

6. Gaia: Arnas gasen trukea. Arnas medioak eta oxigeno-gertutasuna. Arnas sistemen ezaugarri orokorrak. Arnas sistema eta sistema baskularraren eboluzio bateratua.

SARRERA

Oxigenoaren garraioa modu egokian ematea oso garrantzitsua da, arnasketa mitondrialetan kateko azken hartzaila baita. Animalietan bi arnas medio bereizten dira: airea eta ura. Baina oxigenoa hartzeko mekanismoa berdina izango da.

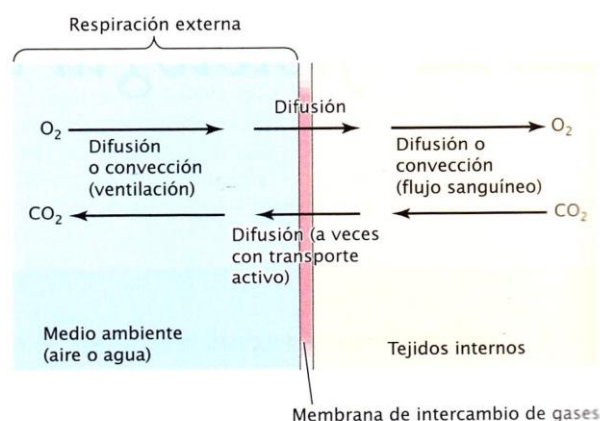
Animali gehienetan, ornodunetan batez ere, bi difusio prozesu daude oxigenoaren garraioan:

- Oxigenoa kanpo mediotik animaliaaren barne mediora pasatzea.
- Oxigenoa barne mediotik zeluletara pasatzea.

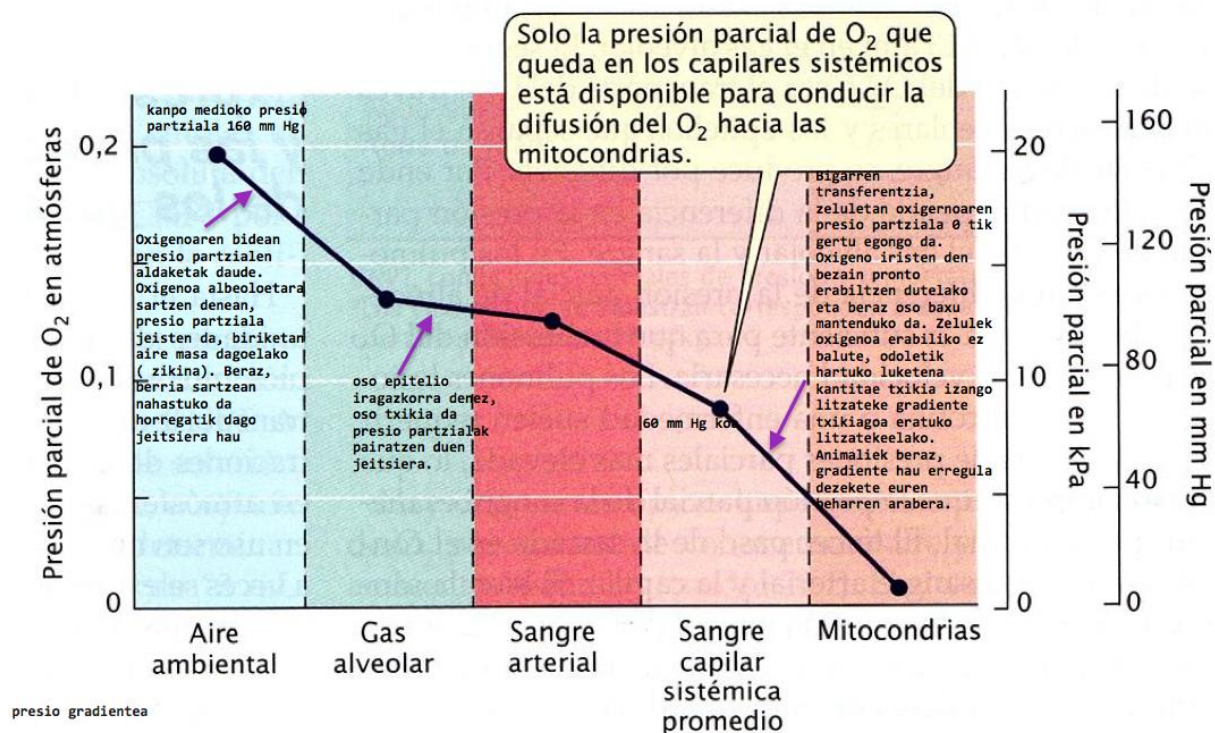
Oxigenoa beti difusioz garraiatuko da, ez dago oxigenoaren garraiatzailerik, urarekin gertatzen den bezala. Oxigenoaren difusioa emateko presio diferentzia bat egon behar da; hau da, garraioa presio partzial altuko gunetik presio partzial baxuko gunera emango da beti, gradientea mantentzen den bitartean. Presio partzial maximoa kanpo mediokoa izango da, eta minimoa zeluletakoa.

Presioaz Gainz, beste parametro fisikoak daude O₂aren difusioan:

- Mintzaren iragazkortasuna. Garrantzitsua da arnas epitelioa oso iragazkorra izatea oxigenoaren difusioa erraztu dadin, baina honek ur galera bat ekar dezake. Epitelioaren iragazkortasuna (brakien, albeoloen, kapilareen epitelioak iragazkortasun desberdinak dituzte animalia talde desberdinetan)
- Difusioaren distantzia. Difusioa eraginkorragoa izango da distantzia txikietan zehar ematen denean, distantzia handietan oxigeno asko galtzen baita bidean. Distantzia handia bada, presio altuak behar ditugu oxigenoa zeluletara heltzeko. Nahiz eta eskaria berdina izan, presio grandiente handiagoa behar dugu abiadura berdinean distantzia handira dagoen zelula batera oxigenoa pasatzeko. Aldatu daitekeen parametro fisiko bat da.



