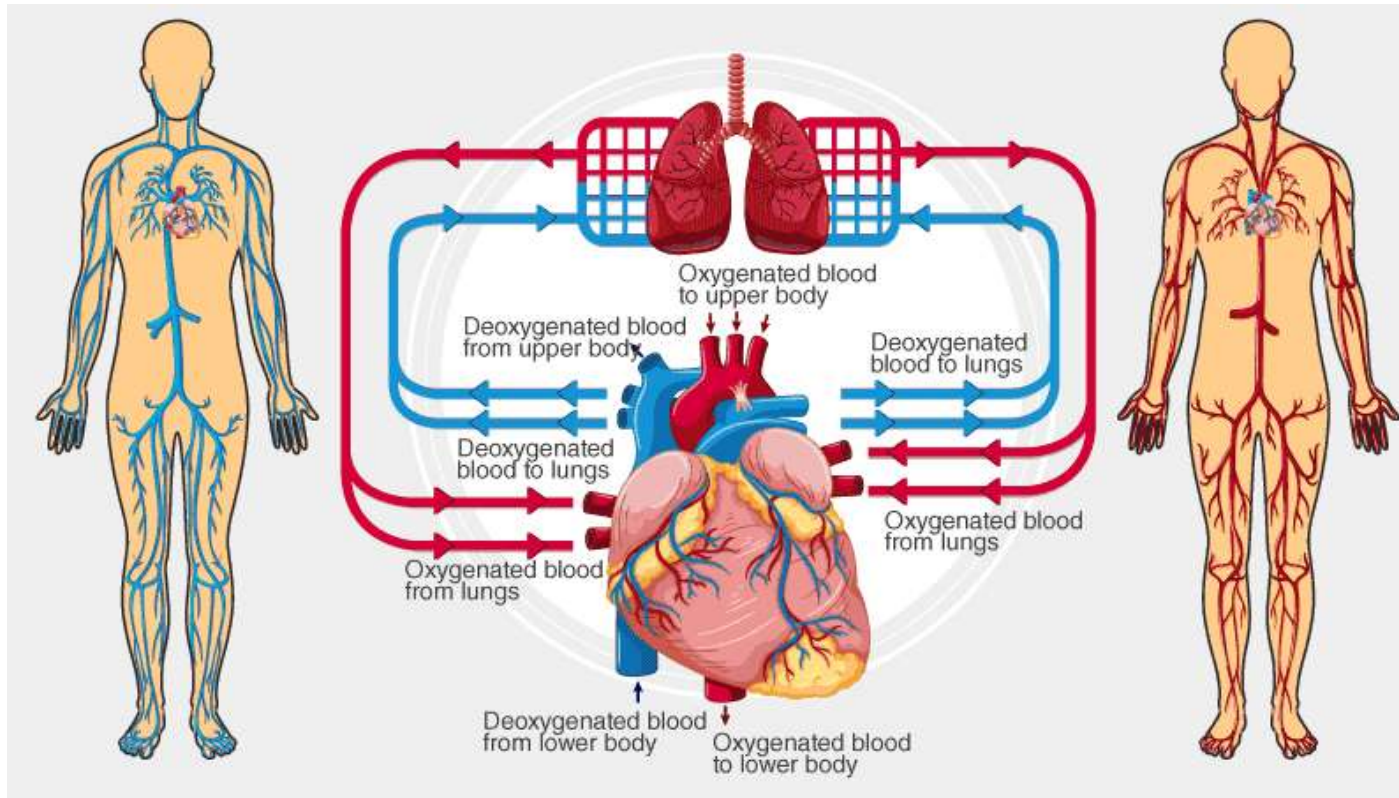


В съответствие с принципа на Паскал налягането вътре в затворения кръвоносен съд навсякъде и във всички посоки е едно и също. Оказва се обаче, че напрежението в различни участъци от стените на този съд, предизвикано от това еднакво налягане, може силно да се различава. Тези разлики се обясняват със закона на Лаплас. Налягането на флуида вътре в цилиндричен съд предизвиква напрежение, което разтяга стената на съда. Съгласно закона на Лаплас големината на това разтягащо напрежение (T) е пропорционална на налягането (p) и радиуса на съда (R): $T = p.R$. Това води до едно важно за стените на кръвоносните съдове заключение - **стените на по-големите кръвоносни съдове са подложени на по-голямо разтягащо ги напрежение, отколкото стените на по-малките.**

