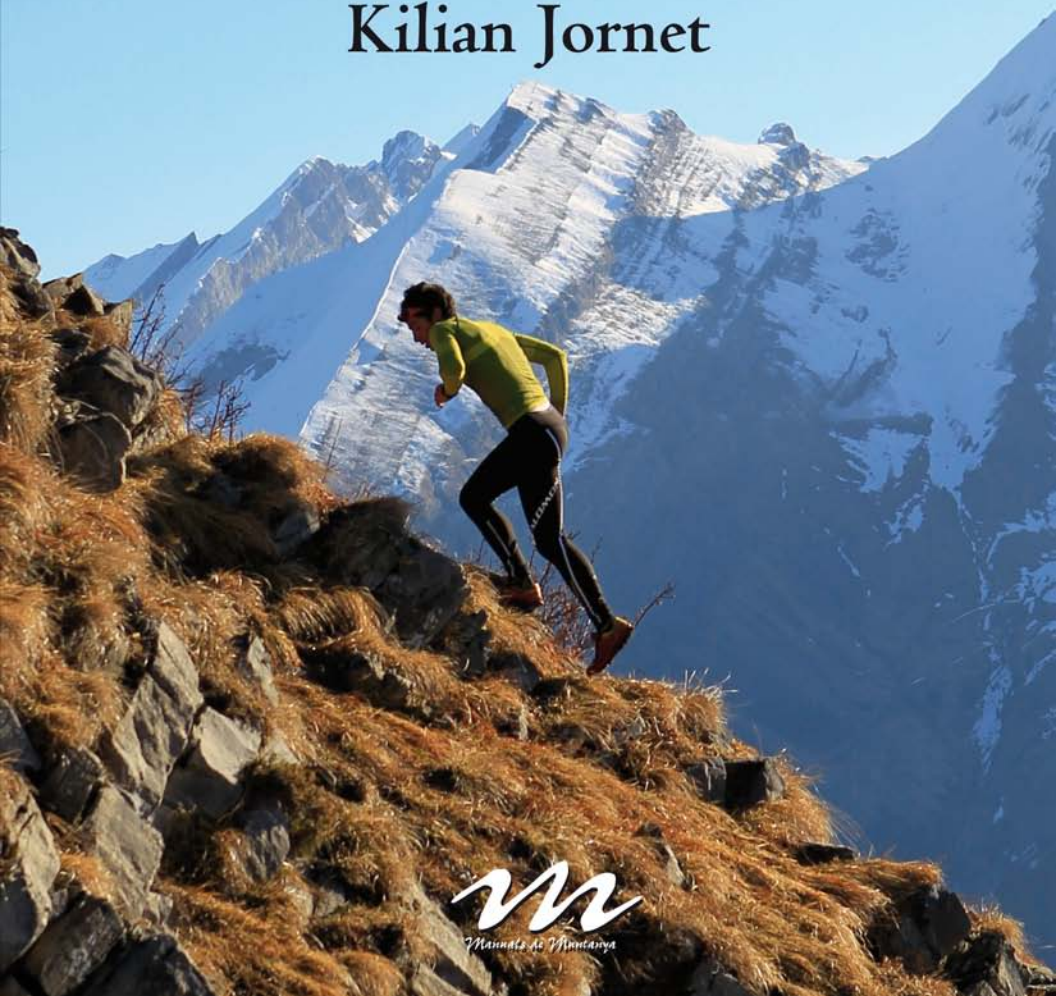


Cossetània Edicions

Fisiologia dels esports de resistència a la muntanya

Manual pràctic

Fabienne Durand
Kilian Jornet



M
Manual de Muntanya



Director de la col·lecció Manuals de Muntanya:
Joan Jover

Primera edició: juny del 2013

© Fabienne Durand i Kilian Jornet
© De Boek, Brussel·les, 2013, *Physiologie des sports d'endurance en montagne*
© Lectio Ediciones

© de l'edició:
9 Grup Editorial
Cossetània Edicions
C/ de la Violeta, 6 • 43800 Valls
Tel. 977 60 25 91 • Fax 977 61 43 57
cossetania@cossetania.com • www.cossetania.com

Traducció: Yannick Garcia

Fotografia de la portada: Monica Dalmaso

Disseny i composició: Imatge-9, SL

Impressió: Romanyà-Valls, SA

ISBN: 978-84-9034-138-4

DL T 395-2013





m

La primera edició de l'Ultra-Trail du Mont-Blanc (UTMB), amb un recorregut de 166 km i 9.500 metres de desnivell positiu, va tenir lloc el 2003. S'hi van inscriure 66 participants. Al cap de cinc anys, sobrepassaven els 6.000, de 60 nacionalitats diferents. Això demostra l'entusiasme extraordinari que ha generat aquesta evolució dels esports de resistència que podem considerar extrema.

