

Bez mašine za vantelesni krvotok, moderna kardiohirurgija ne bi postojala. Pogledajte koje su osnove ove vrlo napredne tehnologije koja je svoju primenu našla ne samo u kardiohirurgiji, već i nefrologiji i hematologiji. Šta čini jedan krug vantelesnog krvotoka, kako se bolesnik održava živim iako srce miruje.

Tokom operacije na otvorenom srcu, hirurška intervencija se obično izvodi na srcu koje stoji, odnosno koje ne kuca, i stoga zahteva uspostavljanje **vantelesnog krvotoka (ekstrakorporalne cirkulacije - ECC)**. U situaciji kada zaustavimo srce, cirkulacija krvi prestaje i vitalni organi ostaju bez kiseonika. Kako bismo omogućili da mozak i ostali organi prežive period kada je srce zaustavljeno, neophodno je uspostaviti neki drugi vid cirkulacije nezavisno od srčane pumpe. Ovo se postiže vantelesnim krvotokom (ECC-om). Tokom ECC, mašina za srce-pluća privremeno zamenjuje funkciju srca i pluća. Ova tehnika se zbog toga naziva i **kardiopulmonarni bajpas (cardiopulmonary bypass – CPB)**. Tokom operacije na zatvorenom srcu, rez se izvodi bez upotrebe mašine srce-pluća. Postoji mogućnost, i brojni centri favorizuju, [hiruršku revaskularizaciju miokarda](#) bez upotrebe ECC odnosno na kucajućem srcu (off pump coronary artery bypass – OPCAB).



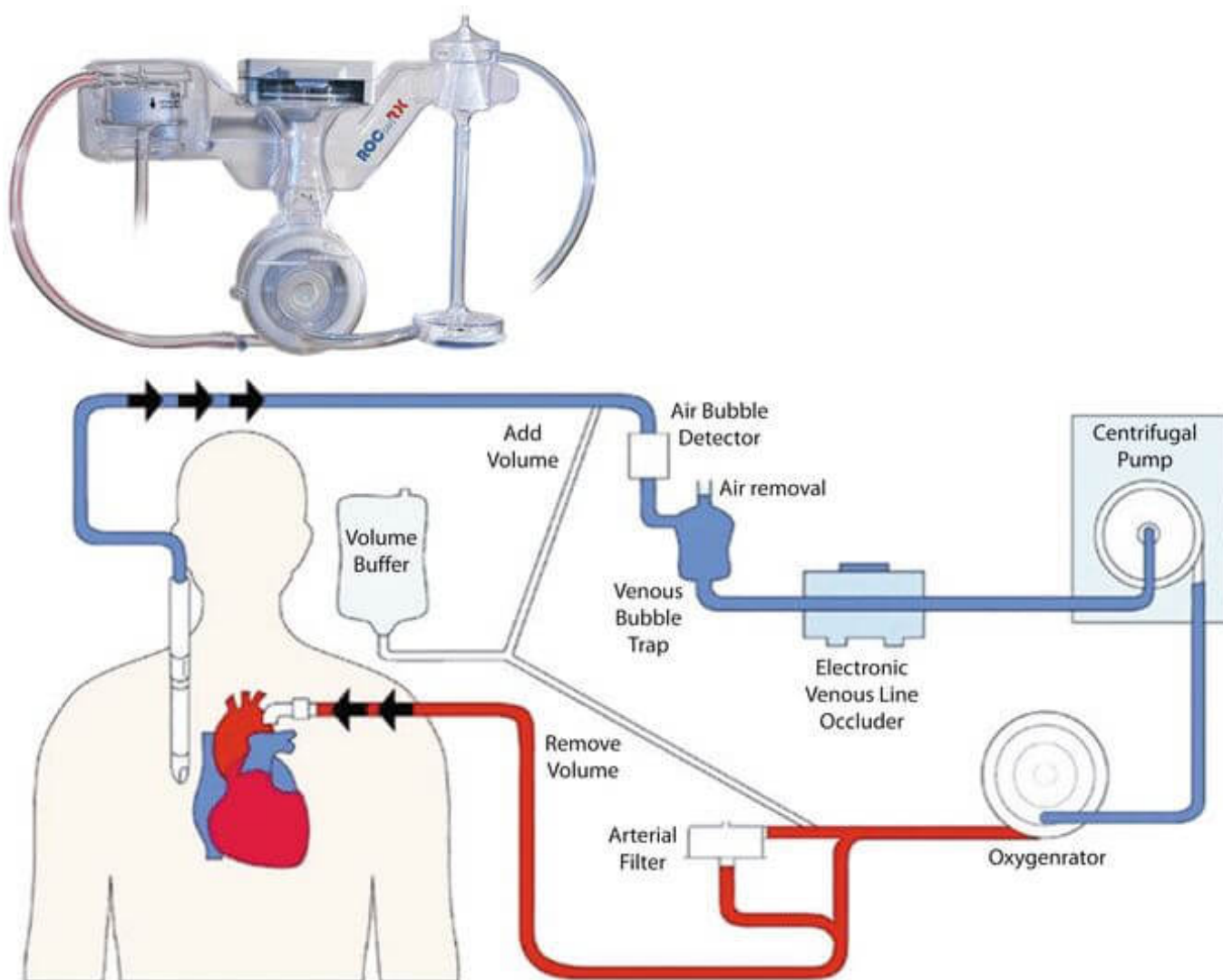
Vantelesna cirkulacija u širem smislu podrazumeva svaki oblik cirkulacije krvi van organizma. U tom smislu, vantelesnim krvotokom se smatra:

