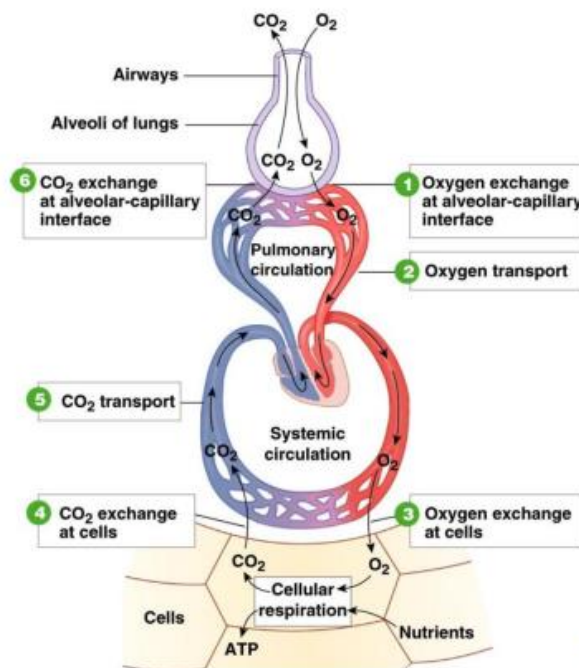


8. Gaia: ARNAS GASEN TRUKEA

Arnas gasen garraio baskularra. Pigmentuen disoziazio kurbak. Afinitatea: pH-aren eta NTP-en eragina. CO₂-aren garraioa eta pH-aren eraenketa.

Orain arte, oxigeno kontsumoa mantendu ahal izateko aldatu daitezkeen parametroak aztertu ditugu, soilik odolean disolbatua doan oxigenoa kontutan hartuz. Odolak disolbatu dezakeen oxigeno kopurua nahiko txikia da, urak disolbatu dezakeenaren antzekoa. Horri aurre egiteko, animaliek **arnas pigmentuak** garatu dituzte eta horren inguruan ariko gara gai honetan.

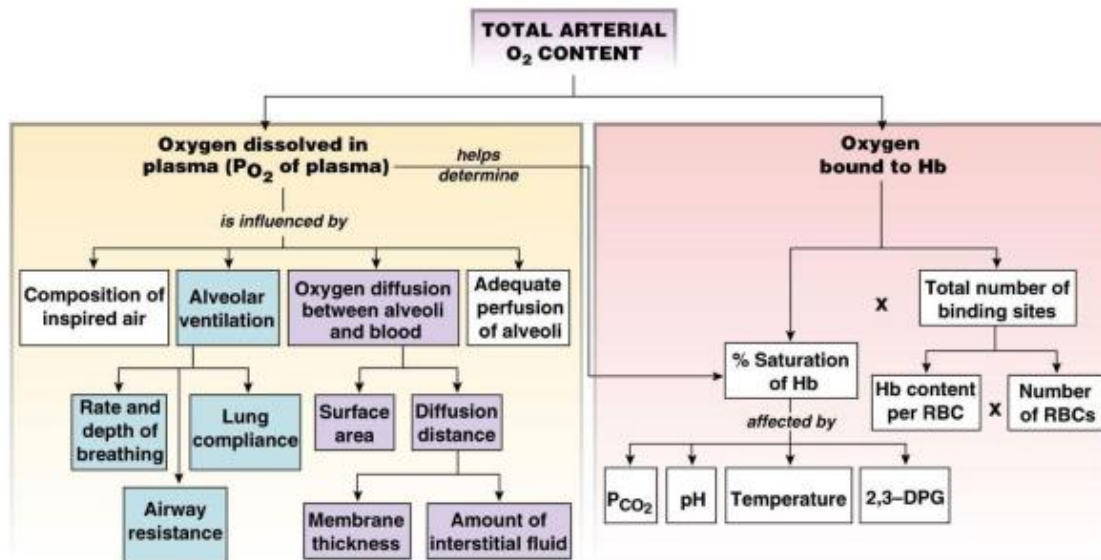


Kanpo medioan (ingurunean), oxigenoaren presio partziala 160 mmHg-koa da, eta ugaztunen albeoloetara sartzean presio partzial hori murriztu egiten da. Albeoloaren eta odolaren artean emango da lehen transferentzia eta oxigenoaren presio partziala odolean are gehiago murrizten da.

Bigarren transferentzia, odol oxigenatuaren eta zelulen artean emango da eta arnasketa zelularren ondorioz, CO₂a zeluletatik kanporatu eta odolera igaroko da. Karbono dioxidoa hondakina da eta presio partzialen arabera kanporatuko da, kontrako noranzkoan: zelulak → zainak → albeoloak → kanpo medioa.

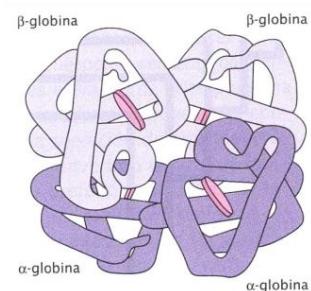
Oxigenoaren presio partzialaren balioaren arabera, oxigeno gehiago edo gutxiago disolbatuko da odolean. Oso zaila da oxigenoaren presio partziala odolean 160 mmHg-tara heltzea. Oxigenoaren disolbagarritasunean hainbat faktorek hartuko dute parte:

- Airearen konposizioa
- Albeoloetako bentilazioa. Maiztasuna eta sakontasuna aldatzen badira, presio gradiente handiago edo txikiagoa mantendu daiteke.
- Oxigenoaren difusioa albeolo eta odolaren artean
- Albeoloen perfusio egokia



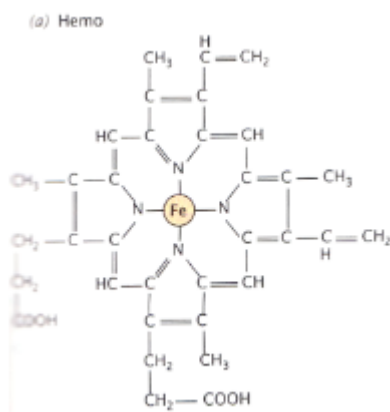
Odolean disolbatu daitekeen oxigeno kopurua nahiko eskasa da, eta animalia handi baten eskaria betetzeko ez da nahikoa. Animalia gehienetan arnas pigmentuak agertzen dira. Pigmentu hauek, oxigenoa disolbatzen den heinean, oxigenora batu egiten dira modu itzulgarrian; pigmentuekin konbinaturik doan oxigenoak ez du bere presio partzialean parte hartzen, eta modu honetara, oxigeno kopuru handiagoa disolbatu daiteke odolean.

Animalietan 4 pigmentu agertzen dira, hemoglobina, hemozianina, hemoeritrina eta klorokruorina. Ornodun guztietan agertzen dena ordea, hemoglobina da. Hemoglobinak, hemoeritrinak eta klorokruorinak burdina daukate metal gisa, eta hemozianinak kuprea. Hemozianinak adibidez, bi kupre molekula behar ditu oxigeno molekula bakarrari lotzeko, eta hemoglobinak soilik metal molekula bat oxigeno molekula bakoitzerako.



Arnas pigmentu hauek, odolean disolbatuta edo globulu gorrietan aurkitu daitezke; ornodunen kasuan, hemoglobina beti globulu gorrietara lotua agertuko da.

Hemoglobina 4 hemo taldez dago osatua. Hemo taldearen barnean burdina ageri da eta burdin: oxigeno proportzioa 1:1ekoa denez, hemoglobina pigmentu bakoitzak 4 oxigenorekin lotzeko aukera dauka. Bi alfa eta bi globinaz (talde postetikoak) dago osatua, bakoitza hemo talde batekin (eta burdin/oxigeno batekin).



Bi alfa eta bi globinaz (talde postetikoak) dago osatua, bakoitza hemo talde batekin (eta burdin/oxigeno batekin). Badaude beste pigmentu batzuk soilik globina talde batez osatua daudenak, eta horien adibidea mioglobina da. Muskuluetan oxigeno biltegi moduan erabiltzen den pigmentua da, eta nahiz eta hemoglobinarekin globina azpiunitatearen egitura bera izan, soilik globina talde bakarra daukanez, oxigeno bakarrarekin lotu daiteke.