6.1. Irudia. Oxigenoa mediotik odolera pasa behar da. Ondoren odola zeluletaraino doa, bertan oxigenoa utzi eta CO₂-a jasotzen du. Azken hau brankia edo biriketaraino eramaten da kanpo mediora askatzeko.



6.2. Irudia. Oxigenoaren presio partziala murriztuz doa kanpo mediotik zeluletara bidean.

Oxigenoa beti presio handienetik txikienera pasatuko da. Kanpo medioan izango dugu presio handiena 0,2 atm inguruan, hau normoxia egoeratan izango da. Normoxia, atmosferako oxigenoaren ohiko presioari dagokio.

Odol arterialean ez da presiorik galtzen. Hala ere, bidean presio galera bat ematen da eta behin kapilaretan, non bigarren transferentzia ematen den, bai emango da presio galera bat. Zeluletan presio partzialaren balioa ia 0ra heltzen da, oxigenoa berehala kontsumitzen delako.

Prozesu osoan bi transferentzia prozesu ematen dira. Bata, kanpo mediotik sistema baskularrera arnas aparatuan ematen dena eta bigarrena, sistema baskularretik zeluletara.

- 1. Transferentzia → Airean 160 mmHg-ko presio partziala du oxigenoak eta lehenengo transferentzian, biriketara sartzean, presio partzialaren beherakada bat gertatzen da, biriketan dagoen airea oxigenoarekin "kutsatuta" dagoelako (oxigenoan txiroa den airea, 100 mmHg). Biriketatik arterietara pasatuko da oxigenoa, baina transferentzia honetan presio partzialaren beherakada txikiagoa izango da, epitelioa (endotelioa) oso iragazkorra delako. Bidean zehar oxigenoaren presio partzialak behera egiten jarraituko du.
- 2. Transferentzia → Bidean barrena presio partzialak behera egiten duenez, zeluletara heltzen den oxigenoaren presio partziala 60 mmHg-koa izango da eta Zelulen zitoplasmarena zerotik hurbil egongo da. Bertara heltzen den oxigeno guztia erabiliko da errektuntzarako. Modu horretan, oxigeno asko behar denean, transferentzia oso modu eraginkorrean emango da, bere presio partziala zelula barruan oso baxua delako. Zelulek oxigeno hori erabiliko ez balute, gradiente txikiagoa izango litzateke, oxigeno gutxiago eskuratuz.

Bi arnas medio daude: ura eta airea.

		1 atm	
	Porcentaje con respecto a todos los gases	Presión parcial en atmósferas	
Oxígeno	20,95	0,2095	
Nitrógeno	78,09	0,7809	
Argón	0,93	0,0093	
Dióxido de carbono	0,03	0,0003	
		$\Sigma = 1 \text{ atm}$	
		1 atm	

Airea ura baino aberatsagoa izango da oxigenoan. Airearen %21-a oxigenoa izango da, hau da, aire litro batean 0,209 mL oxigeno daude gutxi gora behera. Ondorioz, lehortarrek oxigeno gehiago eskuratu dezakete. Irudian airearen gasen proportzioa adierazten da eta bakoitzaren presio partziala.

Baina gogoratu transferentzia presio partzialaren arabera ematen dela, ez kontzentrazioaren arabera. Beraz, aire masa batean gas batek eragiten duen presio partziala gas horretan betetzen duenarekiko proportzionala da.

GASEN PRESIO PARTZIALAK

$$P_x = F \times P_{\text{tot}}$$

$$PO_2 = 0.2095 \times 1 \text{ atm} = 0.2095 \text{ atm}$$

$$PO_2 = 0.2095 \times 760 \text{ mm Hg} = 159,2 \text{ mm Hg}$$

$$PCO_2 = 0.0003 \times 1 \text{ atm} = 0.0003 \text{ atm}$$

$$PCO_2 = 0.0003 \times 760 \text{ mm Hg} = 0,23 \text{ mm Hg}$$

$$PN_2 = 0.7809 \times 1 \text{ atm} = 0.7809 \text{ atm}$$

$$PN_2 = 0.7809 \times 760 \text{ mm Hg} = 593,5 \text{ mm Hg}$$

Erreferentzia moduan erabiliko dugun datua oxigenoaren presio partziala 160mmHg izango da aire lehorrean eta baldintza normaletan beste edozein esaten ez den bitartean.

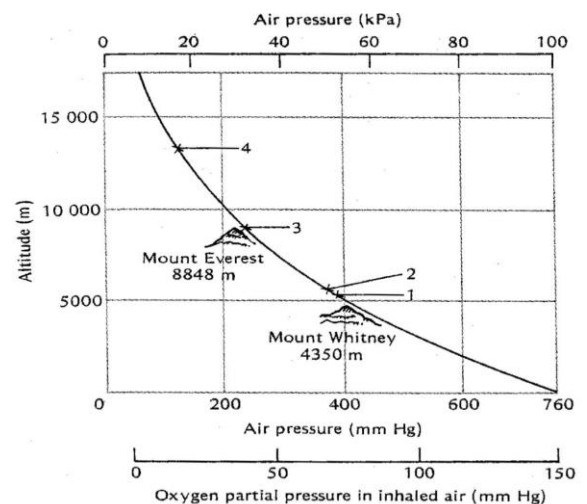
Hala ere, presio partzial hau daiteke aire-masaren presioaren arabera.