- Aparat za hemodijalizu
- [ECMO aparat](#)
- Mašina srce-pluća koja se koristi prilikom kardiohirurških operacija

Upravo je mašina srce-pluća I predmet interesovanja i biće detaljno opisana u ovom tekstu.

Vantelesni krug

Tokom vantelesne cirkulacije (ECC) krv se iz desne strane srca odvodi kroz a vensku kanilu (prilagođeno crevo) do venskog rezervoara. Nakon toga, krv se kondicionira u veštačkim plućima - oksigenatoru - gde se dodaje kiseonik i uklanja ugljendioksid. Konačno se krv pumpa nazad u sistemske cirkulaciju putem arterijske kanile koja je, najčešće postavljena u ushodnoj aorti. Oksigenator ima ugrađeni sistem za razmenu toplote (izmenjivač toplote), kojim se postiže neophodna temperatura krvi kako bi se organizam zagrejao ili ohladio.



Venska drenaža

Venski kateter odnosno kanila može biti jednostepena ili takozvana dvostepena kanila (*single or dual stage cannula*). Dvostepena kanila ima širi deo sa rupama sa strane, a koji je postavljen u desnoj pretkomori i manji vrh takođe sa bočnim rupama koji se postavlja i leži u donjoj šupljaj veni. U slučaju jednostepene kanile, jedna kanila se plasira u gornju, a drugi u donju šiplju venu, a venska krv se odvodi (drenira) pomoću gravitacije od pacijenta do aparata za srce-

pluća.