Sabem perfectament que l'organisme presenta una plasticitat admirable, però com pot resistir o adaptar-se a aquesta mena de càrregues? Com s'ha de preparar l'atleta per encarar un repte d'aquest abast? Són aquestes les qüestions que ens descriuen la Fabienne Durand i en Kilian Jornet Burgada en aquesta obra. La lectura comença pausada, però no trigarem a accelerar el ritme com ho fariem amb una novel·la d'aventures, que és ben bé l'objectiu del llibre.

És sabut de tothom que la fisiologia aspira a comprendre íntegrament el funcionament de l'organisme. Íntegrament perquè, posem per cas, el cos no podria funcionar sense els pulmons, ni els músculs sense aquests dos òrgans. Cal anar més enllà, però; la fisiologia també es basa, potser abans de res, en les adaptacions del nostre organisme al seu medi. En aquest llibre es tenen en compte, pel cap baix, dues d'aquestes adaptacions: l'adaptació a l'exercici, a l'altura i, com sempre, la integració de tots dos conceptes: l'exercici a grans altures. De tota manera, la fisiologia és complexa: resulta útil de debò per a un esportista entendre el funcionament de les coses? No valdria més confiar aquests coneixements a l'entrenador?

Com podria un advocat defensar un acusat sense conèixer el dret fil per randa? Com podria un metge donar assistència sense conèixer les malalties? Com pot entrenar-se un atleta sense saber com funciona el seu propi organisme? En altres paraules, es tracta de «comprendre per entrenar-se millor». Però es realment comprensible? Sí, per dos motius. En primer lloc trobem l'enfocament pedagògic de l'acadèmica que, amb concisió i simplicitat, ens explica els fenòmens, il·lustrats amb figures, fotografies, etc. En acabat, tenim els «apunts» d'en Kilian, que ens explica com ha fet servir les dades fisiològiques aplicant-les sobre el terreny per tal d'optimitzar el seu entrenament, i amb quins resultats!

Ara bé, aquest llibre també és la trobada d'un atleta d'alt nivell, d'un campió, amb la seva passió: les curses de muntanya o, concretament, l'*ultra trail*. Com es pot córrer «còmodament» durant 15 o 20 hores, tenint en compte els desnivells positius (de 6.000 a 9.000 metres)? Com ens podem adaptar a la calor extrema de la Western States (entre 42 i 50 graus) o al fred de l'atletisme de muntanya? Com cal preparar-se per batre la plusmarca del Kilimanjaro (5.895 metres), que exigeix una aclimatació a la cursa de gran altura i, per tant, a les hipòxies extremes?

Així doncs, en Kilian està programat genèticament per sortir vencedor de totes aquestes curses i acumular tants rècords? Som davant d'una adaptació a la vida de muntanya al llarg d'una o de diverses generacions?

Aquest llibre tal vegada tingui la resposta. Segui quina sigui, paga la pena llegir-lo.

CHRISTIAN PRÉFAUT

Catedràtic de la Facultat de Medicina de Montpeller





m

En la darrera dècada resulta notori que molts esportistes s'interessen cada cop més per noves activitats de resistència o, en alguns casos, d'ultraresistència. Això explica que el món de les curses de muntanya es trobi en plena ebullició i que, any rere any, els corredors aconseguixin superar el que hauríem d'anomenar els límits fisiològics. En aquest sentit, la cursa de referència és l'Ultra-Trail du Mont-Blanc: 9.400 metres de desnivell positiu i uns 166 km de muntanya. De la mateixa manera, l'esquí de muntanya va pel mateix camí, tot i que és cert que més tímidament, ateses les dificultats tècniques de la pràctica, que ja és prou exigent per si mateixa. En aquest àmbit també hi ha curses absolutament mítiques, com ara la coneguda Pierre Menta: 4 jornades de cursa, amb gairebé 10.000 metres de desnivell positiu i una quinzena de collades d'alta muntanya.