Airearen edo atmosferaren presio partziala altuerarekin (altitudearekin) murrizten da. Ondorioz, kanpoko presio partziala txikiagoa bada gehiago kostatuko zaigu oxigenoa barneratzea, presio handienetik baxura ematen baita difusioa. Hau mendi altuetan bizi diren animalientzako edo altitude handietan bizi diren hegaztientzako mugatzailea izan daiteke. Aldiz, Itsaso mailan bizi diren animali lehortarrentzat oxigenoa ez da mugatzailea izango.

$P_{O_2} \approx 160 \text{ mm Hg}$ aire lehorrean

Eskuineko irudian altueraren eta oxigenoaren presio partzialaren arteko erlazioa azaltzen da:

- 1) 5.000m-tan → aklimataturik gabe dagoen pertsona batek konortea galduko luke.
- 2) 5100m-tan → Modu egonkorrean bizi diren gizakien altuera maximoa.
- 3) Munduko punturik altuena, Everest → aklimatatutako pertsonak ordu gutxi batzuk biziraun dezaketen altuera maximoa.
- 4) 13.000m-tan → oxigeno purua arnasteko altuera maximoa. Kanpo medioarekin gradiente minimoa dago. Hortik gora gradiente kontrako izango litzateke. Baldintza horiek ez dira bizitzeko nahikoak.



GASEN SOLUGARRITASUNA

$$C_x = \alpha_x P_x$$

C_x = x gasaren kontzentrazioa

α_x = Gas horren solugarritasun koefizientea edo xurgapen koefizientea. Likido bolumen unitateak har gas bolumena, gas horren presio partziala 1 atm-koa denean.

P_x = gasaren presio partziala

(T_x = tentsio-partziala)

Airean dagoen edozein gas uretan disolbatu daiteke (burbuilarik sortu gabe). Likido desberdinek gas bat disolbatzeko duten gaitasuna desberdina da, baita gas batek likido batean disolbatzeko duen gaitasuna ere. Gas baten solugarritasuna bere solugarritasun koefizientearen (α_x) eta presio partzialaren (P_x) araberakoa da. Uretan disolbatuta dagoen gas baten presio partzialak tentsio partzial izena hartzen du.

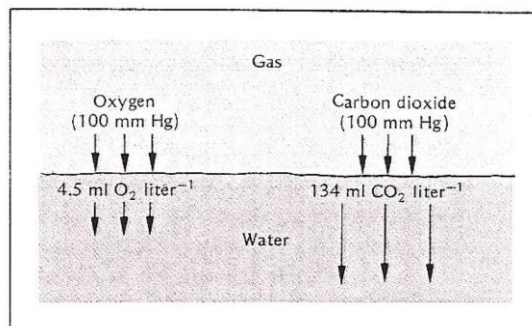
Presio partzial berdina duten bi gasek kontzentrazio desberdinetan agertzen dira uretan eta airean. Izan ere, bakoitzaren solugarritasun koefizientea desberdina da. Adibidez, oxigenoa eta karbono dioxidoa, nahiz eta biek presio partzial berdina eduki (demagun 100 mmHg), haien kontzentrazioa uretan oso desberdina da, bakoitzaren solugarritasun koefizientea (α_x) desberdina delako. Karbono dioxidoaren kasuan, presio berdina edukita ere, askoz ere kontzentrazio altuagoan dago uretan oxigenoa baino.

Kanpo medioan oxigenoaren proportzioa barne medioan baino handiagoa da. Beraz, animalia handi bati kanpo mediotik oxigenoa difusioz gorputzeko zelula danetara iristea zaila egingo zaio. Kanpoaldeko zelulek oxigenoa eskuratuko dute erraz baina aldez barnerago dauden zelulek zailtasunak izango dituzte.

6.5. IrudiaN azaltzen diren balioak temperaturarekin edo gazitasunarekin alda daitezke. Adibidez:

O₂-ren solugarritasun koefizientea (α_{O_2}):

- Ur distilatuan 0°Ctan dagoenean 49ml O₂/ur L dira. Temperatura aldatzen badugu solugarritasuna jaisten da: 20°C 31ml/L eta 40°C 23ml/L
- Uraren gazitasuna 29% bada: 0°C 40 ml/L
- Uraren gazitasuna 36% bada: 0°C 38 ml/L



6.1. Taula. Oxigenoaren solugarritasunaren balioak baldintza desberdinetan.

	Concentración de O ₂ (mL de O ₂ en CNPT/L) a una temperatura determinada		
	0 °C	12 °C	24 °C
Aire	210	200	192
Agua dulce	10,2	7,7	6,2
Agua de mar ^a	8,0	6,1	4,9

CNPT, condiciones normales de presión y temperatura.

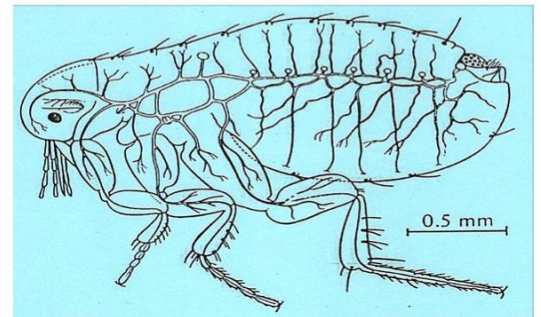
^aLos valores que se muestran corresponden a agua de mar al 100% con una salinidad de 36 g/kg.

Taularen neurketa erreala da. Temperatura behera egiten duenean, solugarritasun koefizienteak bera egiten du. Ikusten denez, airean ez dela hainbeste aldatzen.

Ondorioz, aireko animalia batek, ur gaziko eta ur gezako animaliekin konparatuz, nahiz eta presio gradiente berdina eduki, eskuratu dezaketen oxigeno kantitatea oso desberdina da.