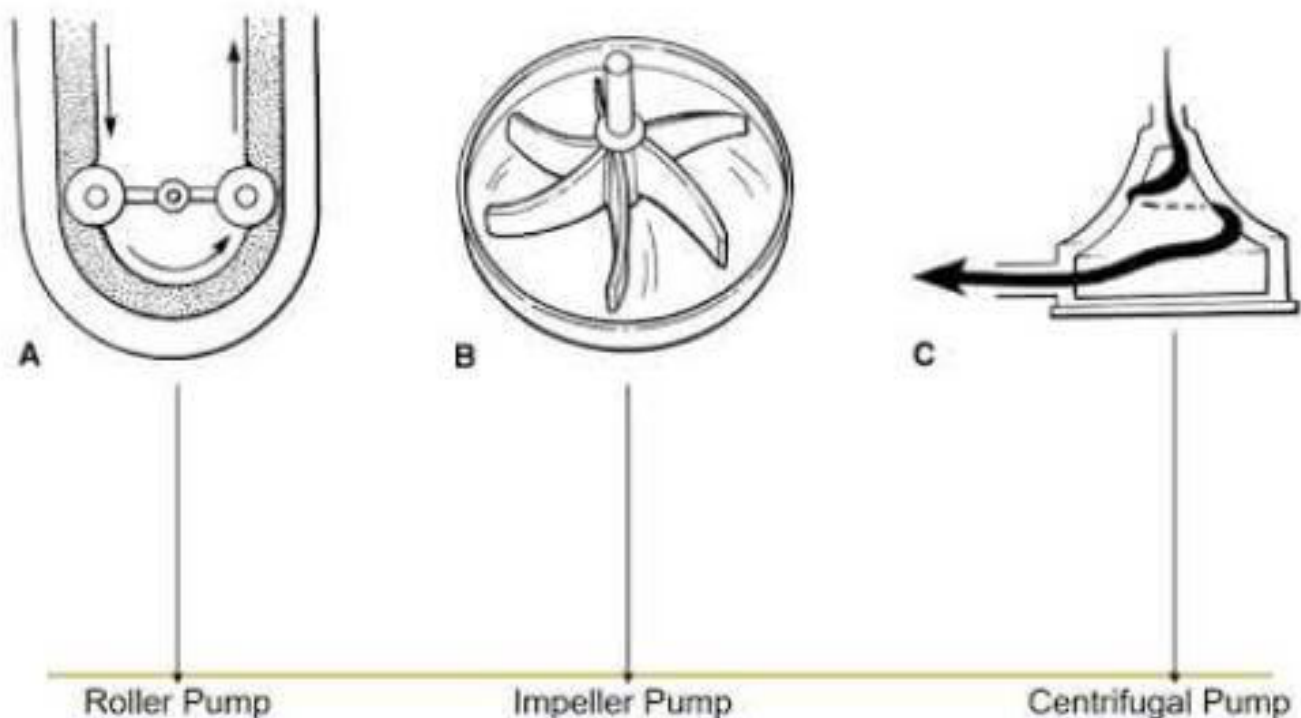
Tokom totalnog kardiopulmonarnog bajpasa, venska krv se iz dve pojedinačne kanile koje su plasirane u gornju i donju šuplju venu, sabira u zajedničko crevo putem kog se krv drenira u mašinu za vantelesni krvotok. Ova konfiguracija je neophodna kada je potrebno otvaranje desne pretkomore. Tokom parcijalnog kardiopulmonarnog bajpasa, manja količina krvi nastavlja da teče kroz plućnu cirkulaciju.

Venski rezervoar

Venska krv se dovodi u venski rezervoar ECC mašine. Ovaj rezervoar funkcioniše kao velika komora ili bafer za promene i disbalans koji se može pojaviti između venske drenaže i arterijskog protoka nazad do pacijenta. Rezervoar takođe funkcioniše kao skladište viška krvi, koja se kasnije može pumpati nazad u pacijenta. Ima ugrađene filtere koji, takođe, funkcionišu kao zamka za mehuriće vazduha što je od velikog značaja za sprečavanje embolizacije. Konačno, venski rezervoar ima veoma važnu sigurnosnu funkciju kojom se omogućava perfuzeru (osoba koja upravlja radom ECC mašine) potrebno reakcinono vreme ako se venska drenaža iznenada značajno smanji ili potpuno prestane.

Sistemska pumpa

Oksigenisana krv se pumpa nazad u sistemska cirkulaciju pacijenta putem aortne kanile koja je plasirana u ushodnu aortu i to pumpom koja je tipično postavljena nakon okseginatora. Pumpa generiše stalan (nepulsatilan) protok, a protok se prilagođava prema venskoj drenaži i izračunatoj vrednosti minutnog volumena za konkretnog pacijenta. Najčešće korišćeni tipovi pumpi su roler pumpe i centrifugalne pumpe.



Okigenator

Oksigenator je veštačko pluće u mašini srce-pluća, otuda i ime nije potpuno prikladno, jer oksigenator pored dodavanja kiseonika u krv takođe uklanja ugljen-dioksid iz krvi, slično pravim plućima. Drugim rečima, to je uređaj za razmenu gasova. Oksigenator se obično postavlja u nizu, serijski nakon „arterijske“ pumpe, s obzirom da je hemodinamski otpor modernih oksigenatora toliko veliki da zahteva veći propulzioni pritisak u odnosu na pritisak koji pasivni venski drenažni sistemi mogu pružiti. Razmena gasova se vrši difuzijom preko tanke silikonske membrane koja razdvaja fazu krvi i gasa. Velika membranska površina i odgovarajuće velike razlike u koncentraciji kiseonika i ugljenika dioksid osiguravaju potrebnu razmenu gasova čak i pri velikoj brzini protoka krvi. Tradicionalni membranski oksigenator je gotovo u potpunosti danas zamenjen efikasnijim mikroporoznim oksigenatorom.