Presio partzialak baldintzatuko du pigmentuaren zein proportzio konbinatzen den oxigenoarekin. Oxigenoaren presio partziala altua denean, pigmentua eta oxigenoa erraz batuko dira, eta aldiz presio partziala jaistean, pigmentuak erraz askatuko du oxigenoa. Zenbat eta oxigenoaren presio partzial altuagoa, orduan eta molekula gehiago konbinatzen dira pigmentuarekin, horregatik presio partzial maximoan (arnas organoetan) pigmentuak saturatuak agertzen dira.

Itsas urak oxigenoa garraiatzeko daukan ahalmena, pigmentu gabeko medioa izanik, 100 ml odoletik 0.5 ml O₂koa da. Beste modu batera adierazita, %5a bolumenetan oxigenoa da (100 ml odol bakoitzeko). Ugaztunetan aldiz, 100 ml odolera 25 ml O₂ garraiatu daiteke, itsas urarekiko 50 aldiz kantitate handiagoa. Hau ezinezkoa izango litzateke ugaztunen odolera agertzen den pigmenturik gabe.

Hau argi ikusi daiteke oxigenoak arnas organoetatik kapilarretara egiten duen bidean zehar. Arnas organoetan, pigmentua eta oxigenoa batu egiten dira oso erraz, eta zeluletaraino egiten duen bidean zehar presioa gutxituz doa. Presio gutxipen honek pigmentuak oxigenoa erraz askatzea eragingo du, eta horregatik pasatzen da oxigenoa odolera zeluletarara.

Pigmentua + O₂ ↔ PgO₂

Oxigenoaren presio partziala handitzen bada, erreakzioa eskuinerantz desplazatuko da, oxigeno konbinatu gehiago egongo delarik. Presioa gutxitzen bada, pigmentuak oxigeno parte bat askatuko du, erreakzioa ezkererantz mugituz.

PIGMENTUEN DISOZIAZIO KURBAK

Ondorengo grafikoan, hemoglobina eta mioglobina arnas pigmentuen disoziazio kurba agertzen dira. Arnas pigmentu gehienek kurba sigmoidea dute, erlazioa ez delako uniformea, oxigenoaren presio partzialaren arabera baizik. Beste pigmentu batzuek, mioglobinak adibidez, kurba parabolikoa aurkezten dute, erreserbarako erabiltzen direlako.

Grafikoan bi atal ezberdinduko ditugu. Alde batetik, erreakzioaren **disoziazio konstantea**, modu honetara kalkulatzen dena: $K = \frac{[PgO_2]}{[Pg][O_2]}$. Eta bestetik, pigmentuaren **saturazio portzentajea**, edo beste modu batera esanda, zein den oxigenoarekin konbinaturik dagoen pigmentu proportzioa: $\%SAT = \frac{[PgO_2]}{[PgO_2] + [Pg]} \times 100$.

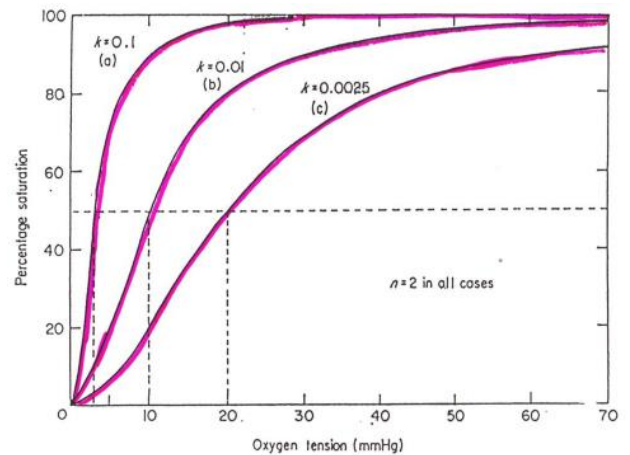
Bi erreakzio hauek erabilia, hirugarren bat lortu dezakegu. Lehenengo erreakziotik [PgO₂] isolatu, eta bigarren erreakzioan ordezkatu dugu.

$$\%SAT = \frac{K[Pg][O_2]}{K[Pg][O_2] + [Pg]} \times 100 \quad \rightarrow \quad \%SAT = \frac{K[O_2]}{K[O_2] + 1} \times 100$$

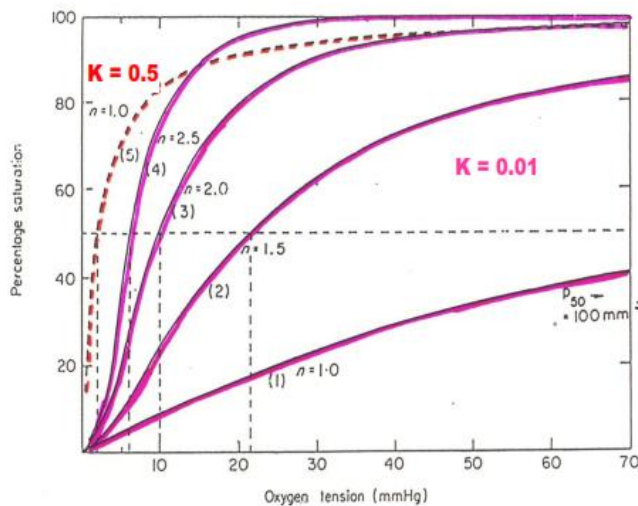
Modu honetara, ondorioztatzen dugu pigmentuaren saturazio portzentaia oxigenoaren presio partzialaren menpekoa dela soilik.

Pigmentuen disoziazio kurbak bi parametro garrantzitsuen arabera izango dira:

- **Afinitate koefizientea.** K batez ere adierazten da, baina ez dauka disoziazio konstantearekin zerikusirik, eta ez dira konfunditu behar. Koefiziente honek esaten digu zein den pigmentuak oxigenoarekin konbinatzeko daukan erraztasuna. Zenbat eta afinitate altuagoa, disoziazio kurba ezkerretarantz mugituko da (parabolikoaren antza). Pigmentuaren afinitatea handiagoa bada, errazago lotuko zaizkio oxigenoak eta errazago saturatuko da. Afinitatearen balioa 1era hurbiltzen den heinean, oxigenoaren presio partzial baxuagoetan oxigenoarekin batzeko erraztasun handiagoa edukiko du pigmentuak, eta arinago saturatuko da.



- **Kooperatibitate maila.** N batekin adierazten da. Kooperatibitate mailak afinitatearengan dauka eragina, eta $n=1$ denean, ez dago kooperatibitatearik. Afinitatea zenbat eta txikiagoa izan, oxigeno presio partzial altuagoa behar izango dute pigmentuek konbinatzeko. $N>1$ denean, kooperatibitatea existitzen da eta afinitate berdinerako, kurba ezkerretarantz desplazatuko da.