De tota manera, malgrat el nivell de dificultat física i psicològica, malgrat el patiment que ningú no s'estalvia, malgrat les concessions que cal fer per entrenar específicament per a aquestes grans aventures de la resistència, en totes i cadascuna d'aquestes disciplines de muntanya hi trobem un nombre creixent d'inscrits. Alguns són pràcticament professionals, els altres són uns aficionats formidables, però tots comparteixen un somni quan s'embarquen en una aventura esportiva extrema: arribar a la meta. I, al cap d'hores d'esforços, de vegades sense descansar ni dormir, alguns hi arribaran i hauran superat els seus propis límits. D'altres abandonaran, però es prometran que la propera vegada vindran més ben preparats... Per tant, tant si es tracta d'un mer fenomen passatger lligat a l'aparició de l'ecologisme esportiu, com si responen a una necessitat real de superació d'un mateix, les activitats de resistència i d'ultraresistència inspiren respecte i de vegades permeten actualitzar tot un seguit de fonaments de la fisiologia de l'adaptació a l'exercici.

Aquesta obra, que sobretot té una vocació didàctica i pedagògica, permeatrà a tots els lectors fer-se una nova opinió de les adaptacions fisiològiques durant l'exercici de la resistència. Amb aquest objectiu, presentarem de manera clara i sintètica un conjunt d'elements que resulten essencials, tant anatòmics com fisiològics, acompanyats de múltiples figures. Abordarem les conseqüències de l'entrenament de la resistència a la muntanya a partir del funcionament dels principals sistemes que s'activen durant l'exercici, de vegades al límit entre l'esport i la salut. Mitjançant les curses de muntanya, presentarem la resistència en aquest àmbit tant des d'un pla teòric com pràctic, gràcies als comentaris del campió Kilian Jornet.

Així doncs, oferim diferents nivells de lectura, des de l'estudiant d'educació física i ciències de l'esport fins al metge esportiu, passant pels fisioterapeutes, els entrenadors, els atletes, inclosos els atletes amateurs, que hi trobaran un conjunt de coneixements científics abans d'aventurar-se en la pràctica de l'esport.





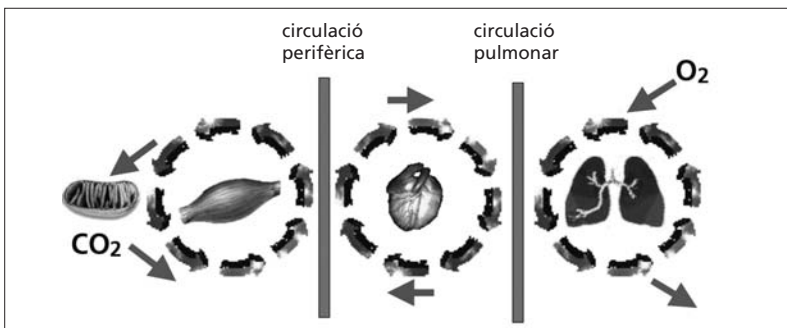
m

El cos humà és una màquina cel·lular fantàstica, organitzada perfectament en diferents nivells. Per tant, des de la cèl·lula, la unitat de vida ínfima, fins al sistema del nostre organisme, passant pels teixits i els òrgans, tot està pensat i construït per a un funcionament òptim en condicions normals, és a dir, un organisme sa i en repòs. Aquest funcionament està directament lligat a la degradació d'una molècula, l'ATP (el trifosfat d'adenosina), que permet alliberar l'energia necessària. És per això que aquesta molècula d'ATP s'ha de renovar constantment i són diverses les vies de regeneració, però la principal en condicions normals de vida, i també la més eficaç, és la fosforilació oxidativa que té lloc al mitocondri. Aquesta via fa ús de l'oxigen, que, com sabem, és un element indispensable per a la vida. Tanmateix, en els propers capítols veurem que també pot ser perillós, raó per la qual alguns autors parlen de la «paradoxa de l'oxigen». Així doncs, el recorregut de l'oxigen i el seu transport fins al mitocondri són fonamentals, sobretot en l'exercici, perquè com que els músculs actius són els que més en necessiten, els mitocondris del sistema muscular són els que més hi participen. Per tant, els diversos elements destacats, organitzats en forma de cadena, són complementaris i es representen conjuntament per mitjà d'una estructura que s'acostuma a anomenar la cadena cardiorespiratòria (Figura 1). La cadena cardiorespiratòria consta de diverses baules complementàries: la baula pulmonar, la baula cardíaca i la baula muscular, el funcionament de la qual està directament vinculat a les característiques anatòmiques i fisiològiques de cadascun dels sistemes.