Animaliak orokorrean, hiru taldetan bereiz daitezke, eboluzioan zehar arnas sistema eta sistema baskularraren baterazioaren ikuspuntutik:

1. ZIRKULAZIO ETA ARNAS APARATURIK EZ: Animalia hauek epiteliotik arnastuko dute baina horrek mugak ekarriko dizkie, tamaina esaterako. Kanpo mediotik, barneko zeluletarako distantzia, hau da azalaren zabalera, normalean 1mmkoa da. Izan ere, zabalera handiagoa bada, zirkulazio eta arnas aparatua beharrezkoa izango da. Hala ere, animalia batzuk oso txikiak direnez, zirkulazio eta arnas aparturen beharrik; adib platihelmiteak, oso zapalak edo zaku itxurakoak izaten dira orokorrean. Dena den, nahiko animalia gutxi ezagutzen dira arnas aparatutik gabe.
2. ZIRKULAZIO APARATUA BAI, ARNAS APARATURIK EZ: Sistema baskularra duten animalia batzuk (poliketoak, oligoketoak...) arnasa azaletik hartzen dute. Azalen inguruan zirkulazio sistema bat garatu dutenez, ez dute tamainaren inguruan hainbeste mugarik izango, oxigenoa zirkulazio aparatutik erraz mugitu daitekelako eta. Hala ere, normalean animalia hauek txikiak izango dira, baina ez oxigenoaren mugengatik, baizik eta arazo osmotikoengatik. Izan ere, epitelio iragazkorra izan behar dute oxigenoa difusioz barneratzeko, baina kutikula behar dute ura ez galtzeko. Orokorrean, geroz eta animalia handiagoa izan orduan eta kutikula handiagoa garatuko du eta honek difusioa mugatzen du. Horregatik, geroz eta txikiagoak difusioa errazagoa izango da.
3. ZIRKULAZIO APARATUA ETA ARNAS APARATUA BAI: Animalia talde gehienak talde honetan sailkatzen dira. Bi aparatuek estuki loturik egongo dira: oxigenoaren transferentzia zonalde konkretu batetan ematen da eta zirkulazio aparatuekin kontaktuan dagoenez errazagoa da difusioa. Biriketako epitelio oso iragazkorra da eta beraz, erraz pasa daiteke oxigenoa ia ur galerarik eduki gabe. Hau guztia dela eta, tamaina ez da muga bat izango eta horregatik da sistemarik eboluzionatuena.

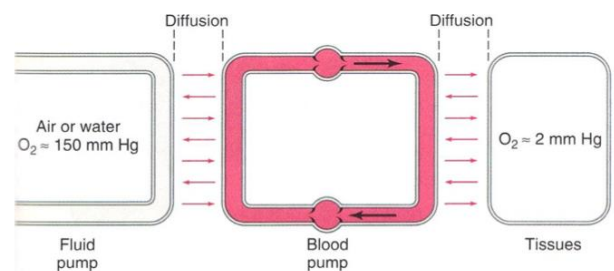


6.6. Irudia. Oxigenoaren difusioa, zirkulazio sistema baten ezean, animalien tamaina mugatzen du.

Intsektuak ez dira hiru talde hauetan sartzen. Bi sistema dituzten arren, sistemak ez daude estuki lotuta, zirkulazio sistema eta sistema trakeala. Gainera, beraien arnas-sistema, sistema trakeala, oso berezia da oxigenoa zuzenean atmosferatik zeluletara garraiotzen baitu hodian bidez.

Bi oxigeno difusio ematen dira animalia espezie gehienetan eta difusio hauek, beste parametroak ahaztu gabe, presio diferentziaren ondorioz ematen dira.

Bata, kanpo arnasketa bezala ezagutzen dena da, non animaliak kanpo mediotik, airetik edo uretik, oxigenoa zirkulazio aparatura bideratzen duen. 160 mmHg-an, baldintza normalean, dagoenez barne mediora transferituko da oxigenoa arazorik gabe, barne medioan txikiaga izango baita presioa. Difusio hauek epitelioren loditasuna eta beste hainbat faktoreen menpekora izango da (gu ez gara horretan sartuko).



6.7. Irudia. Oxigenoaren difusioa presio partzialen diferentziaren ondorioa da. Lehenabizi mediotik odolera pasatzen da eta ondoren odoletik zeluletara.

Bigarren difusioa zeluletara doa, bertan oxigenoa kontsumitzen denez, presioa oso baxua da, 0 inguruan, beraz eratuko den gradientea handia izango da.

Bi prozesu hauek baliokideak izan behar dira eta arnasten den guztia zeluletara iritsi behar da. Zelulek oxigeno gutxi kontsumitzen badute, gradientea murriztuko litzateke eta murrizpenak eragina izango luke lehenengo eta bigarren difusioan. Hau dela eta, orek bat emango da: bigarren eta lehenengo tranferentzia ematen den oxigeno trukea berdina izango da eta zeluletan ematen den oxigeno kontsumoaren arabera izango da ere.

FICK-EN KONTSERBAZIO PRINTZIBIOA

$$V_a (C_i - C_e) = V_b (C_a - C_v) = \dot{V}O_2$$

V_a: bentilazio-tasa ($V_a = f_{sc} \times \text{arnas-bolumena}$)

C_i: korrante inhalantearen O₂ kontzentrazioa

C_e: korrante exhalantearen O₂ kontzentrazioa

V_b: gastu kardiakoa ($V_b = f_c \times C$)

C_a: odol arterialaren O₂ kontzentrazioa

C_v: odol benosoaren O₂ kontzentrazioa

VO₂: Oxigeno kontsumoa

- $V_a (C_i - C_e) \rightarrow$ Lehenengo tranferentzia da, beraz kontuan hartzen dira arnas parametroak.

