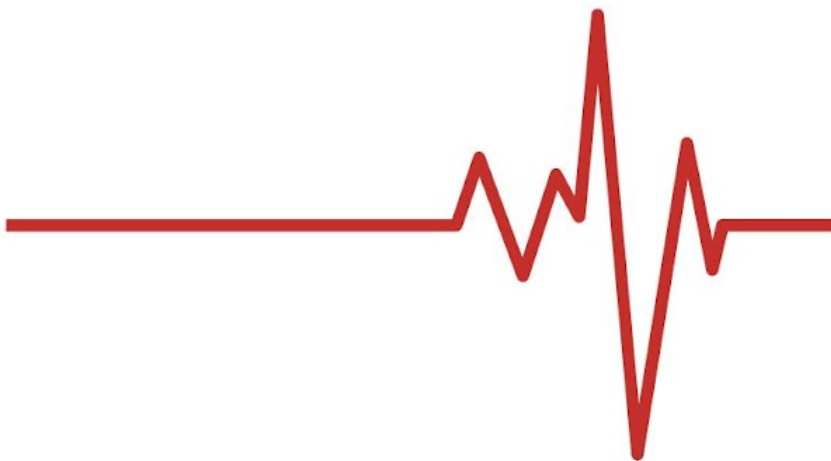


**EL COMPORTAMENT DE LA
FREQUÈNCIA CARDÍACA EN
EL TREBALL AERÒBIC I
ANAERÒBIC**



Júlia Giba Fernàndez
Tutora: Gemma del Valle
Institut de Sentmenat
Departament de Biologia
Curs 2022 - 2023

“Wherever the art of Medicine is loved, there is also a love of Humanity”

- Hipòcrates

Resum

La freqüència cardíaca és molt útil per definir la intensitat dels entrenaments d'un esportista de manera individualitzada. És essencial conèixer com actua el sistema cardiovascular i com varia la freqüència cardíaca segons el tipus d'exercici. Aquest treball de recerca pretén entendre i explicar el funcionament del cor, el batec i la freqüència cardíaca a través de l'esport. Mitjançant un seguit de proves pràctiques, posa a prova la següent hipòtesi: "El treball anaeròbic requereix un temps de recuperació de la freqüència cardíaca inferior a l'aeròbic". Els resultats d'aquestes proves confirmen la hipòtesi, i a més permeten extreure conclusions secundàries sobre com l'estil de vida i el sexe afecten la freqüència cardíaca.

Resumen

La frecuencia cardíaca es muy útil para definir la intensidad de los entrenamientos del deportista de forma individualizada. Es esencial conocer como actúa el sistema cardiovascular y como varía la frecuencia cardíaca según el tipo de ejercicio. Este trabajo pretende entender y explicar el funcionamiento del corazón, el latido y la frecuencia cardíaca a través del deporte. Mediante un seguimiento de pruebas prácticas, pone a prueba la siguiente hipótesis: "El trabajo anaeróbico requiere un tiempo de recuperación de la frecuencia cardíaca inferior al aeróbico". Los resultados de estas pruebas confirman la hipótesis, y además permiten extraer conclusiones secundarias sobre como el estilo de vida y el sexo afectan la frecuencia cardíaca.

Abstract

The heart rate is very useful for defining the intensity of workouts in a personalized manner. It is essential to understand how the cardiovascular system works and how the heart rate varies according to the type of exercise. This research project aims to explain how the heart and the heartbeat work and to discover how the heart rate behaves during exercise. Through various practical tests, it aimed to test the hypothesis "The heart rate requires less time to recover from anaerobic exercise than from aerobic exercise". The results of these tests confirmed the hypothesis and also revealed how other factors such as lifestyle and sex affect the heart rate.

Agraïments

Agrair de tot cor a tota aquella gent que m'ha estat acompanyant durant aquest llarg procés de recerca i investigació.

En primer lloc, a la meva tutora del treball, Gemma del Valle del departament de Biologia, pel seu ajut i guia durant el transcurs d'aquest treball de recerca.

Agrair també a l'epidemiòloga Gemma Navarro Rubio, de l'hospital Parc Taulí de Sabadell, pel seu consell a l'hora de plantejar la part pràctica d'aquest treball.