Oxigenoarekin lotura bat ematen denean, bigarren lotura bat ematea nolabait erraztu egiten da. Hortaz, lehenengo oxigenoa lotzeak

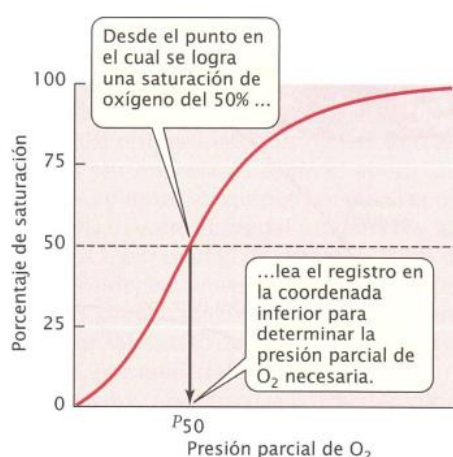
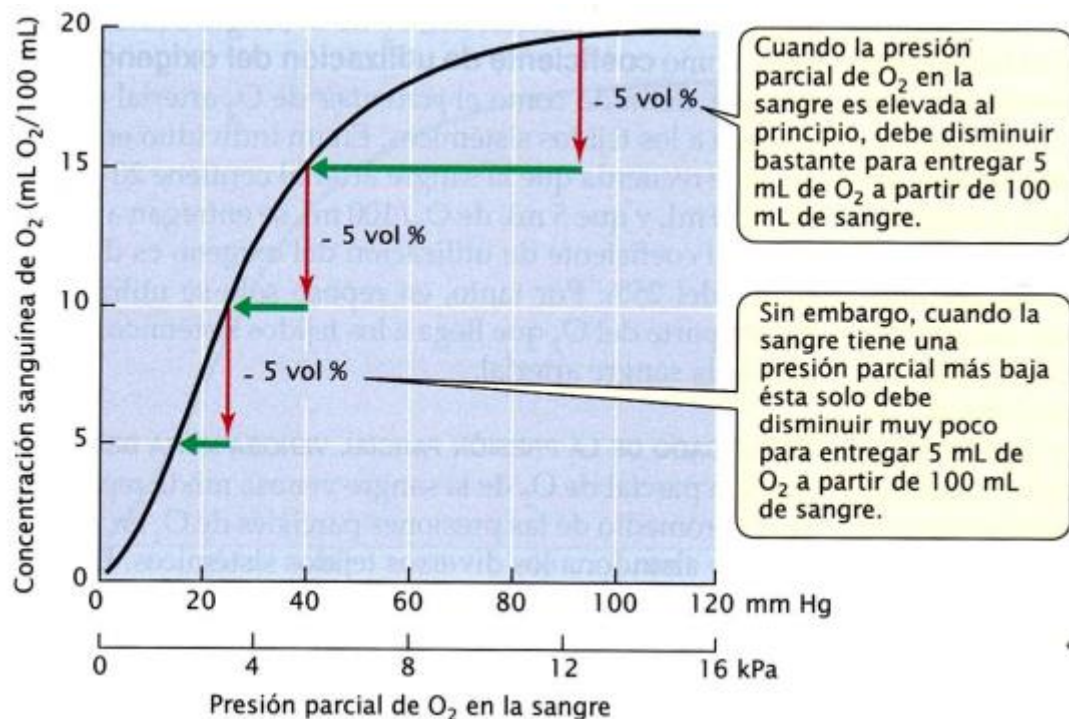
bigarren oxigenoaren lotura erraztuko du, bigarren horrek hirugarrena,...

Pigmentu batean, K eta n indizeek balio konkretu bat izango dute, konstante mantentzen dira eta disoziazio kurba bakarra adierazten da. Balio hauek pigmentu batetik bestera aldatuko dira eta pigmentu bakoitzak disoziazio kurba propio bat aurkeztuko du.

Hemengo grafiko honetan irudikatua agertzen zaigu oxigenoaren presio partzialaren beherapenarekin gertatzen den pigmentuen deskarga. 120 mmHg-tan, hemoglobina saturatua agertzen da eta honek esan nahi du pigmentu guztiek izango dituztela lotuak oxigeno molekulak. Oxigenoaren presio partziala beherantz doan heinean, odolak pigmentuaren beharra izango du oxigenoa zeluletara askatzeko.

Grafikan ikusten da oxigenoaren presio partziala 50 mmHg jaitsi behar dela pigmentuak %5 bolumenetan askatu ahal izateko. Hau gertatzen da hasieran pigmentu guztia saturatua dagoelako, eta beharrezko oxigenoa disolbatuta dagoen zatitik hartzen delako.

Oxigenoaren presio partziala 40 mmHg-koa denean ordea, presio partzialaren murrizketa txiki batek, pigmentuek %5 bolumenetan oxigeno askatzea eragiten du. Presio partzial hau zenbat eta baxuagoa izan, orduan eta murrizketa txikiagoa behar da pigmentuak oxigeno kantitate bera askatzeko, hau da, orduan eta errazago askatuko du pigmentuak oxigenoa.

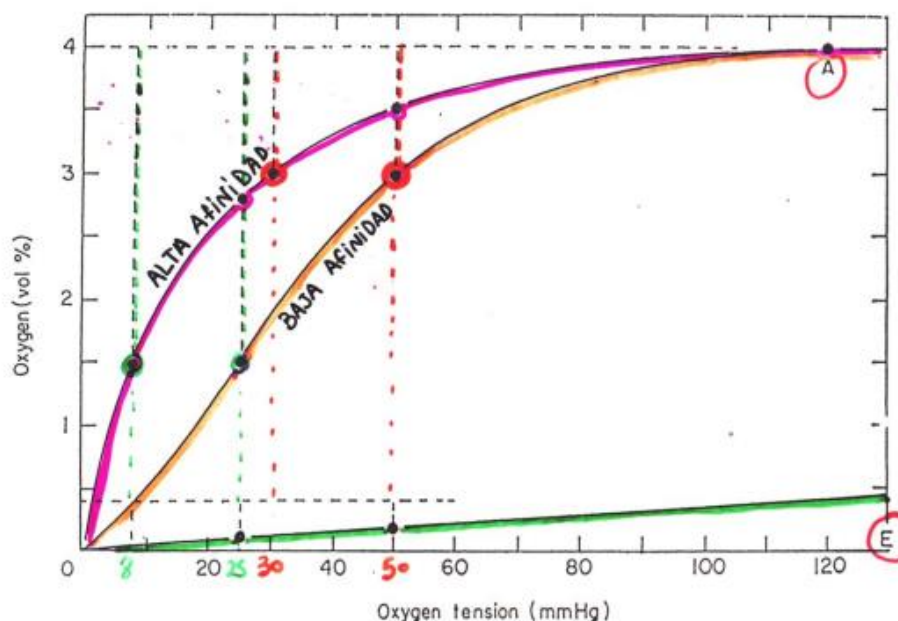


Beste kontzeptu interesgarri bat pigmentu baten funtzionamendua aztertzerako orduan, **P50 balioa** da. Indize honek adierazten digu zein izango den oxigenoaren presio partzialaren balioa pigmentua %50ean saturatzeko. Zenbat eta balio altuagoa izan, oxigenoaren presio partzial handiagoa beharko da pigmentua %50ean saturatzeko.

Ikusitako indizeak kontuan hartuz, afinitate altuko eta baxuko pigmentuak bereizten dira.

Ondorengo grafikoan afinitate ezberdineko pigmentuen disoziazio kurbak agertzen zaizkigu. Presioa 120 mmHg-koa denean, bi pigmentuak saturazio mailan ageri dira. Demagun pigmentuak %1 oxigeno bolumenetan askatu behar duela; afinitate baxuko

pigmentu batean, oxigenoaren presio partziala 50 mmHg-ko baliora iritsi behar da, baina deskarga bera egiteko, afinitate altuko pigmentuak 30 mmHg-rainoko murrizketa behar du.

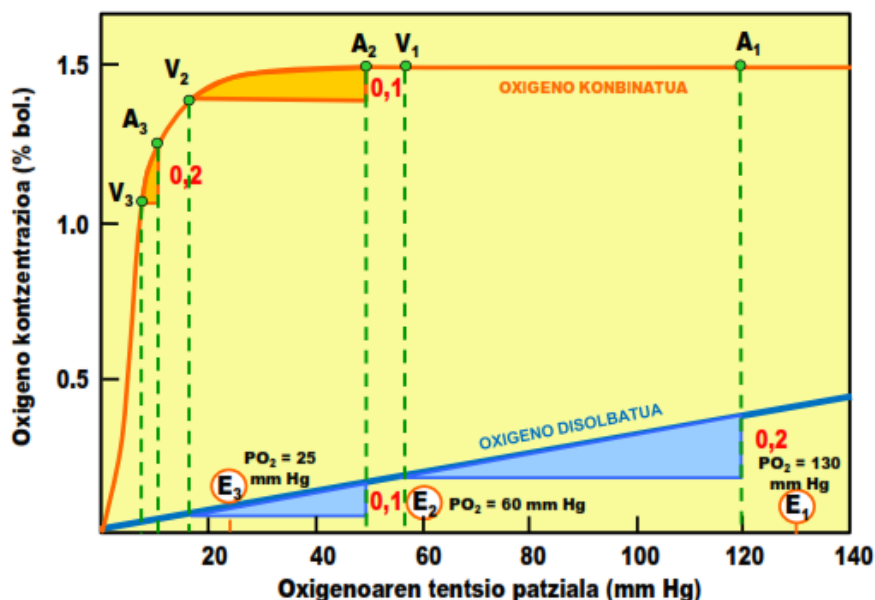


%2,5-eko bolumena deskargatzeko (2,5 ml oxigeno 100 ml odoleko), afinitate baxuko pigmentuak 25 mmHg-ko oxigenoaren presio partziala behar du, baina afinitate altukoak 8 mmHg-ko presio partziala. Afinitate altu honek arriskuan jarri dezake zelulek oxigenoa eskuratu ahal izatea, beharbada kapilareetan ez delako hain presio balio baxua lortzen, eta nahiz eta pigmentuak oxigenoa gorde, ezin izango du deskargatu.