- $V_b (C_a - C_v) \rightarrow$ Bigarren tranferentziari dagokio, beraz, zirkulazio sistemako parametroak hartzen dira kontuan.

Azkenenean bietan oxigeno kontsumoa baliokidea da. Orduan, bat aldatzerakoan besteak ere era proportzionalan aldatuko dira.

Gogoratu VO₂ unitatea mL O₂ /h dela.

Bentilazio-tasak: (V_a) arnas medioari egiten dio erreferentzia. Kasu askotan beste izen batzuekin ere ikusiko dugu ariketetan: Uretako bentilazioari irrigazio-tasa deitzen diote eta aldiz, aireko bentilazio tasari eguraspen tasa. Aldiz, aireztapen-tasa biegi egiten die erreferentzia.

Normalean, errazagoa da aire masa batetan kanporatu eta sartzen den oxigeno kontzentrazioa kalkulatzeko, odoleko oxigeno kontzentrazioa baino.

Gogoratu, odol-fluxua (gastu kardiakoa = V_b) \rightarrow bihotzaren ponpaketa bolumena tasa denbora unitateko

Hemen azaltzen ez diren beste balioak:

Arnas organoaren erabilpen portzentajea (U%): arnas organoak airea hartzeko duen efizientziari dagokio. Hau da, arnasten duen airearen etekina.

$$U = [(C_i - C_e) / C_i] \times 100$$

Ariketaren arabera, oxigeno kontzentrazioak eman beharrean, opresio partzial emango dituzte. Kasu honetan, $U\% = [(P_i - P_e) / P_i] \times 100$ (kontzentrazioa eta presioak proportzionalak dira. Azkenean lortzen dugun balioa berdina da baina parametro desberdinak erabiltzen. Hala ere KONTUZ, $C_i - C_e \neq P_i - P_e$ EZ DIRA GAUZA BERA

Adibidez; %50-90 = arrain, poliketo, krustazeoak eta hegaztiak %100 etekina lortzera hel daitezke, korrante kontrako sistemaren bidez. Bibalbioak eta aszidiak, aldiz, U% oso txikia dute, iragazten duten ura ez delako bakarrik oxigenoa lortzeko baizik eta janaria lortzeko ere. Hau da, ponpatzen duten ur bolumen dana ez dute arnasketarako soilik erabiltzen. Lehortarretan erabilpen portzentaia orokorrean baxuagoak dira. Oxigenoa lortzea oso erraza da, kontzentrazioa 20 aldiz altuagoa baita urarekin alderatuz. Hau da korrante inhalantea, arnas aparatua sartzen dugun

airearen oxigeno kontzentrazioa 20 aldiz altuagoa da urarenarekin konparatuz, (Ci) eta ondorioz zatitzen dagoen zenbakia handiagoa izango da, U% txikiagoa emanez. $U = [(Ci - Ce)/Ci] \times 100$

Ugaztunetan, esate baterako %20 ingurukoa da oxigeno etekina, albeoloetan aire zikina (oxigenoan txiroa eta karbono dioxidoan aberatsa) dagoelako.

Ehunen ateratze portzentajea: animalia talde askotan odolean arnas pigmentuak daudenez, oxigenoaren presio eta kontzentrazioak ez dira proportzionalak. Orduan, kasu honetan ez dira baliokideak izango arnas organoaren erabiltzen portzentajearekin (U%) gertatzen den moduan.

$$\text{Ehunen ateratze portzentajea} = [(Ca - Cv)/Ca] \times 100$$

Azken bi parametro hauek moldatu daitezke, oxigeno kontsumo errregulatzeko eta oxigeno beharraren arabera aldatu daitezke. Adibidez, oxigeno eskaria emendatuko balitz aktiboago dagoelako, hori emendatzeko beste balioak emendatu beharko lirateke eta horretarako hainbat aukera daude; oxigeno sarrera berdina bada adibidez, erabilpen portzentaia (U%) edo bentilazio-tasa (Va) aldatu daiteke. Oxigeno sarrera murrizten bada, ordea, emendatu dezakete Va edo Ce murriztuz.

ADIBIDEAK

Taula honetan *Homarus vulgaris*-en datuak ditugu. Hasteko, ikusten denez, kanpoko oxigeno eskuragarritasuna murrizten da 5,8 ml-tik 2,44ra. Beraz, kasu honetan begiratu beharko dugu ea oxikomuztagarria edo oxierantzailea den. Oxikomunztagarria: kanpo medioaren oxigeno kontzentrazioa murriztean, oxigeno kontsumoa era proportzionalen murrizten da. Horrela ez balitz, oxierantzailea izango litzateke eta aurretik ikusi ditugun parametroaren bat aldatuko litzateke. Kasu honetan nola aldatzen da kanpo medioko oxigeno kontzentrazioa 2'4 aldiz murrizten da, konkretuki, 2'36.

Kanpo [O ₂] ml O ₂ /l	Va (Irrigazio-tasa) l/h	Arnas org. erabilpen %	QO ₂ ml O ₂ /g/h
5.78	9.77	31.0	0.045
4.63	9.22	36.6	0.041
3.23	9.52	47.9	0.038
2.44	9.56	55.1	0.033
T ^a (°C)	Va (Irrigazio-tasa) l/h	Arnas org. erabilpen %	QO ₂ ml/g/h
8	6.0	34.5	0.032
13.5	8.4	30.0	0.051
17.5	9.8	41.0	0.060
20.5	11.7	43.0	0.076

$VO_2 = QO_2$ baina Q agertzen bada, animaliaren tamaina ere kontuan hartzen da. Hau da, VO_2/pisua gramotan = QO_2 . VO_2 (mL O₂ /h) = QO_2 (mL O₂ /h·g)

Gastu kardiakoarekin (Vb) berdina gertatzen da, Qb da. Q-ak erabiltzen dira indibiduo edo espezie ezberdinak konpargarriak izateko euren artean beraien pisua kontuan hartzen baita