2.1. La baula pulmonar

L'aparell respiratori representa la primera baula de la cadena cardiorespiratòria i està directament relacionat amb l'entorn exterior, atesa la situació anatòmica, l'estructura i la funció. Com veurem més endavant, gràcies a aquesta situació pot guardar una estreta relació amb la prevalença de determinades patologies respiratòries específiques entre els atletes de resistència.

Figura 1. Cadena cardiorespiratòria, amb les baules pulmonar, cardíaca i muscular, que representa el transport d'oxigen





m

2.1.1. Organització de l'aparell respiratori

L'aparell respiratori està format, d'una banda, per vies aèries extratoràciques o superiors, entre les quals trobem la mucosa nasal, la faringe, la laringe i la part superior de la tràquea, i de l'altra, per vies aèries intratoràciques o inferiors, amb bronquis primaris que més endavant es divideixen en bronquis secundaris, terciaris, etc., fins a arribar als bronquíols terminals. Aquesta ramificació s'amplia fins a diversos milers de bronquíols terminals, que desemboquen cadascun en diversos alvèols (Figura 2). Aquests alvèols es localitzen a la zona respiratòria de la ramificació bronquial i la seva funció és exclusivament d'intercanvi de gasos, ja que els alvèols es troben en contacte íntim amb els capil·lars pulmonars. La comunicació entre l'aire exterior i el medi interior és possible gràcies a la interfície de la barrera alveolocapil·lar. Aquesta barrera, que de fet és el fruit de la fusió de l'epiteli alveolar i l'endoteli capil·lar (Figura 3), és d'allò més sensible a les fortes pressions. De tota manera, més enllà d'aquesta organització, convé no perdre de vista que l'aparell respiratori no és res més que un conjunt d'elements, entre els quals destaquen els pulmons i el tòrax, i, lligats a aquest últim, altres peces clau, com són la caixa toràcica i el diafragma. Activant de manera integrada tots aquests elements, l'aparell respiratori pot dur a terme la seva funció principal, que és fer entrar l'aire i, per tant, l'oxigen a l'organisme.

Figura 2. Organització de la ramificació bronquial a les vies aèries inferiors, de la tràquea als alvèols

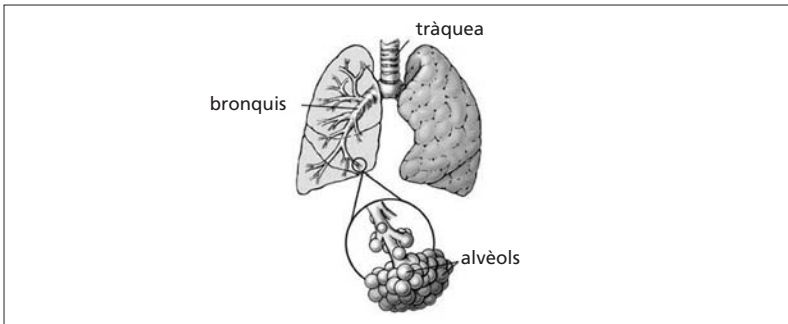
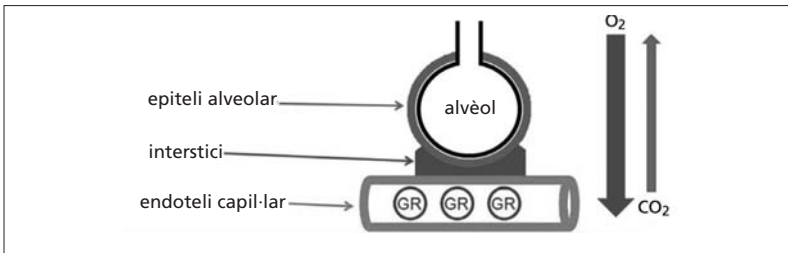