Hala ere, hipoxia egoerak jasaten dituzten animalia eta inguruneetan, afinitate altuko pigmentuak ezinbestekoak dira. Animalia mota hauek **emergentzia pigmentuak** izaten dituzte.

Emergentzia pigmentuek oxigenoarekiko oso afinitate altua daukate. Pigmentuak saturatuta mantentzen dira oxigenoaren presio partziala oso baxua izan arte. Izenak dioen bezala, soilik emergentzia egoeretan hartzen dute parte, hipoxia egoeretan, hain zuzen ere.

Ondorengo grafikoan, hiru egoera desberdin agertzen dira irudikatuta, hobeto ulertzeko emergentzia pigmentuen funtzionamendua.



E1 egoera normoxikoa da, hau da, oxigenoaren presio partzial arterietan 120 mmHg ingurukoa da. Presio honekin mugituko da odola arterietan zehar eta zeluletan presioa jaitsi egingo da, baina ez hipoxia egoera batengatik, zeluletan oxigenoa uzteagatik baizik. Lehenengo egoera honetan, emergentzia pigmentuek saturatuta jarraitu dute, oxigenoaren presio partziala ez delako nahikoa jaitsi martxan jartzeko. Baldintza hauetan, odolean disolbatua doan oxigenoa %0,4 bolumenetan izango da (guztira %1,9 bolumenetan garraiatzen da odolean, %1.5 bolumenetan pigmentuarekin konbinaturik doalako). Oxigenoaren presio partzialaren murrizketa eman dela ikusi dugu kapilarretan oxigeno disolbatua transferitu delako zeluletara (oxigenoaren eskari metabolikoa, hau da, %0,2 bolumenetan).

E2 egoera hipoxikoa da. Inguruneke oxigeno eskuragarritasuna murriztu egin da. Ingurunean 60 mmHg-ko presio partziala dago eta arterietako presioa 50 mmHg ingurukoa da. Oxigenoaren eskari metabolikoa %0,2 bolumenetan izanik, zein izan beharko da oxigenoaren presio partziala oxigeno kantitate hori zeluletara askatzeko? Disolbaturiko oxigenoaren zati bat transferitzen da (0,1 % bolumenetan) baina pigmentuak ere parte hartzen du. Egoera honetan, zeluletara heltzen den oxigenoa bai disolbaturik dagoenekin zein konbinatutik dator (50/50), eta hala ere, pigmentuak oraindik oxigeno asko dauka konbinaturik.

Azken egoerak (**E3**) **hipoxia larria** adierazten digu. Inguruneke oxigenoaren presio partziala 25 mmHg ingurukoa da, oso eskuragarritasun gutxi dago. Hain inguruneke presio partzial txikiarekin, arterietako presio partziala oraindik ere txikiagoa da, 10 mmHg-koa, gutxi gorabehera. Odolean disolbaturik doan oxigenoa %0,1 bolumenetan baino txikiagoa da. Oxigenoaren presio partzialaren murrizketa oso txikiarekin, pigmentuak erraztasun handiz deskargatuko du %0,2 oxigeno bolumenetan eta metabolismoarko oxigeno eskaria beteko du. Emergentzia pigmentua martxan jartzeko beharrezkoa da muturreko egoera hipoxiko honetara heltzea.

Orain arte azaldutako guztia ulertu eta praktikan jartzeko, bi ariketa azalduko ditugu:

1. ARIKETA

Bi espezieren arnas parametroak normoxia (160 mmHg) eta hipoxia (60 mmHg) egoeran neurtu zaizkie. Datu hauek ikusita, kalkulatu zein izan den **oxigeno deskarga** hurrengo oxigeno kapazitatea kontuan hartuta.

Kapazitate konbinatua: 1,5% bolumenetan.

Kapazitate disolbatua: 0,6% bolumenetan.

ARIKETA 1

Bi espezieren arnas-parametroak normoxia (160 mm Hg) eta hipoxia (60 mm Hg) egoeran neurtu zaizkie. Datu hauek ikusita kalkulatu zein izan den oxigeno deskarga hurrengo oxigeno kapazitatea kontutan hartuta:

- Konbinatua = 1.5 % bol.
- Disolbatua = 0.6 % bol.

	1 espeziea		2 espeziea	
	Normoxia	Hipoxia	Normoxia	Hipoxia
P_A (mm Hg)	120	4	120	40
P_V (mm Hg)	60	15	40	30
% SAT _A	88	23	87	80
% SAT _V	60	8	80	55

Hasteko, Fick-en printzipioa hartu behar da kontutan: **$VO_2 = V_a(C_a - C_i) = V_b(C_a - C_v)$** .

Pigmentuek (Ca-Cv) zatian hartzen dute parte eta egiten duten ekarpena garrantzitsua da oxigeno deskarga hori mantentzeko. **Oxigeno deskarga** hori da kalkulatu behar duguna.

Arterietako eta benetako oxigeno kontzentrazioa jakin ahal izateko, arterietan disolbaturik zein konbinaturik dagoen oxigeno kantitatea ezagutu beharko da, eta gauza bera benetako oxigenoarekin.

Pigmentuaren oxigeno kapazitate konbinatua 1,5% bolumenetan izateak adierazten digu zenbat oxigeno daraman konbinatua 100%eko saturazioan. Lehenengo espeziearen saturazio maila %88koa baldin bada, jakin ahal izango dugu zenbatekoa den oxigeno konbinatu arteriala (eta gauza bera benosoarekin).

Kontzentrazio arterial konbinatua (CaKON)	%100eko saturazioa	1.5% bolumenetan
	%88ko saturazioa	X= 1.32 % bolumenetan
Kontzentrazio benoso konbinatua (CvKON)	%100 eko saturazioa	1.5% bolumenetan
	%60ko saturazioa	X= 0,9% bolumenetan
Kontzentrazio arterial disolbatua (CaDIS)	160 mmHg	0.6% bolumenetan
	120 mmHg	X= 0,45 % bolumenetan
Kontzentrazio benoso disolbatua (CvDIS)	160 mmHg	0.6% bolumenetan
	60 mmHg	X= 0,225 %bolumenetan

CaKON + CaDIS = Ca \rightarrow Ca = 1,77 %bolumenetan

CvKON + CvDIS = Cv \rightarrow Cv = 1,125 %bolumenetan

Oxigeno deskarga normoxia egoeran 1. Espeziean: Ca-Cv = 1,77-1,125 = **0.645 %bolumeneko oxigeno deskarga**

Oxigeno deskarga hipoxia egoeran 1. Espeziean: Ca-Cv = **0.319 % bolumeneko deskarga**

Oxigeno deskarga normoxia egoeran 2. Espeziean: Ca-Cv = **0,405 % bolumeneko deskarga**

Oxigeno deskarga hipoxia egoeran 2. Espeziean: Ca-Cv = **0,412 %bolumeneko deskarga**

Hala ere, bigarren metodo bat dago eta honako formulak ezagutzea komenigarria da horretarako:

$$(A-V) \text{ konbinatua} = \frac{\% SAT \text{ arteriala} - \% SAT \text{ benosoa}}{100} \times \text{Kapazitate konbinatua}$$

$$(A-V) \text{ disolbatua} = \frac{Presio \text{ arteriala} - Presio \text{ benosoa}}{100} \times \text{Kapazitate disolbatua}$$

$$(A-V)_{\text{totala}} = \text{Kontzentrazio arteriala} - \text{Kontzentrazio benosoa}$$

$$\text{Pigmentuaren ekarpena \%} = \frac{(A-V) \text{ konbinatua}}{(A-V) \text{ totala}} \times 100$$

Afinitate baxuko pigmentuek ekarpen handia dute normoxian.