Irrigazio-tasa edo bentilazio-tasa (Va) eta erabilpen portzentajeen (U%) balioak ditugu. Irrigazio tasa, arnas organotik pasatzen den aire bolumena minutuko, ez da ia aldatzen, konstante mantentzen da (9'77-9'56). Aldiz, arnas organoaren erabilpen portzentaia ia bikoiztu egin da (6'0 -- > 11'7). Va (bentilazio tasa) da eta konstante mantentzen dela esan dugu. Orduan, nahiz eta lortzen duen oxigeno bolumena igotzen ez den, lortzen duen oxigeno horri etekin handiagoa ateratzen dio; ondorioz, oxigenoaren kontsumoaren beherapena ematen da. Hau da, emendatzen da erabilpen portzentaia (U%) mekanismoa. Ez da oxierantzaile perfektua baina erantzailea izaten jarraitzen du.

Taulan ere tenperaturaren emendioa azaltzen da. Animalia hau poikilotermoa da, hau da, animaliak bere barne medioaren tenperatura kanpo medioaren tenperaturarekin aldatzen du. Beraz erreazio kimikoak (metabolismoa orokorrean) emendatu edo bizkortzen dira eta oxigeno kontsumoa izango da erreazio kimikoen emendioaren adierazlea. Konkrétuki , arnas organoaren erabilpen portzentaia (U%) pixkat igotzen da; baina, batez ere, irrigazio-tasaren emendioa da adierazgarriena ia bikoiztu da egiten delako, eta baita ere oxigeno kontsumoa igotzearen arrazoa delako.

Tenperatura emendatzean → erreazio kimiko gehiago → oxigeno eskaria emendatzen da

Taula honetan *Gecarcinus lateralis*-aren datuak azaltzen dira, helburua: aurretik ikusitako formula (Fick-en legea) betetzen den ala ez frogatzea. Animalia urtarra den arren, brankien bidez airean ere arnasa har dezake. Oxigeno kontsumoa neurtu da errespirometo batekin eta bere oxigeno kontsumoaren emaitza $VO_2=0,023$ da mL O₂ /h da.

Errespirometroaz gain, zirkulazio eta arnas parametroak neurtu dituzte:

Bentilazio parametroak

fsc= Bentilazio maiztasuna, minutuko zenbat aire arnasten duen
 Va= Irrigazio-tasa
 Pi= presio partzial
 Pe= presio atmosferikoa

$$Va (Ci-Ce) = Vb (Ca-Cv) = VO_2$$



6.3. Taula. *Gecarcinus lateralis*-en datuak

Aire arnasketa errespirometro batetan: $VO_2 = 0.023$ ml O ₂ /min	
Bentilazio parametroak	Zirkulazio parametroak
fsc (min ⁻¹) = 186	fc (min ⁻¹) = 97
Va (ml airea/min) = 6.02	Vb (ml odol/min) = 4.1
Pi (mm Hg) = 158	Pa (mm Hg) = 80.5
Pe (mm Hg) = 154.8	Pv (mm Hg) = 25.6
	Dis. O ₂ Kap. = 1.7% vol

Zirkulazio parametroak

fc= maitzasun kardiakoa)
 Vb= gastu kardiakoa
 Pv= oxigenoaren presio benosoa eta
 Pa= oxigenoaren presio arteriala.
 Dis.O₂ Kap= odolak garraiatu dezakeen oxigeno kontzentrazio maximoa (baldintzak aipatzen ez baditu baldintza normaletan ematen da, hau da, normoxian)

Ikusiko dugu oxigeno kontsumoa zuzenean neurtuta edo arnas zein zirkulazio parametroekin neurtuta berdina dela. Horretarako, pausoka joango gara:

$$Va (Ci-Ce) = Vb (Ca- Cv) = VO_2$$

1.- $Va (Ci-Ce) = VO_2$

Animalia honek oxigenoa airetik hartzen du. Beraz, oxigenoaren presio partziala 160 mmHg-koa da (normoxian). Orduan, dakigunez, aireko oxigenoa %21-koa izango da gutxi gorabehera. Hau da, 1l airean → 209,5 ml oxigeno dugu.

Behin, 160 mmHg-ko presioan eta 209,5 ml/1L airean ~ 210 dakigula kalkulatu dezakegu Ci eta Ce eta horretarako hiruko erregela erabiliko dugu:

*Ci eta Ce lortzeko erabilpen portzentajea lortu dezakegu eta hauekin alderatu. Baina kontzentrazioa jakiteko ez digu balioko, lehen esan dugun moduan ez direlako balio berdina Pi-Pe≠ Ci-Ce.

$$C_i = P_i \cdot 158 \text{ mmHg} \times 210 / 160 \text{ mmHg} = 207,3 \text{ ml O}_2 / \text{aire 1L} = 0,2073 \text{ ml O}_2 / \text{ml aire}$$

$$C_e = P_e \cdot 154,8 \text{ mmHg} \times 210 / 160 \text{ mmHg} = 203,1 \text{ ml O}_2 / \text{aire 1L} = 0,2031 \text{ ml O}_2 / \text{ml aire}$$

$$(C_i - C_e) = (0,2073 - 0,2031) = 0,0042 \text{ ml oxigeno} / \text{ml aireko}$$

Emaitza hau taulan ematen diguten 6,02 ml aire / min (V_a) – gatik biderkatuko dugu: $6,02 \times 0,0042 = 0,0252 \text{ ml oxigeno} / \text{min}$. Gutxi gora behera errespirometroarekin zuzenean lorturiko balioa lortu dugu: $0,0252 \sim 0,023$.