Figura 3. Estructura i funció de la barrera alveolocapil·lar





m

2.1.2. Com entra l'aire als pulmons?

L'entrada d'aire als pulmons té lloc de manera consecutiva a la inspiració, fenomen elemental de la ventilació i del cicle respiratori, juntament amb l'expiració. La inspiració ve dictada per les lleis de la mecànica ventilatòria. Tot comença, per tant, amb la contracció dels músculs inspiratoris, en especial el diafragma. Quan el diafragma es contreu, descendeix de posició, mentre que la caixa toràctica puja. Aquesta modificació geomètrica comportarà canvis de volum de la caixa toràctica i, per tant, canvis de pressió (lleis de Boyle-Mariotte). La modificació té el seu correlat en els alvèols, cosa que fa que en aquell moment la pressió alveolar (PA) sigui inferior a la pressió atmosfèrica (Patm). Els gasos que circulen de les zones d'altres pressions cap a les de baixes pressions (lleis de circulació dels gasos), el conjunt de gasos que conformen l'aire (especialment, l'oxigen, el nitrogen i el diòxid de carboni), entraran als pulmons fins que la PA s'equipari a la Patm. El fenomen invers, desencadenat per la relaxació dels músculs inspiratoris, provoca una expiració passiva. D'aquesta manera, per cada unitat de temps hi ha una quantitat d'aire que entra als pulmons, el que en diem la ventilació global (VE) (en l/min). Durant l'exercici, la VE augmenta d'acord amb la funció del cost metabòlic i la cinètica de la VE ve marcada per la presència de dues «aturades» ventilatòries que permeten establir els llindars ventilatoris, conceptes que resulten de gran utilitat per a l'entrenament dels atletes de resistència (vegeu l'Apunt 1).

Si bé la ventilació global és el resultat final, no és menys cert que la manera de fer entrar l'aire als pulmons, és a dir, la manera de ventilar, pot variar molt segons l'estat i l'entorn de cada persona. En definitiva, el règim ventilatori guarda una relació directa amb dos paràmetres ventilatoris molt importants: la freqüència respiratòria (fr, en cicles respiratoris/min) i el volum corrent (VT, en l) de tal manera que $VE = fr \times VT$. Així doncs, es pot obtenir el mateix valor de VE amb nivells diferents de fr i de VT. Quan una persona sedentària fa exercici, s'entén que l'aportació de la fr en relació amb la del VT és molt més important que si la persona està entrenada en activitats de resistència, tot i que aquest tema el reprendrem més endavant. Igualment, una persona que presenti una patologia respiratòria com ara l'asma ventilarà amb un VT feble i una fr elevada, modalitats de règim ventilatori que encara es veuran més accentuades durant l'exercici. Una altra característica de la ventilació és la seva modalitat: nasal, oronasal o només oral. La ventilació en modalitat nasal la trobem gairebé exclusivament en situacions de repòs o d'exercici d'intensitat molt baixa. Facilita la ventilació amb una bona aportació de VT. Com més alta sigui la intensitat de l'exercici, la persona, tant si és sedentària com si està entrenada, més passarà d'una ventilació oronasal a una de purament oral, i d'aquesta manera es perdrà VT, però augmentaran els valors de fr. El nivell d'entrenament del subjecte influeix el moment en què es passa a aquestes modalitats ventilatòries i, com més entrenada estigui la persona en resistència, més capaç serà de ventilar en modalitat nasal i, després, en oronasal per a intensitats més altes, habilitat que li permetrà conservar la qualitat dels intercanvis gasosos, perquè inhalarà pel nas i expirarà per la boca. La modalitat estrictament oral es reserva per a les intensitats d'activitat màximes (vegeu el testimoni d'en Kilian).





m



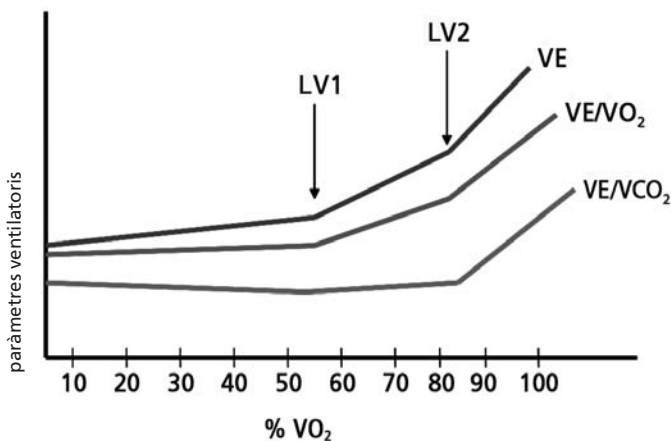
Apunt 1. Els llindars ventilatoris

N'existeixen dos i tan sols es poden determinar dues a terme una prova d'esforç màxim en què es mesura l'intercanvi gasós. Segons Wasserman, el primer llindar ventilatori (LV1) es troba en l'instant en què s'observa un primer augment net de la ventilació global (VE), un ascens de l'equivalent respiratori de l'O₂ (VE/VO₂), mentre que l'equivalent respiratori del CO₂ (VE/VCO₂) es manté constant.