Afinitate altuko pigmentuek ekarpen handia dute hipoxian.

Lehenengo espeziean, hipoxia egoeran erdira jaitsi da oxigeno deskarga, pigmentuaren ekarpena ez da nahikoa izan oxigenoaren deskarga konstante mantentzeko. Bigarren espeziean berriz, hipoxia egoerako pigmentuaren ekarpena emendatu egin da, ezinbestekoa dena oxigeno deskarga hori konstante mantentzeko. Bigarren espeziea oxieraentzailea dela ziurtatu dezakegu. Lehenengo espeziea oxieraentzailea den jakin ahal izateko, Vb-aren balioa ezagutzea beharrezkoa da, gastu kardiakoa emendatuz oxigeno kontsumoa mantendu dezakeelako.

2. ARIKETA

Sabella poliketoaren eta *Chironomus* dipteroaren VO₂ (ml O₂/g*h), PO₂ ezberdinetan eta bi baldintza esperimental desberdinetan (N→normala, CO→ karbono monoxidoarekin) neurtu dira.

Sabella poliketoaren eta *Chironomus* dipteroaren VO₂ (ml O₂/g h), PO₂ ezberdinetan eta bi baldintza esperimental ezberdinetan: normalak (N) eta CO-arekin (CO):

	<i>Sabella</i>			<i>Chironomus</i>		
PO ₂	N	CO	% O ₂	N	CO	% O ₂
150	0.52	0.36	30%	0.43	0.43	0%
120	0.48	0.34	29%	0.42	0.42	0%
90	0.43	0.30	30%	0.42	0.40	4.7%
60	0.35	0.24	31%	0.42	0.38	9.5%
30	0.23	0.15	34%	0.37	0.23	38%
10	0.09	0.07	22%	0.20	0.08	60%

Animalia hauetan oxigeno kontsumoa kalkulatu da, oxigenoaren presio partzial ezberdinetan (PO_2), 10-150 mmHg tartean. N zutabeak baldintza normaletan daukan oxigeno kontsumoa adierazten du eta CO zutabeak karbono monoxidoarekin infektaturiko ingurune bateko oxigeno kontsumoa. Hemoglobinak 200 aldiz afinitate gehiago dauka COarekin oxigenoarekin baino, horregatik oxigenoa odolean disolbatua doa pigmentuarekin lotuta egon ordez.

Espezie bakoitzeko hirugarren zutabeak, %O₂ batekin adierazia, pigmentuaren ekarpen da, hau da, zeluletara askatu den oxigeno kopuru totaletik zein proportzio den pigmentuak emandakoa (baldintza normaletan, ez karbono monoxidoaren presentzian).

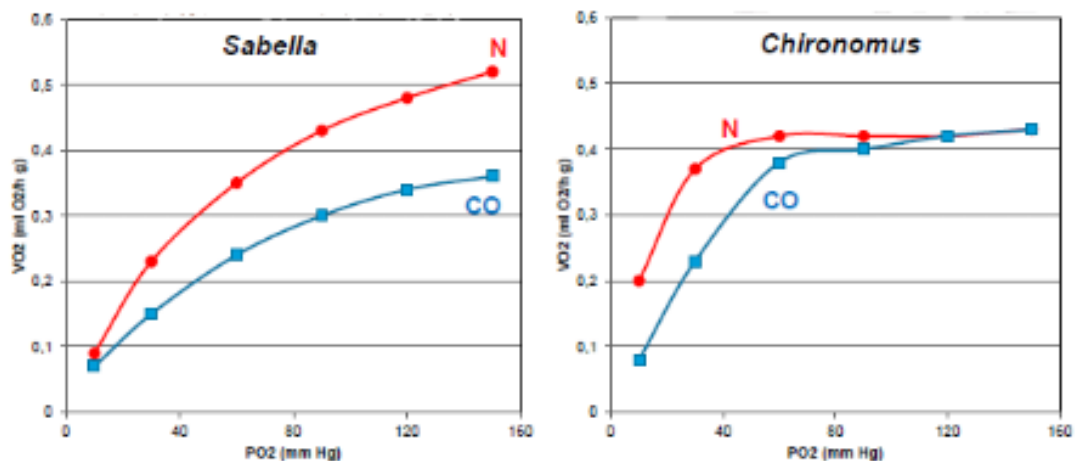
Sabella poliketoan pigmentuaren ekarpena %30ekoa da eta bertan mantentzen da gutxi gorabehera 60 mmHgko oxigeno presio partzialera heldu arte. Ondoriozta dezakegu animalia oxieraentzailea dela 60 mmHg-taraino jaitsi arte. CO-arekin egindako esperimentuan, balio berberak lortzen ditu. Hipoxian dagoenean, pigmentua deskargatzen hasten da (batez ere hipoxia larrian). Esan bezala, oxieraentzailea da gutxienez 60 mmHg-tara heldu arte eta baldintza larrietan pigmentuaren ekarpena emendatzen du, afinitate altuko pigmentua delako.

Hala ere, COa dagoen baldintzetan pigmentuaren ekarpenik ez balego, nola mantenduko luke animaliak oxigeno kontsumoa konstante oxieraentzailea izanik? Gastu kardiakoaren emendioaren bitartez.

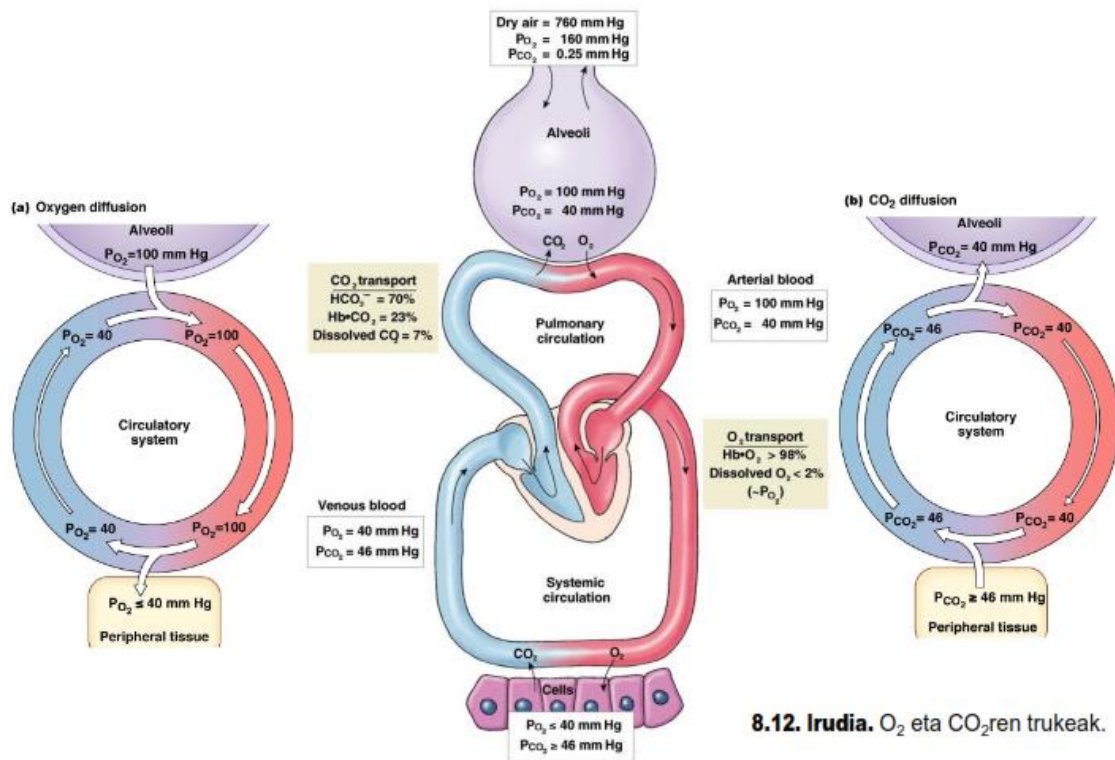
Baldintza normaletan, *Chironomus* poliketoaren oxigeno kontsumoak behera egiten du oxigenoaren presio partzialak behera egiten duen heinean. Ez da oxieraentzailea, ez delako gai bere oxigeno kontsumoa konstante mantentzeko (beraz, oxikomunztagarria da).