$$2.- V_b (C_a - C_v) = \text{VO}_2$$

Kasu honetan, balioak lortzeko zirkulazio parametroak erabiliko ditugu. Berriro ere kontzentrazioak eman beharrean, oxigenoaren presio partzialaren datuak ematen dizkigute, benosoa eta arterila, eta baita maiztasun kardiakoa ere. Ateratze portzentajeak kalkulatu ditzazkegu, odolaren pigmentuak hartu behar ditugu eta kontuan: Ehunen ateratze portzentaia $\% = [(C_a - C_v) / C_a] \times 100$

*Hau normalean ez da $[(P_a - P_v) / P_a] \times 100$ (Pigmentuek oxigenoa garraiatzen dute baina ez badigute ezebez esaten suposatu dezakegu pigmenturik ez dagoela eta beraz baliokideak direla presio eta kontzentrazioak, hau da, presioen balioak erabiliko genituzke VO_2 ateratzeko. Baina kasu honetan, C_a eta C_v ditugunez ez dugu beste baliorik behar)

C_a = kontzentrazio arteriala \rightarrow presio arterialaren bidez kalkulatu dezakegu, oxigenoaren kapazitate disolbatua = odolak garraiatzen duen oxigeno kontzentrazioa, garraiatu dezakeen balio maximoa (hau neurtzen da oxigenoaren presio partziala 160 mmHg-koa denean). 160 mmHg-tan, odolak disolbaturik eraman dezakeen oxigeno kontzentrazio maximoa 1.7% bolumenetan $\gg 1.7 \text{ ml O}_2 / 100 \text{ ml}$ odoleko izango da. (Ez badigute egoeraren daturik ematen, baldintza normalak hartzen ditugu erreferentzia gisa).

Baina kasu honetan, gure medioa ez da 160 mmHg-koa, benan eta arterian gaudelako, beraz hiruko erregela batekin gure presioetan dauden kontzentrazioak lortuko ditugu:

$P_a = 80.5 \text{ mmHg}$ -koa baldin bada, zein izango da oxigeno kontzentrazioa? $C_a = 0,855 \text{ ml O}_2 / 100 \text{ ml}$ odoleko (%ko bolumenetan).

Eta beraz, $P_v = 25.6 \text{ mmHg} \gg C_v = 0,272 \text{ ml O}_2 / 100 \text{ ml}$ odoleko (%ko bolumenetan).

Orduan,

$$V_b (C_a - C_v) = 4,1 \times (0,855 - 0,272) = 4,1 \times 0,583 \text{ \% bol (KONTUZ!!! \%bol= zati 100)} = 4,1 \times 0,00583 = 0,0239 \text{ ml O}_2 / \text{min}$$

ONDORIOA: Oxigeno kontsumoa kalkulatzeko, arnas parametroak zein zirkulazio parametroak erabili ahal ditugu, bi balio horiek eta oxigeno kontsumoa baliokideak izanik, edozein erabili dezakegu ematen dizkiguten datuen arabera.

Taula honetan Carcinus maenas-aren datuak azaltzen dira, airean arnasteko gai den karramarroa:

Karramarroaren brankiak uretan ondo eusten dute baina airean, nahikotxo zapaltzen direnez arnas azalera murrizten da. Hori dela eta, airean lor dezakeen oxigeno kopurua txikiagoa da,

horrekin batera, organoen erabilpen portzentaia txikiagoa izango da airean. Orduan, airea medio errestriktiboa bat izango da, nahiz eta bertan [O₂] handiagoa izan.

Oxigenoaren presio partziala berdina dela suposatuko dugu bi lekutan, airean eta uretan, (ez digutelako esaten) baina oxigeno eskuragarritasuna, aldiz, ezberdina da. Lehen esan dugun moduan, airean gehiago kostako zaio arnastea bere organoak ez daudelako horretarako eginak.

Oxigenoaren presio partziala arterietan, Pa, askoz ere baxuagoa da airean (79,4tik 18,8ra jaitsi da gutxi gora behera, 4 aldiz baxuagoa) brankiak kolapsatzen dira eta oxigeno transferentziarako oztopo handiagoa dagoelako. Horrek, airean, mugatuko du odolak zeluletan utz dezakeen oxigeno kopurua, gradientea oso txikia delako.

6.4. Taula. *Carcinus maenas*-en datuak.

	Uretan	Airean
Pa (mm Hg)	79.4	18.8
Pv (mm Hg)	9.7	6.8
Ca (% vol)	0.96	0.55
Cv (% vol)	0.25	0.07
Ehunen ateratze %	74	87
Ca-Cv (%vol)	0.71	0.48
Qb (ml/Kg min)	118	203
QO₂ (mlO₂/Kg h)	49.56	58.56



Animalia honen kontzentrazio arteriala edo benetako presio partziala (Ca) baxua da airean ere 0,96 tik 0,55-ra. (Presioak eta kontzentrazioak ez dira proportzionalak eta horrek esan nahi du segurazki pigmentuak daudela odolean). Nahiz eta oxigeno gutxiago garraiatu, proportzio handiago bat pasatuko da zeluletara. Horregatik handitzen da ehunen ateratze portzentajea, 74tik 87-ra. Horrek esan nahi du airean arterietatik iristen den ia % 90a ehunetara deskargatzen dela.

Hala ere, gogoratu behar dugu datu hau proportzio bat (%) baino ez dela, hori dela eta, oso handia izan arren sartzen den airea oso txikia bada animaliak ez du oxigeno askorik lortuko!! → etekina %100 bada, izan daiteke animaliak aire oso gutxi hartzen duela eta beraz hartzen duen oxigeno kopurua oso txikia izatea. Hau da, nahiz eta ateratze portzentajea handitu den ez du konpentsatzen arterietan zegoen oxigeno portzentajea.