Izmenjivač toplote

Za regulisanje telesne temperature pacijenta tokom vantelesne cirkulacije, izmenjivač toplote je integrisan u oksigenator ili venski rezervoar. Regulacija temperature krvi i posredno organizma se zasniva na kontinuiranom protoku vode određene temperature preko velike površine koja razdvaja krv i vodu. Voda se doprema iz samostojećeg grejača/hladnjaka gde se temperatura obično može podesiti u rasponu od 2-42 °C. Budući da voda može biti topla ili hladna, krv se može grejati ili hladiti, odnosno toplota se može dodavati ili uklanjati iz krvi i organizma. Brza perfuzija hladne krvi u topao organizam bi trebalo da se izbegava kako bi se sprečilo stvaranje vazdušne embolije kod pacijenta. Iz sigurnosnih razloga, temperaturna razlika između vode i krvi ne sme biti veća od 10 °C.

Arterijski filter

Pre nego što kiseonikom obogaćena krv bude upumpana nazad u pacijenta kroz arterijsku kanilu koja se nalazi u ushodnoj aorti, krv prolazi kroz filter koji hvata mikro [emboluse](#), skupine trombocita i čestice iz krvi koji se usisavaju iz hirurškog polja. Efikasnost filtera u pogledu hvatanja gasnih i čvrstih embolusa je obrnuto proporcionalna sa veličinom pora samog filtera. Međutim, mala veličina pora povećava oštećenje krvnih elemenata, a time i rizik od hemolize i stvaranja tromba. Štaviše, hemodinamski otpor je povećan sa manjim dijametrom pora samog filtera, a samim tim, povećani otpor dovodi do pada pritiska pri bilo kom datom protoku.

Arterijska kanila

Arterijska linija aparata srce-pluća povezana je sa pacijentom kroz arterijsku kanilu koja se obično ubacuje u ushodnu aortu. Vrh arterijske kanile obično je najuži deo ekstrakorporalne cirkulacije i zbog toga se može posmatrati kao ekvivalent otpora vantelesnog kruga, koji pri velikim brzinama protoka stvara veliki pad pritiska i dovodi do stvaranja velikih brzina protoka krvi što rezultira turbulencijom i fenomenom kavitacije. Pad pritiska između 50 i 100 mmHg su tipične vrednosti pri protoku od 5 l/min - u zavisnosti od prečnika kanile i tipa kanile. Pad pritiska veći od 100 mmHg nije prihvatljiv s obzirom na pojavu izrazito turbulentnog protoka i visokih vrednosti smičućeg napona u krvi što sve izazva hemolizu i aktivaciju trombocita. Ključna karakteristika arterijske kanile je, stoga, veličina pada pritiska u funkciji protoka na različitim prečnicima vrha kanile.

Sekundarni krug za aspirator

Pored primarne arterijsko-venske cirkulacije, u okviru mašine srce-pluća, postoji određeni broj sekundarnih cirkulacijskih krugova. Jedan od ovih krugova se odnosi na usisavanje (aspiraciju) krvi koji se obično sastoji od jednog do dva ručna aspiratora za uklanjanje krvi iz hirurškog polja i jedan usisni kateter - takozvani vent - koji se obično postavlja u levu komoru kroz levu pretkomoru ili se nalazi u aorti.



Mašina za vantelesni krvotok je napravila revoluciju u kardiohirurgiji. Vantelesna cirkulacija je uslovlila razvoj modern kardiohirurgije. Praktično se sve kardiohirurške operacije izvode uz pomoć vantelesnog krvotoka, što hirurgu daje komfor rada na mirnom srcu, uz odsustvo rizika po pacijenta.

Pogledajte još...

- [ECMO aparat](#)
- [Transplantacija srca](#)
- [Bajpas hirurgija srca](#)

- [Minimalno-invazivna kardiohirurgija](#)