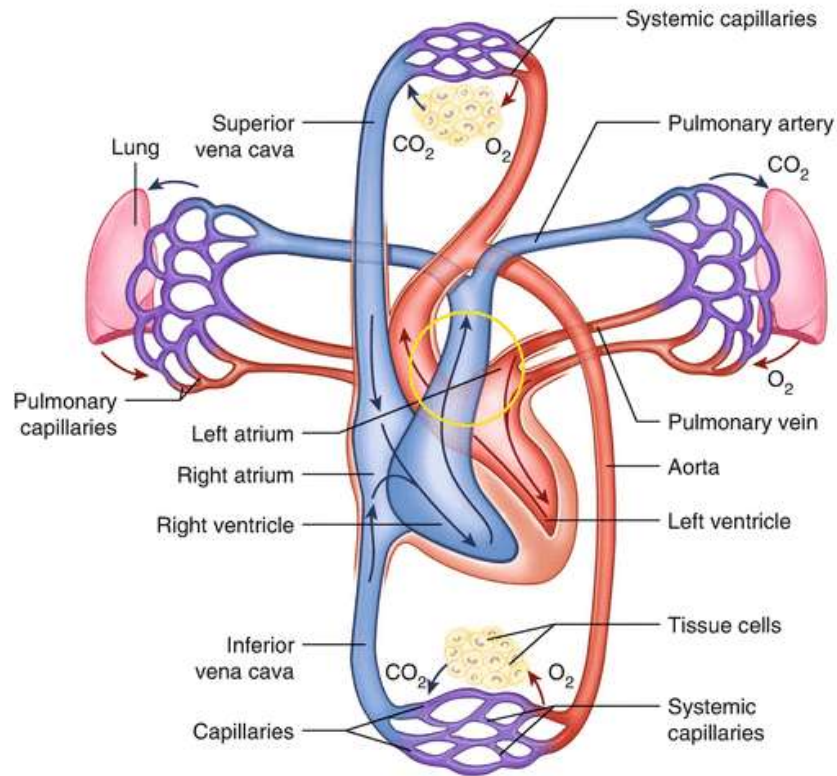
В таблицата са показани типични налягания и напрежения в различни кръвоносни съдове. Например, напрежението в стената на аортата е около 156 N/m, докато в капилярната стена е само 0,024 N/m. За сравнение - тоалетната хартия издържа разтягащо напрежение около 50 N/m преди да се откъсне.

кръвоносен съд	радиус R [cm]	средно налягане p [Torr]	напрежение T [N/m]
Аорта	1,2	100	156,0
Артерия	0,5	90	60,0
Капиляр	0,0006	30	0,024
Вена	0,02	15	10,0
Куха вена	1,5	10	20,0

Характер на движение на кръвта в кръвоносната система, налягане и скорост на кръвта.