Nahiz eta proportzionalki ateratze % emendatu egin den, ez du lortu Ca-Cv (deskarga) berdintzea; 0,71 tik 0,48ra jaitsi da. Oxigeno kopuru txikiak eskuratzen ditu ehunak, nahiz eta etekina % altua izan. Balio absolutuetan O₂ kantitate txikiagoa lortzen dute ehunek. Baina hori konpotzeko beste mekanismo bat erabiltzen du: gastu kardiakoa (Qb moduan agertu, normalean Vb) emendatzen du 118 tik 203-ra. Gastu kardiakoa emendatzean, odol gehiago pasako da kapilareetatik. Hori dela, eta ez du soilik oxigeno kontsumoa mantenduko, igo ere egingo du (ez da normalena). 50 tik ia 60 ra igotzen da. Oxierantzaile batek oxigeno kontsumoa berdina izan beharko luke eta hau, gastu kardiakoa eta ehunen ateratze portzentajea emendatuz lortu du.

Aldaketa fisikoek oxigeno eskaria alda dezakete. Epitelioaren iragazkortasuna (aldatzen bada difusioa erraztu daiteke) gastu kardiakoa aldatu gabe oxigeno kontsumoa emendatuz. Hala ere, epitelioen iragazkortasuna ez da normalean aldatzen.

Difusioaren distantzia ere aldatu daitekeen parametro fisiko bat da. Distantzia handia bada, presio altuak behar ditugu oxigenoa zeluletara heltzeko. Nahiz eta eskaria berdina izan, presio grandiente handiagoa behar dugu abiadura berdinean distantzia handira dagoen zelula batera oxigenoa pasatzeko.

Anastomosia → organo eta ehunetatik pasatzen den odol-fluxua erregulatzeari deritzon prozesua da odol-hodiak itxita mantenduz edo beharren arabera irekiz. Organo eta ehun odolzetatuta daude, baina bertatik pasatzen den odol fluxua eraendu daiteke. Adibidez, muskuluen aktibitatea adibidez handitzen denean, oxigeno kontsumoa igotzen denez, odol hodiak irekiko dira, eta beraz, odolozapena handituko da. Aktibitate kantitaeran arabera ireki edo itxiko dira.

Muskuluen kapilare sarea normalean itxita dago eta eskaria emendatzean, ondoan dituen kapilare sarea irekiko da, beraz, muskulu zelula eta kapilareen arteko distantzia murriztuko da anastomosi eta esfinter prekapilarren bidez. Modu honetan oxigenoaren difusioa emendatuko dugu.

Atsedenetik ariketa egitera irekitzen diren kapilar-sareen kopurua 100 aldiz emendatzen da. Itxita zeudenak irekitzen dira eta beraz oxigenoak zeharkatu behar duen distantzia 100 izatetik 10 izatera pasatzen da, difusio distantzia murriztuz. Gutxieneko Pv-Pc bat egon behar da (benetako oxigenoaren presio partziala eta zelulen oxigenoaren presio partziala), hau da, animaliaaren ehunek baldintza konkretuetan duten eskaria asetzeko beharrezkoa den gradiente minimoa egon behar da.

Ondoko taula onetan hainbat animalien datuak ditu atsedenean eta ariketan:

- Akuriaren kasuan, 45 baino txikiagoa bada, ez da eskaria asetuko. Distantzia laburtzen bada, gutxieneko gradienteak 1,2mmHg izatea nahikoa da zelula danak odolzetatzeko.

Akuria	Kapilar kopurua mm²ko	Bidearen luzera	Gutxieneko (Pv-Pc)
Atsedena	30	100 (μm)	45 mm Hg
Ariketa	3000	10 (μm)	1.2 mm Hg

- Igelaren kasua ez da hain muturrekoa, distantzia murriztean oxigenoa heltzea errazagoa da, hau betiere odolak duen ezaugarriak aldatu gabe (odol parametroak aldatu gabe). Berdin iritziko da odola zeluletara. Eskariaren arabera, ez dago zertan gastu kardiakoa eta antzeko parametroak aldatu beharrik.

Igela	Kapilar kopurua mm² ko	Bidearen luzera	Gutxieneko (Pv-Pc)
Atsedena	10	180 (μm)	10 mm Hg
Ariketa	325	30 (μm)	1.2 mm Hg

- Txakurra Hipoxia egoera batean sartu zuten, bere gutxieneko presioa oxigeno kontsumoa aldatu gabe ikusteko eta, baita ere, oxigeno eskuragaritasuna murriztean. ikusteko noiz hasten diren animaliek bere beharrak asetzeari. VO₂ aldatzen hasten denean badakigu zein den bere presio partziala.

Txakurra	VO₂ (ml/kg/min)	PA	PV	Gutxieneko (Pv-Pc)
Atsedena	5	50	30	28-29 mm Hg
Ariketa	40	35	10	8-9 mm Hg

Kanpo medioko presio partziala O₂ jaistean, Pa (presio arteriala) eta Pv (presio benosoia) ere murrizten dira. Gutxieneko presio partziala atsedenean 30 mmHg ingurukoa da, hau da, txakurrak bere oxigeno beharrak asetzeko behar duen gradiente minimoa. Txakurrak bere tasa metabolikoa mantentzeko behar duen gradiente ariketa fisikoa egitean, 8-9 ra jeitsi zen. Baina zergatik murriztuko da Pv-Pc? Taula begiratuta ez dauka zentzu handirik, beraz azalpen probabileena ariketa fisikoa egiterakoan itxita zeuden kapilare batzuk ireki direla ian daiteke, oxigeno kontsumo handiago baten aurrean (40) gradiente handia mantentzea bermatzen duena. Modu horretan, oxigeno kopuru berdinen aurrean, eskari handiago bati aurre egin ahal dio txakurrak.