CO-aren presentzian eginiko neurketetan, baldintza normalekin erkatuz, diferentzia esangarri bat dago. Baldintza normaletan 0.52 ml O₂/g·h bada eta CO baldintzetan 0.36 ml O₂/g·h, diferentzia 0.16 izango da, hau da, baldintza normalen %30a.

Ondorengo grafikoetan agertzen d nola aldatzen den espezie bakoitzean oxigeno kontsumoa oxigenoaren presio partzialaren arabera.



(8.2. AFINITATEA: PH-AREN ETA NTP-EN ERAGINA. CO₂-AREN GARRAIOA ETA PH-AREN ERAENKETA)



8.12. Irudia. O₂ eta CO₂ren trukeak.

Irudian agertzen zaizkigu bai oxigenoak zein karbono dioxidoak, biriketarik zeluletarainoko bide horretan izaten dituzten presio partzialen aldaketak. Arnas organoetan elkartrukea aematean, albeoloetako oxigenoaren presio partziala 100 mmHg-koa da, eta beraz, arterietako oxigenoaren presio partziala gehienez balio horretara helduko da. Arnas organoetan, CO₂aren presio partziala 40 mmHg-koa da.

Zeluletara iristean, arterietako oxigenoaren presio partziala asko murriztu da, gutxi gorabehera, 40 mmHg-tara iritsi da. Presio diferentzia honi esker, oxigenoa zeluletara igaroko da, eta aldi berean, zeluletak CO₂a odolera igaroko da. Transferentzia honek, odoleko karbono dioxidoaren presio partziala handitu egingo du, 48 mmHg-tara iritsi arte, gutxi gorabehera.

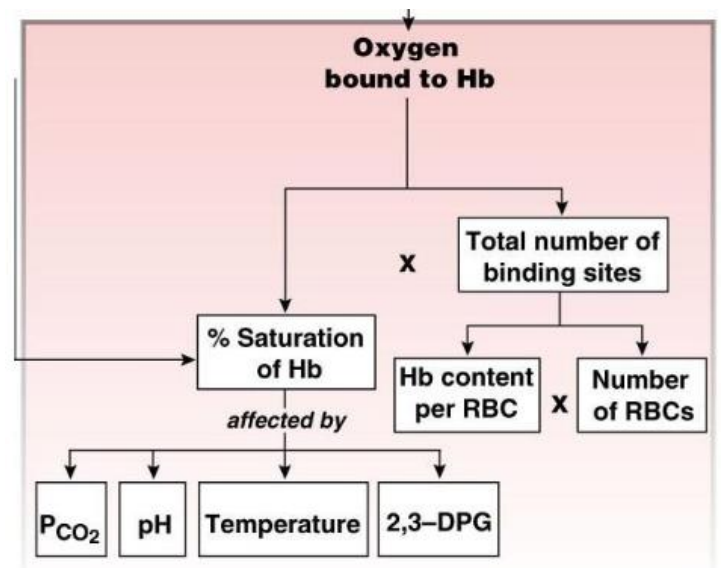
Beraz laburbilduz, karbono dioxidoaren presio partziala arnas organoetan nahiko baxua da, baina zeluletak transferentziaren ostean igo egiten da; oxigenoaren kasuan kontrakoa gertatzen da, eta zeluletara iritsi ahala, presio partziala murriztu egiten da.

Hemoglobinak ere karbono dioxidoaren garraioan hartzen du parte, gasaren %23a garraiatuz. Disolbatua garraiatzen den karbono dioxidoa HCO₃ gisa garraiatzen da. Oxigenoaren kasuan ordea, soilik oxigenoaren %2a garraiatzen da disolbatua, eta gainerako %98 hemoglobinarekin batera.

Hemoglobinarek eta orokorrean pigmentuen afinitatearen erantzule zuzena oxigenoaren presio partziala da, horren arabera izango dute pigmentuek afinitate gehiago ala gutxiago. Hala ere, beste zenbait faktorek eragina izan dezakete pigmentuen afinitatean:

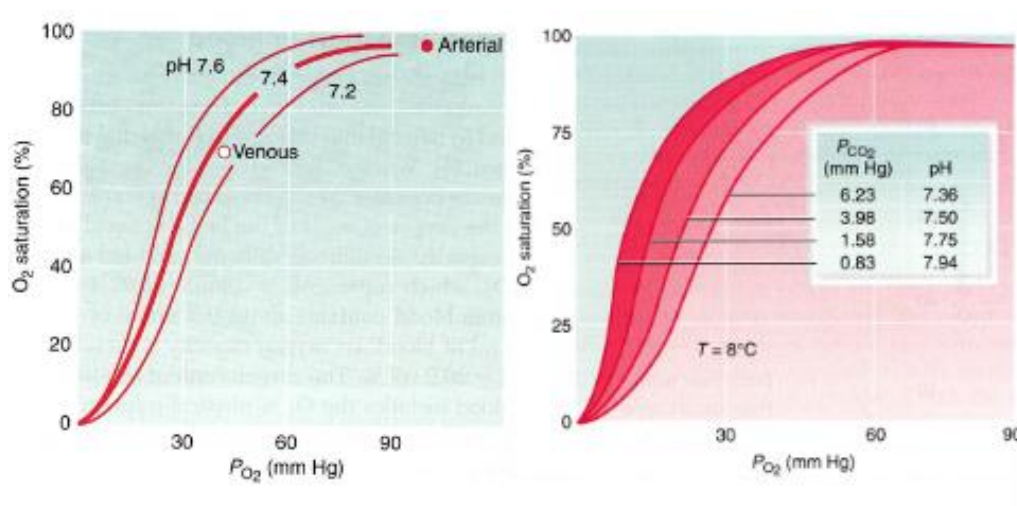
- Karbono dioxidoaren presio partziala
- PHa
- Temperatura
- Konposatu fosfatatuak

Zenbat eta karbono dioxido gehiago diluitu, protoi gehiago askatuko dira eta pHa azidoago bihurtzen da. Askatutako protoiak hemoglobinari lotzen dira eta zailagoa egiten da oxigenoaren eta hemoglobinarek arteko lotura. Modu honetara, CO₂a disolbatzean eta bere presio partziala emendatzean, hemoglobinarek oxigenoarekiko afinitatea murriztu egiten da.



8.14 Irudian, pigmentu berdinen kurbak agertzen dira, baina baldintza ezberdinetan. PHa murriztu ahala, kurbak eskumalderantz desplazatzen dira, pigmentuaren oxigenoarekiko afinitatearen galera dago; beste modu batera esanda, oxigenoaren presio partzial berdinerako, p50a handitzen dela. Desplazatzen den neurria espeziearen arabera da, baina emaitza orokorra berdina da: pHa azidifikatzean, kurbak eskuinera desplazatzen dira, p50a emendatuz eta oxigenoarekiko pigmentuak daukan afinitatea murriztuz.