Aquest llindar és concomitant a una aparició de lactats sanguinis, però també se li atribueix una funció en les catecolamines. A priori, els lactats sanguinis es tamponen seguint l'equació $H^+ + HCO_3^- \rightleftharpoons H_2CO_3$ inestable $\rightleftharpoons H_2O + CO_2$, que es desencadena i estimula el VE, per la qual cosa té lloc la primera aturada ventilatòria. Al LV1 li correspon una freqüència cardíaca que, si la fem servir de referent, ens ajudarà a mantenir el nivell físic adquirit. De fet, el sistema aeròbic no se sobrecarrega mai.

El segon llindar ventilatori (LV2) té lloc en el moment en què s'observa un segon augment net del VE, un segon ascens de VE/VO₂ i un increment de VE/VCO₂. En aquesta etapa, s'ha superat el tamponament dels lactats i té lloc l'acumulació de ions d'H⁺ que, al seu torn, estimulen el VE. Amb la freqüència cardíaca del LV2, el sistema aeròbic se sobrecarrega i aquesta sobrecàrrega ens ajuda a progressar.

Tradicionalment, el LV1 se situa, de mitjana, al 50-60% del VO₂max, i el LV2, al 70-80% del VO₂max, però convé no oblidar que els llindars cal determinar-los cas per cas i que depenen de la condició física. Un atleta entrenat en resistència trigarà més a assolir els seus llindars (LV1 cap al 70% del VO₂max i LV2 cap al 90% del VO₂max).





m

Quan inspirem, independentment de la modalitat ventilatòria, l'aire circula per les vies aèries superiors. En aquest moment les mucoses l'escalfen i l'humitegen, cosa que contribueix a reduir la pressió parcial dels gasos que conté l'aire ambient i, sobretot, la de l'oxigen. D'aquesta manera, la pressió parcial de l'O₂ de l'aire ambient està directament vinculada a la Patm i a la concentració d'oxigen a l'aire, és a dir, una constant equivalent al 20,95% seguint la proporció $PpO_2 = Patm \times 20,95\%$ (les pressions s'indiquen en mmHg). La Patm varia segons l'altitud, però si ens situem al nivell del mar, de mitjana la Patm serà de 760 mmHg i la PpO₂ de 159 mmHg. L'escalfament i la humidificació generades pel pas per les vies aèries superiors genera vapor d'aigua i la pressió inspirada de l'O₂ (PIO₂) ens la donarà l'equació: $PIO_2 = (Patm - 47) \times 20,95\%$, que a nivell del mar presenta un valor mitjà de 150 mmHg. La disminució de la pressió de l'O₂ indica el principi de la cascada de l'oxigen.