Al David Muntada, del departament d'Educació Física pel seu ajut i suport a l'hora de realitzar la part pràctica amb els seus alumnes de 4t d'ESO.

Sobretot agrair al Joan Sese, l'entrenador més dedicat amb qui he treballat mai, i als atletes del Club Atlètic Castellar per facilitar enormement la planificació i realització de la part pràctica del treball.

Finalment, als meus amics i família que m'han donat suport en tot moment, i han sabut motivar-me i animar-me quan més ho necessitava.

Índex

1. Introducció	6
2. El sistema cardiovascular	7
2.1 La sang	7
2.1.1 Glòbuls vermells	8
2.1.2 Glòbuls blancs	8
2.1.3 Plaquetes	8
2.1.4 Plasma	9
2.1.5 Sang arterial i sang venosa	9
2.2 Els vasos sanguinis	10
2.2.1 Artèries	10
2.2.1.1 Arterioles	11
2.2.2 Venes	11
2.2.2.1 Vènules	12
2.2.3 Capil·lars	12
2.3 El cor	13
2.3.1 Vàlvules	14
3. El batec	15
3.1 El cicle cardíac	15
3.1.1 Diàstole	15
3.1.2 Sístole	15
3.2 El node sinusal	16
3.2.1 Potencial d'acció	17
3.2.2 Sistema nerviós autònom i la seva relació amb el cor	17
3.2.3 Electrocardiograma	18
3.2.4 Despolarització i Repolarització	19
3.2.5 Lectura d'un ECG	19
3.2.5.1 Ones P	20
3.2.5.2 Complex QRS	20
3.2.5.3 Ones T	20
4. La freqüència cardíaca	21
4.1 Com sabem el límit aconsellable?	22
4.1.1 Fórmula Robson	22
4.1.2 Fórmula 220	22
4.1.3 Fórmula Tanaka	22
4.1.4 Fórmula Gulati	23

4.1.5 Fórmula Gellish	23
4.1.6 Quina fórmula és més recomanable?	23
4.1.7 Proves d'esforç	25
4.3 Què ens permet saber d'un individu?	26
4.3.1 Diferències entre edats	27
4.3.2 Diferències entre sexes	28
4.3.3 Diferències entre estils de vida	28
4.3.3.1 Estil de vida sedentari	28
4.3.3.2 Tabac	28
4.3.3.3 Alcohol	29
4.3.3.4 Medicaments	29
5. Oxigenació muscular	30
5.1 Aplicació a l'esport	31
5.1.1 Obtenció d'energia a partir d'enllaços de fosfat	31
5.1.2 Metabolisme oxidatiu anaeròbic	31
5.1.3 Metabolisme oxidatiu aeròbic	33
5.2 Enzim FIH	33
6. Treball aeròbic	34
7. Treball anaeròbic	34
8. Experimentació	36
8.1 Objectius	36
8.2 Subjectes	36
8.3 Metodologia	37
9. Resultats	38
10. Conclusions	40
10.1 Interpretació dels gràfics	40
10.2 Conclusions finals	41
11. Annex A: Taules resultats	42
12. Bibliografia	45

1. Introducció

La cardiologia sempre m'ha despertat un gran interès, és per això que he triat endinsar-me en aquest camp de la ciència per al meu treball de recerca. Les cardiopaties són un tema recurrent a casa nostra, ja que el meu pare pateix un defecte congènit de la vàlvula aòrtica la qual cosa m'ha despertat la curiositat des de ben petita.

El desembre de 2020 jo mateixa vaig experimentar petites arrítmies i sensació de taquicàrdia a l'hora de fer grans esforços físics practicant atletisme. Degut al meu historial mèdic familiar, vam anar al cardiòleg per tal d'assegurar que no hi hagués cap problema greu. Allà vaig aprendre molt sobre el comportament del cor i la freqüència cardíaca. Després d'una prova d'esforç i el monitoratge d'un holter setmanal sense troballes patològiques, una analítica va revelar que tot havia estat producte d'una anèmia. Vaig descobrir que, un important dèficit d'hemoglobina provocava el sobre esforç del cor per a poder oxigenar els teixits a l'hora de fer esport. Un parell de rondes de ferro intravenós i uns mesos de ferro per via oral van solucionar ràpidament el problema, però em van deixar amb un munt de dubtes.