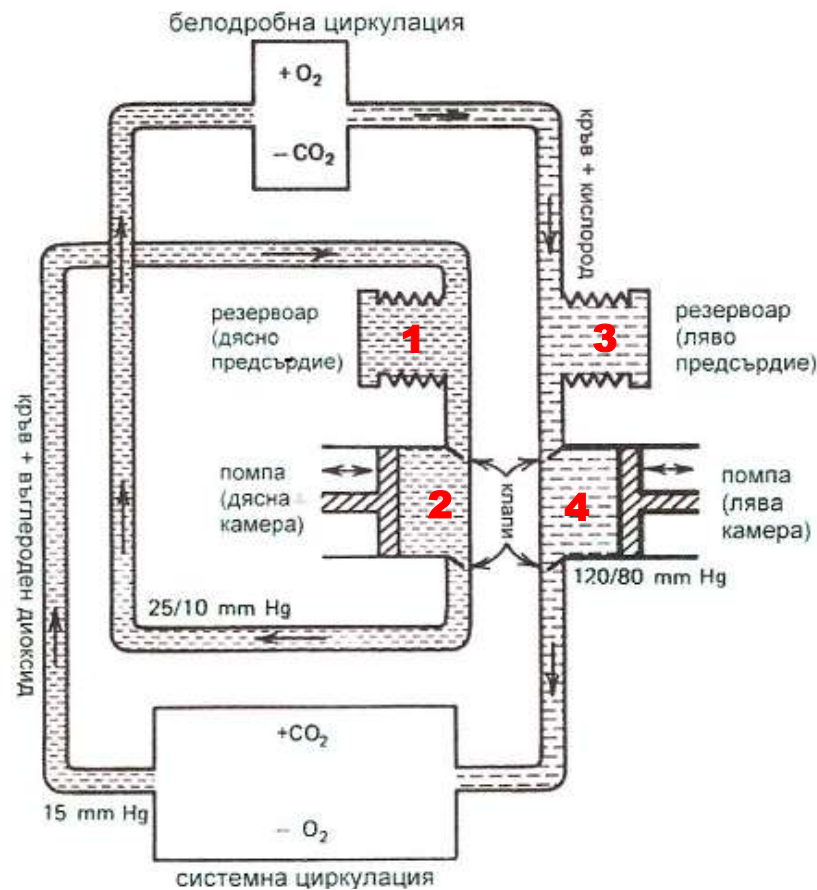


Кръвоносната система се състои от два последователно свързани кръга – малък и голям, които се “обслужват” от двете половини на сърцето. Кръвта циркулира от сърцето последователно през т.нар. *малък кръг на кръвообращението* (през белите дробове) и след това - през останалата част от тялото, наричана *голям кръг на кръвообращението* или *системна циркулация*. Начално звено на съдовата система е аортата в големия кръг на кръвообращение и белодробната артерия в малкия кръг; крайно звено са широките вени.

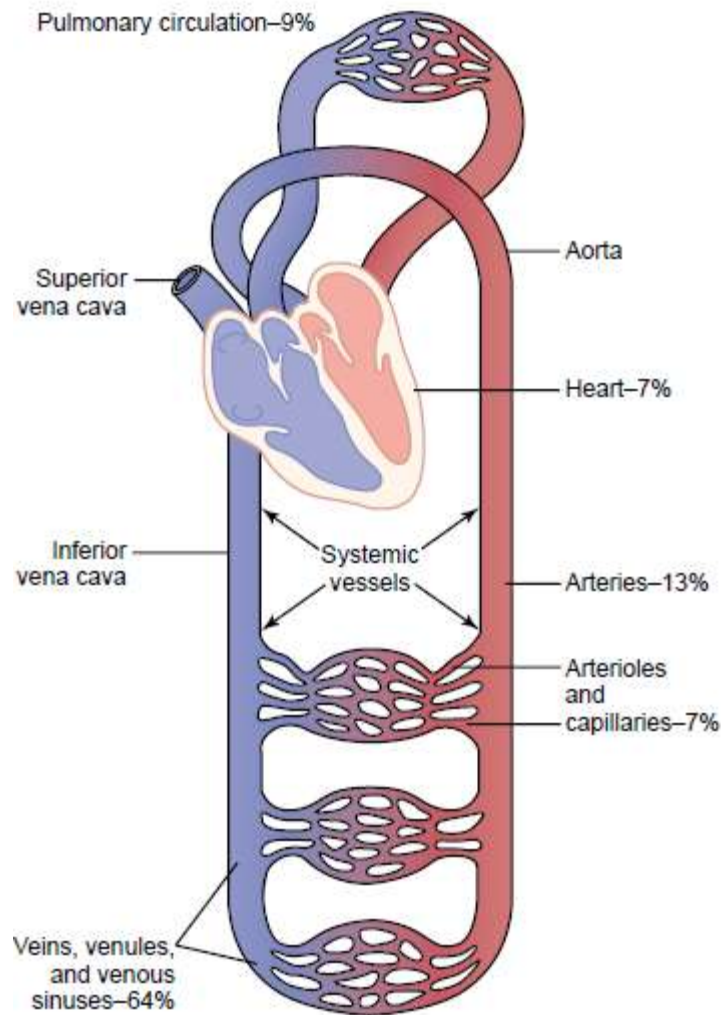


От лявата сърдечна камера кръвта се изпомпва през **аортата** в големия кръг на кръвообращението с налягане около 100 - 120 Torr. Там тя преминава през система от **артерии**, които постепенно се разклоняват на по-малки **артериоли**, достигайки накрая до силно разклонена мрежа от финни малки кръвоносни съдове - **капилярите**. Общата площ на капилярните стени в тялото на възрастен човек е над 6 000 м². През капилярната мрежа кръвта преминава за 1-2 секунди. През това време тя успява да снабди клетките с кислород и хранителни вещества и да приеме от тях въглероден диоксид и други катаболитни продукти.

След капилярната мрежа кръвта се събира в малки вени (**венули**), които постепенно се обединяват в по големи и още по-големи вени преди да влезне в дясната половина на сърцето през две главни **вени** – *superior vena cava* и *inferior vena cava*.