2.1.3. Com passa l'O₂ de l'aire a la sang?

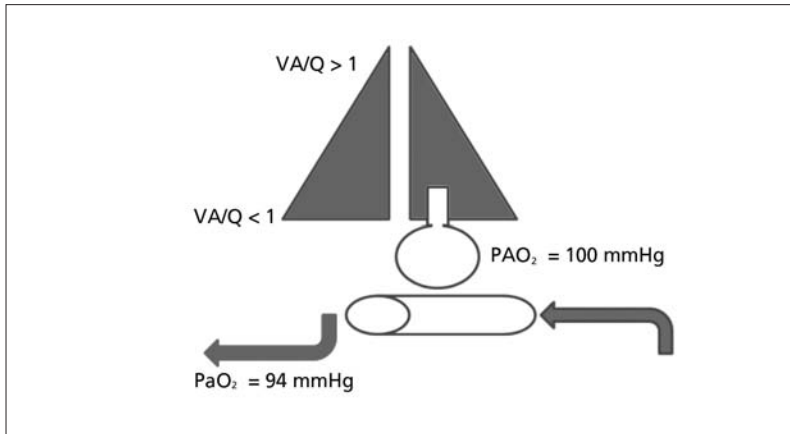
Determinades característiques del sistema respiratori fan que es donin pèrdues i que, de fet, no tot l'aire que entra als pulmons per unitat de temps arribi als alvèols. Realment, els espais morts anatòmics (aire «atrapat» a les grans vies de la zona de convecció on pràcticament no hi ha intercanvi de gasos, aproximadament uns 150 ml) i fisiològics (alvèols sense intercanvis de gasos, negligibles en persones sanes) són els responsables d'aquest fenomen que explica que la ventilació alveolar (VA) s'expressi mitjançant l'equació següent: $VA = (VT - VD) \times fr$, on VD representa la suma dels espais morts, és a dir, en última instància els espais ventilats però no perfusats. El pas de l'O₂ alveolar a la sang (intercanvis gasosos) es durà a terme per difusió. La difusió és un fenomen estrictament físic, subjecte a un seguit de factors que en condicionen el funcionament: el gradient de pressió de totes dues bandes de la membrana alveolocapil·lar, la superfície d'intercanvis i el gruix de la membrana. Des del punt de vista fisiològic, els intercanvis de gasos també depenen inexorablement de la relació existent entre la qualitat de la ventilació alveolar (VA) i la de la perfusió sanguínia dels capil·lars pulmonars associats (Q): la relació VA/Q. Es caracteritza per la seva manca d'homogeneïtat, segons les zones geogràfiques del pulmó (alt-baix); per tant, aquesta relació presenta un «regionalisme» en els intercanvis gasosos. Es tracta d'un concepte d'importància fisiopatològica i, tot i semblar especialitzat, ho és menys quan tenim en compte el funcionament global de l'individu, perquè al capdavant, malgrat les diferències regionals i les pèrdues de vegades notables, els intercanvis de gasos es desenvolupen amb força correcció i garanteixen una pressió arterial d'O₂ (PaO₂) mitjana d'aproximadament 94 mmHg a nivell del mar en subjectes joves sans (és cert, la PaO₂ disminueix amb l'edat!). Així doncs, la diferència alveoloarterial de pressió d'O₂ [D(A-a)O₂], calculada la mitjana de tot el pulmó, equival a 6 mmHg (Figura 4). Tots aquests esdeveniments ajuden a mantenir i conclouen la cascada de l'O₂, és a dir, la caiguda de les pressions de l'O₂ de l'aire ambient a la sang arterial.





m

Figura 4. Intercanvis gasosos pulmonars



El testimoni d'en Kilian

La gestió de la respiració és clau per a l'èxit de l'atletisme de muntanya i depèn en gran mesura del tipus de cursa. En una cursa curta, com el quilòmetre vertical que dura si fa no fa 30 minuts, l'esforç és màxim i l'objectiu és generar el màxim d'energia. En aquests casos, respiro només per la boca, que deixo sempre oberta, i faig inhalacions i exhalacions profundes amb molta freqüència, procurant coordinar-les amb les passes i els cops de bastó.

En una distància mitjana, entre 2 i 5 hores, inspiro pel nas o per nas-boca, i només expiro per la boca. Segons la mena de terreny, vario: a les pujades, provo de compaginar la respiració amb les passes inspirant quan relaxo el pas i expirant quan empenyo. Les expiracions són espaiades i rítmiques; a les baixades, és menys regular i miro d'inspirar en la fase de «volada», quan els músculs estan relaxats. Durant l'impacte del peu a terra, bloquejo amb una contracció abdominal i, a l'esmoreïment, expiro. Si el descens és tècnic, amb molts salts, no és rítmic, és brusc, cosa que ja no passa des del moment en què la baixada es fa més homogènia i suau.

Per a les curses llargues de més de 10 hores (per exemple, la UTMB), l'objectiu principal és economitzar. Inspiro i expiro al màxim amb el nas, que és possible a les planes i els descensos poc pronunciats. De pujada, cal accelerar el pas, o sigui que inspiro pel nas i expiro per la boca per «optimitzar» la ventilació. En aquests casos, l'amplitud i la freqüència varien segons el pendent. Realment, la idea és relaxar-se i economitzar.