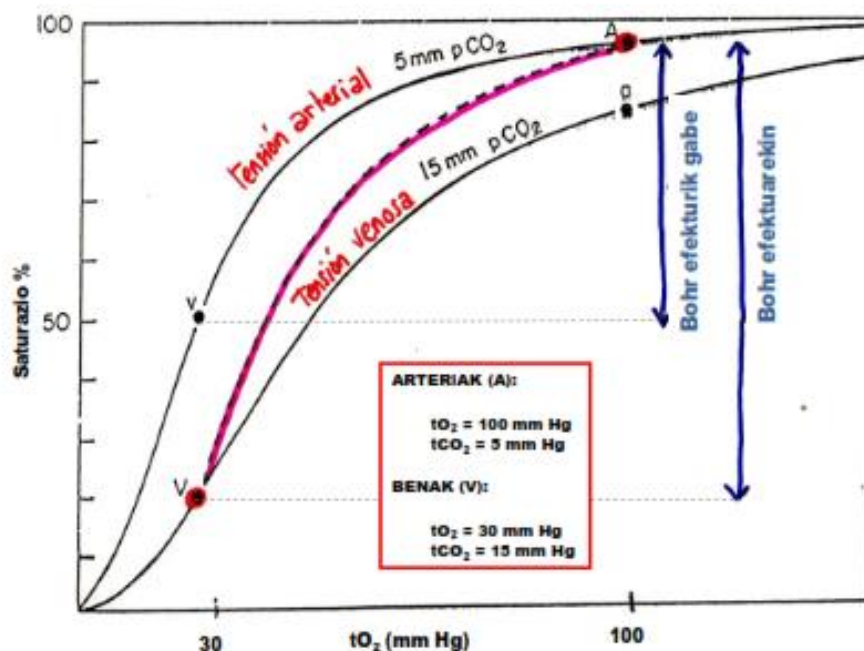
Zenbat desplazatzen den, espeziearen arabera da baina emaitza orokorra berdina da; pHa azidifikatzen bada, kurbak eskuinera desplazatu, p50a emendatu eta afinitatea murrizten da.



Zeluletan agertzen da CO₂aren presio partzialik altuena eta arnas organoan CO₂aren presio partzialik baxuena. Arnas organoan, hemoglobinarekin oxigenoarekiko afinitatea handia da CO₂aren presio partziala baxua delako. Zeluletan ordea, hemoglobinarekin afinitatea txikitu egiten da eta afinitate galera honi esker, errazago askatuko du oxigenoa.

CO₂aren presio partzialaren emendioaren eraginez, hemoglobinarekin oxigenoarekiko afinitate murrizketa ematearen, eta ondorioz, zeluletan oxigenoaren deskarga emendatzearen fenomenoari **BOHR EFEKTU** deritzen.

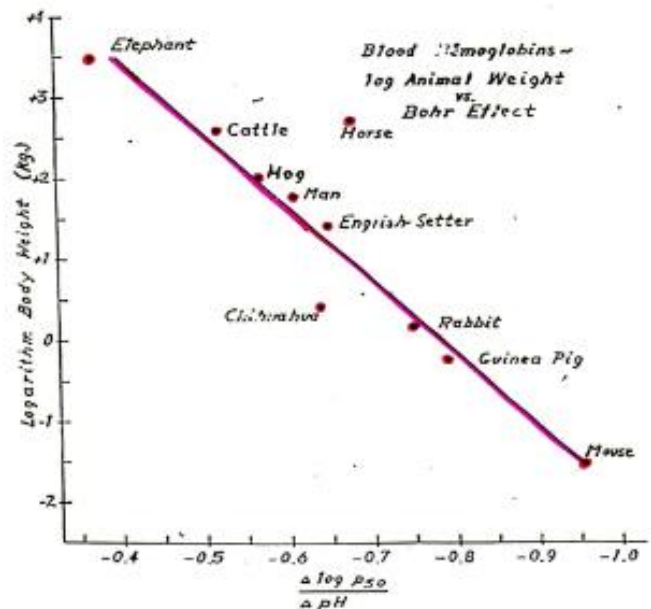
Bohr efektuaren eraginez, afinitate baxuko zein altuko "pigmentu konbinatua" lortzen da. Arnas organoetan, erraz hartzen du oxigenoa, karbono dioxidoaren presio partziala txikia delako, eta aldi berean, zeluletan erraz askatzen du oxigenoa, karbono dioxidoaren presio partzialaren emendioaren eraginez, oxigenoarekiko afinitatea murrizten delako.



Grafikoan ikusten den bezala, Bohr efektuarekin lortzen dena hau da: Hasiera batean tentsio arterialean aurkitzen gara eta presio partziala 100mm Hg-tik 30-era jaistean saturazioaren %50 jaisten da tentsio arterialearekin jarraituz gero (Bohr efektua kontutan hartu gabe). Hala ere, Bohr efektua dela eta, presio partzial jaitsiera berarekin saturazio %50-ean jaitsi beharrean, saturazioaren jaitsiera %80-koa da. Prozesu honekin pigmentuen deskarga emendatzea lortzen dugu. Sistema kardiobaskularra Bohr efektuaz baliatzen da kapilaretan pigmentuen oxigenoarekiko afinitatea murrizteko, ehunak oxigenatzen direlarik. Hau horrela da arnasketa zelularraren ondorioz sortzen den CO-a kapilaretara kanporatzen delako, odoleko PCO₂-a igoz.

Bohr efektuak erlazio zuzen bat dauka animalia-aren tamainarekin, eta nabariagoa da animalia txikietan. Tamaina txikitu ahala, animalia-aren eskari metabolikoa handitu egiten da; tamaina txikiagoa izateagatik, pH-aren aldaketa txikia izanda ere, Bohr efektua handiagoa da.

Hala ere, bi salbuespen bereizten dira, zaldia eta chihuahua.



ARIKETA (BOHR EFEKTUA)

Presio partzialak (mm Hg)	Atsedena	Ariketa	Oxigeno kontzentrazioa (% bol.)	Odol arteriala $PCO_2 = 5$	Odol benosoia $PCO_2 = 15$
$PO_2 A$	100	100	$PO_2 = 100 (A)$	4,2	3,8
$PCO_2 A$	5	5	$PO_2 = 40 (V)$	2,5	1,35
$PO_2 V$	40	25	$PO_2 = 25 (V)$	1,3	0,60
$PCO_2 V$	15	15			

Presio partzial desberdin bakoitzari, bai atsedenean zein ariketako mm Hg-ak ditugu taulan (presio arterial eta benosoak oxigeno eta CO_2 -arenak).

Atsedenean zein ariketan, oxigenoaren presio arteriala 100mmHg-koa eta CO_2 -arena 5mmHg-koa da. Presio benosoari dagokionez, atsedenean oxigenoaren presio partziala 40 mm Hg-koa da eta CO_2 -arena 15mmHg-koa. Ariketan berriz, oxigenoarena 25mmHg-tara jaisten da, CO_2 -arena berdin mantentzen delarik.

Balio hauekin, bi disoziazio kurba izango ditugu. Hauek, bigarren taulako balioekin eraikiko ditugu, lehenengoa CO_2 -aren presio partziala 5mmHg denean, eta bigarrena CO_2 -aren presio partziala 15mmHg denean.

Zein da Bohr efektuaren ekarpena?

Kalkulatu behar dugu zein den deskarga Bohr efektua egongo ez balitz, gero ikusi ahal izateko Bohr efektuak izan duen kontribuzioa pigmentuen saturazioaren murrizpenean.