Върналата се в сърцето кръв за кратко време престоява в дясното предсърдие и чрез слаба контракция на сърдечните мускули (осигуряваща налягане 5-6 Torr) кръвта влиза в дясната камера. При съкращаване на мускулите на дясната камера кръвта се изпомпва при налягане около 25 Torr през *белодробните артерии* към *капилярната система* в белите дробове. Там тя се обогатява на O₂, а известна част от съдържащия се в нея CO₂ дифундира във въздуха, който се издишва от белите дробове. Прясно оксигенираната кръв след това преминава през главните *вени* от белите дробове в лявото предсърдие на сърцето. Чрез слаба предсърдна контракция (с налягане 7-8 Torr) кръвта преминава в лявата камера. С последваща контракция на лявата камера кръвта започва следващия циркуляционен цикъл.



Кръвният обем не е еднакво разпределен между малкия и големия кръг на кръвообращението. Във всеки момент около 80 % от кръвта се намира в големия кръг на кръвообращението, а около 20 % - в малкия. В големия кръг около 15 % от кръвта е в артериите, 10 % - в капилярите и 75 % - във вените. В малкия кръг около 46 % от кръвта се намира в белодробните артерии, около 7 % - в белодробните капиляри, а останалите около 47 % - в белодробните вени.

Физични основи на клиничния метод за измерване на кръвното налягане.

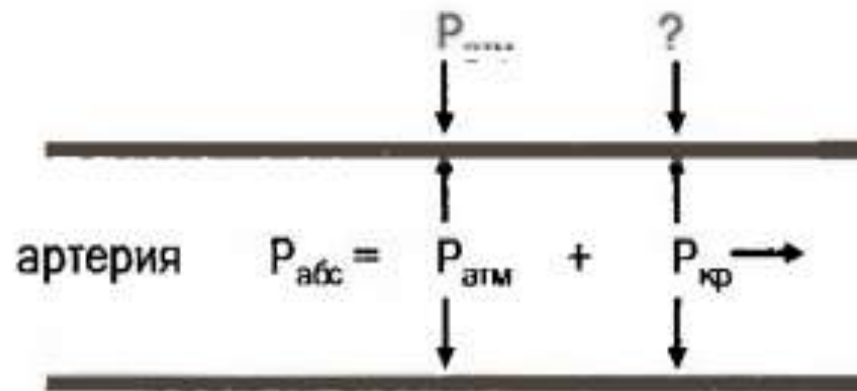
Кръвта се движи по кръвоносните съдове под действие на налягането, създавано от сърцето. В различните фази на сърдечния цикъл това налягане има различна стойност - то е пулсиращо. Максимална стойност се достига при систола на сърцето (систолично налягане), а минимална - при диастола (диастолично налягане). Пулсациите на налягането се поемат от еластичните стени на кръвоносните съдове и постепенно, с отдалечаването от сърцето, почти напълно изчезват.



ИЗМЕРВАНЕ НА КРЪВНОТО НАЛЯГАНЕ

Едно от най-честите клинични измервания е измерването на артериалното кръвно налягане. Налягането на кръвта в сърдечно-съдовата система е важен диагностичен показател.

Абсолютната стойност на артериалното кръвно налягане може да бъде измерена посредством манометър, свързан непосредствено с артерията, например посредством игла или катетър. Този начин обаче е увреждащ и сравнително сложен. Поради това се прилага само в специални случаи. Макар да е по-точен директният метод на измерване не се прилага за рутинни цели, тъй като достатъчно точни измервания могат да бъдат направени и по индиректен начин. В медицинската практика широко се използва един *косвен* метод – **метода на Рива-Рочи**. Въпреки, че не е достатъчно прецизен, той има предимствата, че е неинвазивен и много прост за изпълнение, поради което е намерил широко приложение.