m

Índex general

PREFACI	5
1. INTRODUCCIÓ	7
2. ELS SISTEMES QUE PARTICIPEN EN L'EXERCICI	9
2.1. La baula pulmonar.....	10
2.1.1. Organització de l'aparell respiratori	11
2.1.2. Com entra l'aire als pulmons?	12
2.1.3. Com passa l'O ₂ de l'aire a la sang?	14
2.1.4. I en acabat...?	16
2.1.5. Els volums i les capacitats del sistema	16
2.2. La baula cardiovascular.....	18
2.2.1. La sang	18
2.2.2. Els vasos sanguinis	20
2.2.3. El cor.....	22
2.2.4. La fisiologia cardíaca	23
2.2.5. Capacitats del sistema	26
2.2.5.1. La freqüència cardíaca (Fc).....	26
2.2.5.2. El volum d'ejecció sistòlica (VES)	26
2.2.5.3. El cabal cardíac (Qc).....	28
2.3. La baula muscular	28
2.3.1. El múscul esquelètic	28
2.3.2. La contracció muscular.....	29
2.3.3. Els diferents tipus de fibres musculars	31
2.3.4. Els diversos metabolismes musculars.....	32
2.3.4.1. Via de la fosfocreatina.....	32
2.3.4.2. Via de la glucòlisi anaeròbica.....	33
2.3.4.3. Via de la fosforilació oxidativa o via aeròbica	33
2.3.5. Els substrats de l'esforç	34





3. L'ENTRENAMENT DE LA RESISTÈNCIA.....	37
3.1. Les adaptacions ventilatòries.....	39
3.1.1. Conseqüències de l'entrenament sobre la ventilació	39
3.1.2. Impacte sobre els llindars ventilatoris.....	39
3.1.3. Entrenament i difusió	40
3.1.4. La hipoxèmia induïda per l'exercici.....	40
3.2. Les adaptacions cardíques.....	44
3.2.1. Conseqüències morfològiques.....	44
3.2.2. Impacte sobre els paràmetres de la funció cardíaca.....	44
3.2.3. Modificacions del volum sanguini i conseqüències.....	45
3.3. Les adaptacions musculars.....	47
3.3.1. Des d'un punt de vista quantitatiu i qualitatiu	47
3.3.2. Des d'un punt de vista metabòlic	49
4. QUAN S'ACUMULA L'ESTRÈS... ..	53
4.1. L'altitud	54
4.1.1. Definicions.....	54
4.1.2. Les diferents exposicions a la hipòxia.....	56
4.1.2.1. La resposta ventilatòria a la hipòxia i la difusió alveolocapil·lar.....	57
4.1.2.2. La resposta cardíaca.....	58
4.1.2.3. Les adaptacions musculars, hormonals i metabòliques.....	59
4.1.2.4. La teoria de l'adaptació hematològica	60
4.1.3. I quan no aconseguim adaptar-nos... ..	63
4.1.3.1. Les múltiples facetes de les patologies associades a l'estrès hipòxic	63
4.1.3.2. La prevenció	66
4.1.4. I quin paper té la genètica en tot plegat?... ..	70
4.2. La termoregulació.....	72
4.2.1. Exemples de condicions de cursa i adaptacions.....	75
4.2.2. Quan l'aire és fred i sec.....	78
4.3. L'estrès oxidatiu.....	80
4.3.1. Alguns coneixements bàsics	80
4.3.1.1. Producció d'ERO per la via de la cadena respiratòria mitocondrial	81
4.3.1.2. Producció d'ERO per via de la xantina-oxidasa	82





4.3.1.3. Producció d'ERO per via de la NADPH oxidasa.....	83
4.3.1.4. Producció d'ERO per via de les NO sintases	83
4.3.1.5. Els sistemes antioxidants	83
4.3.2. Quan l'equilibri trontolla.....	84
4.3.3. Conseqüències de l'estrès oxidatiu	84
4.3.3.1. L'oxidació dels lípids	84
4.3.3.2. L'oxidació de proteïnes	85
4.3.3.3. L'oxidació de l'ADN	85
4.3.3.4. I en el pla funcional?	85
4.3.4. Estrès oxidatiu i exercici en altura	86
5. APLICACIONS TEÒRIQUES I PRÀCTIQUES PER A LES CURSES DE MUNTANYA I D'ULTRARESISTÈNCIA AMB EN KILIAN	89
5.1. Història	90
5.2. Tipologia.....	92
5.2.1. En baixa muntanya i muntanya mitjana.....	92
5.2.2. En alta muntanya	93
5.2.3. A l'exterior	93
5.3. Aplicacions gràcies a les curses mítiques d'en Kilian.....	93
5.3.1. La Ultra-Trail du Mont-Blanc (UTMB).....	94
5.3.2. La Western States (WS 100).....	95
5.3.3. La travessa dels Pirineus d'oest a est.....	96
BIBLIOGRAFIA	99