Atsedenean: Deskarga (%bol): $4,2 - 1,35 = 2,85$

Bohr efekturik ez balego: $4,2 - 2,5 = 1,7$

Bohr efektuaren ekarpena: $(1,15 / 2,85) * 100 = \%40.35$

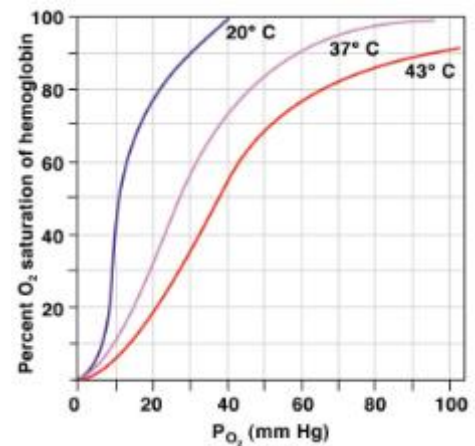
Ariketan: Deskarga (%bol): $4,2 - 0,60 = 3,6$

Bohr efekturik ez balego: $4,2-1,3=2,9$

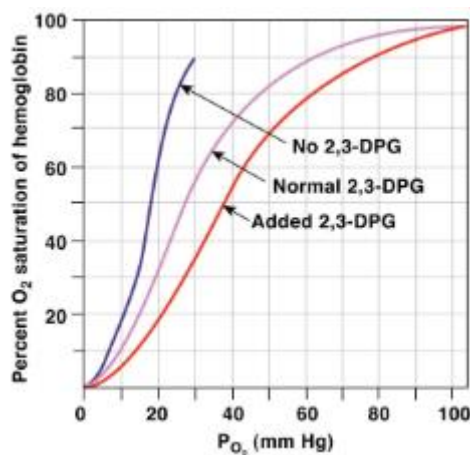
Bohr efektuaren ekarpena: $(0,7/3,6)*100= \%19,44$

Aurretik esan bezala, temperatura beste eragile garrantzitsu bat da hemoglobinarekiko oxigenoarekiko afinitatean. Grafikan ikusten den bezala, temperatura igotzean pigmentuen oxigenoarekiko afinitatea murrizten da, temperatura altuek pigmentuen desnaturalizazioa sortzen baitute. Desnaturalizazioaz gain, temperatura altuek oxigenoaren eta pigmentuaren arteko loturak errazago hausten dituzte.

Metabolikoki aktiboak diren organoetan temperatura altuagoa dago eta oxigeno deskarga ere azkarragoa da (muskuluetan, esaterako).



Fosfatodun konposatuak ere eragile garrantzitsuak dira, esaterako ATP eta 2,3-difosfoglizeratoa. Konposatu hauen kontzentrazioa emendatzean, pigmentuen



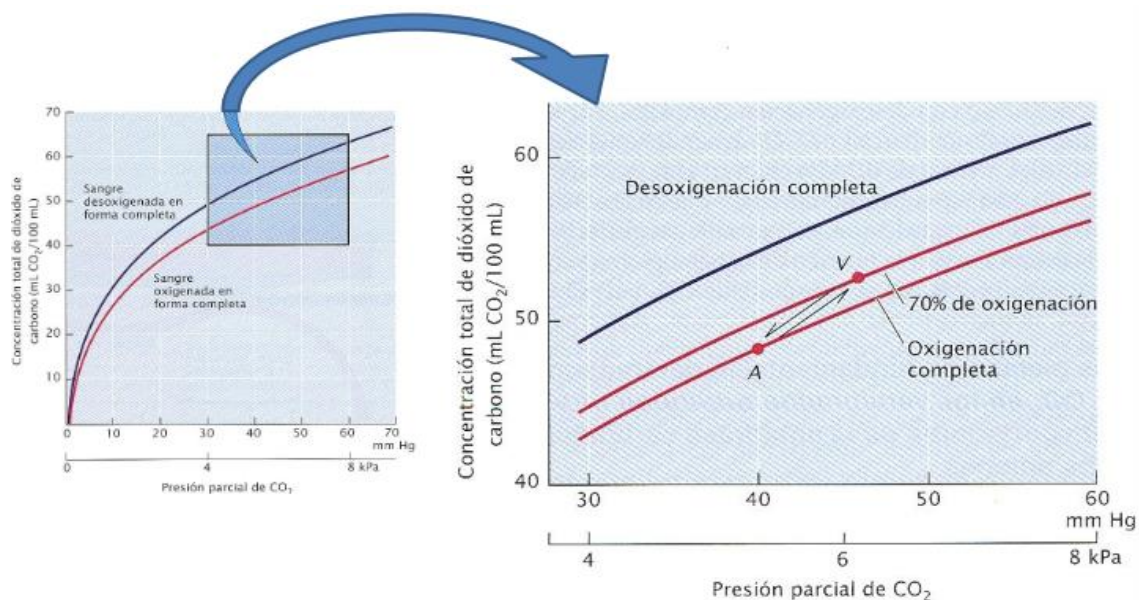
oxigenoarekiko afinitatea murriztu egiten da. Honen ondorioz, konposatu fosforilatu hauen beharra dagoen zelula eta ehunetan, oxigenoaren deskarga azkarrago emango da, konposatu hauek, bertara heltzen diren pigmentuen oxigenoarekiko afinitatea murrizten dutelako.

Temperaturak eta DFGek sorturiko efektu hau onuragarria da zelulen inguruan, zeluletarako oxigeno deskarga hobetzen delako. Arnas organoetan emateak ordea, arazoak sor ditzake, ez delako oxigenoa hemoglobinarara ondo lotzen.

HALDANE EFEKTUA

Odolak disolbatzeko daukan gaitasunari egiten dio erreferentzia. Oxigenoaren presentzian, odolak oxigenoa disolbatzen du hobeto karbono dioxidoa baino. Oxigenoaren presio partziala murriztean, CO₂a errazago disolbatzen da.

Odolak CO₂ garraiatzeko daukan gaitasuna, pigmentuaren oxigenazio mailaren arabera da. Arnas organoetan, CO₂aren disolbagarritasuna oso txikia izango da, baina zeluletan odola desoxigenatzen denez, CO₂a disolbatzeko gaitasuna emendatzen da.



Grafiko hauetan, oxigenazioan arteria eta zainetan CO₂aren presio partzialarekin zer gertatzen den ikus dezakegu. Haldane efektuak, CO₂aren karga faboratzen du zeluletan eta birika edo brankietan CO₂aren deskarga. Neurri batean, Bohr efektuaren modukoa dela esan daiteke, baina CO₂ari aplikatua, oxigenoari ordez.

CO₂-AREN GARRAIOA

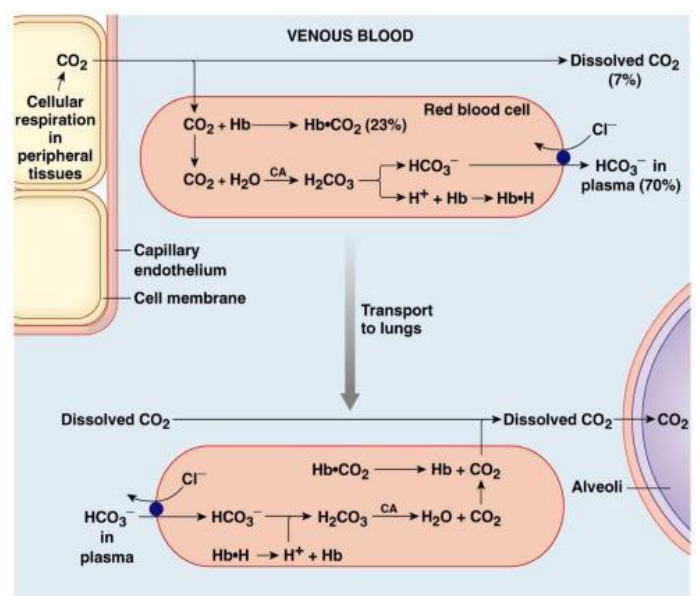
CO₂-aren %7a soilik garraiatzen da disolbatua. Hemoglobinarekin lotua %23a garraiatzen da eta gainerakoa bikarbonato modura.

Bikarbonatoa sortzeko erreakzio honetan, **anhidrasa karboniko** entzimak hartzen du parte, eta arnasketa zelularren bidez lortutako CO₂a eraldatzen du HCO₃a sortzeko.



Entzima honi esker prozesua azkarrago ematen da. Erreakzio honetan protoiak askatzen dira, media azidotzen delarik. Protoi hauek neurri altuetan hemoglobinarekin batu daitezke, pHaren aldaketa hori neutralizatuz (tanpoi baten moduan).

Biriketan, disolbatua dagoen CO₂a presioaren alde mugitzen da albeolotara. Odolean dagoen CO₂ disolbatuaren presio partzialak behera egiten duenean (albeoloetara igarotzean), aurretik aipaturiko erreakzioa kontrako noranzkoan ematen da, bikarbonatoa CO₂ bihurtuz, organismoak kanporatu ahal izateko.



8.21. Irudia. CO₂aren odolean zeharreko garraioa.