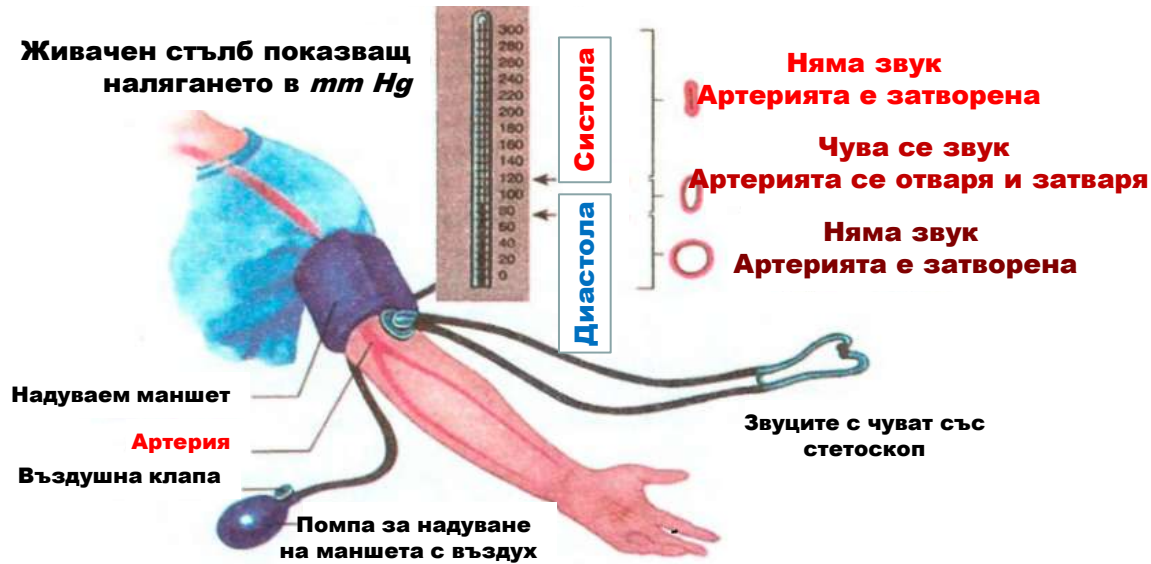


Измерваното с този метод артериално кръвно налягане ($P_{\text{кр}}$) не е абсолютното налягане на кръвта ($P_{\text{абс}}$), а разликата между него и атмосферното налягане ($P_{\text{атм}}$): $P_{\text{кр}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}}$. Това кръвно налягане всъщност е онази част от цялото абсолютно налягане, която движи кръвта в кръвоносната система. Останалата част (която е равна на атмосферното налягане) само противодейства на атмосферното налягане отвън, защото в противен случай последното би притискало така съдовете, че движението на кръвта през тях би било невъзможно.



Измерването се осъществява по следния начин. Посредством напompване на въздух в гумената маншета, обхващаща отвън ръката между рамото и лакътя, върху вътрешните кръвоносни съдове (*arteria brachialis*) към постоянно действащото отвън атмосферно налягане $P_{\text{атм}}$ се прилага и допълнително налягане P . Сумата от тези две налягания действа отвън навътре като външно налягане срещу вътрешното налягане на кръвта в кръвоносната система, което е насочено отвътре навън. Когато чрез промяна на допълнителното налягане P общото външно налягане ($P_{\text{атм}} + P$) се изравни с общото вътрешно ($P_{\text{атм}} + P_{\text{кр}}$), тогава допълнителното налягане P ще е равно на кръвното налягане $P_{\text{кр}}$, тъй като наляганията и отвътре и отвън имат една еднаква компонента - атмосферното налягане $P_{\text{атм}}$.

Свигмоманометър



Тъй като кръвното налягане $P_{кр}$ е пулсиращо и в различните фази на сърдечния цикъл има различни стойности, то винаги се измерват две стойности - максималната, достигана при систола (систолично налягане - $P_{кр}^{сист}$), и минималната - при диастола (диастолично налягане - $P_{кр}^{диаст}$).

Маншетата се надува до налягане P , достатъчно да спре потока кръв през брахиалната артерия и след това въздухът постепенно се изпуска. Първоначално допълнителното налягане е високо и притиска артерията така, че през нея не протича кръв. След това с изпускането на въздуха то постепенно започва да намалява. Стойността му непрекъснато се следи с помощта на манометъра. Когато общото приложено външно налягане ($P_{атм} + P$) стане равно на систоличното ($P_{атм} + P_{кр}^{сист}$), кръвта започва да си пробива път през притиснатата артерия и поради високата си скорост се движи турбулентно. Характерните звуци, съпровождащи този процес и синхронни със сърдечните систоли, могат да се чуят със стетоскопа. Стойността на допълнителното налягане P в маншетата, съответстваща на тяхната поява, се регистрира като систолично налягане $P_{кр}^{сист}$.

Продължавайки намаляването на допълнителното налягане в маншетата се достига до ламинарност на потока кръв в артерията, при което тези звуци престават да се чуват. Стойността на допълнителното налягане P в маншетата, съответстваща на тяхното изчезване, се регистрира като диасистолично налягане $P_{кр}^{диаст}$.

$P > P_{кр}^{сист}$	$P = P_{кр}^{сист}$	$P_{кр}^{сист} > P > P_{кр}^{диаст}$	$P = P_{кр}^{диаст}$	$P < P_{кр}^{диаст}$
	тесен лумен; висока скорост на кръвта; турбулентен поток	широк лумен; по-ниска скорост на кръвта; турбулентен поток	преход от турбулентен към ламинарен поток	
няма звук		чува се специфичен звук		няма звук