A l'hora de fer esport vaig començar a parar atenció en el comportament de la meua freqüència cardíaca, i com aquesta responia als meus esforços i variava segons la intensitat d'aquests.

L'objectiu d'aquest treball és investigar el comportament del cor i com varia segons el tipus d'esforç que es planteja. Si bé la principal funció d'aquest òrgan és bombar la sang per oxigenar els teixits, com actuarà en treball aeròbic respecte l'anaeròbic? Requerirà un esforç superior a l'hora de bombar sang quan el cos no rebí oxigen? O la curta durada d'aquest mateix esforç en facilitarà el temps de recuperació i en conseqüència serà més lleuger per al cor? Per a poder resoldre els meus dubtes sobre el comportament de la freqüència cardíaca respecte al treball aeròbic i l'anaeròbic he decidit posar a prova la següent hipòtesi:

“El treball anaeròbic requereix un temps de recuperació de la freqüència cardíaca inferior a l'aeròbic.”

2. El sistema cardiovascular

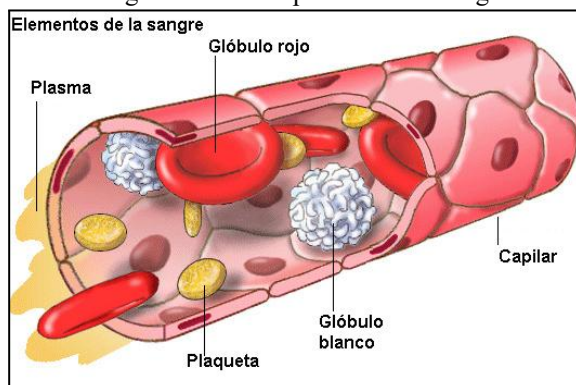
Per entendre el comportament del cor, cal entendre anteriorment el sistema del qual forma part, el sistema cardiovascular. Els altres components d'aquest sistema són els vasos sanguinis i la sang. La seva funció principal és aprovisionar als teixits les substàncies que necessiten per funcionar (principalment, oxigen i nutrients) i eliminar-ne els residus (principalment diòxid de carboni) a través de la circulació de la sang, bombejada pel cor i a través dels vasos sanguinis i la sang. El funcionament del sistema cardiovascular és molt complex i depèn de múltiples factors, tan genètics com altres relacionats amb el comportament i estil de vida, com ara la dieta, l'exercici físic, l'estrès i l'estabilitat emocional. El bon funcionament d'aquest sistema és essencial per a la salut.

2.1 La sang

És el teixit líquid que circula pels vasos sanguinis, d'aquesta manera el sistema circulatori és capaç d'exercir la funció de transport, movent substàncies com l'oxigen a través d'ella perquè aquest arribi a tots els teixits o desplaçant d'altres com ara els residus cel·lulars o el diòxid de carboni perquè siguin eliminats.

Cada individu adult conté entre 4,5 i 5 litres de sang aproximadament. Aquest teixit està format per quatre components principals: glòbuls vermells, glòbuls blancs, plaquetes i plasma (representats a la Figura 1). És important destacar que cada cèl·lula sanguínia neix de la medul·la òssia i té una funció específica.

Figura 1: Els components de la sang



Imatge de *Composición de la sangre*, via genomasur (http://www.genomasur.com/BCH/BCH_libro/capitulo_06.htm) CC0

2.1.1 Glòbuls vermells

Els glòbuls vermells, també coneguts com a hematies o eritròcits, transporten substàncies com l'oxigen dels pulmons als teixits. Representen un 45% de la composició de la sang (Figura 2).

Un component essencial d'aquestes cèl·lules és l'hemoglobina, una proteïna capaç de lligar l'oxigen. De color vermell, l'hemoglobina fa que la sang tingui aquesta mateixa coloració. Alteracions en l'hemoglobina o en els nivells d'aquesta proteïna poden tenir conseqüències crítiques per a la salut. Per exemple, nivells baixos d'hemoglobina, anomenats anèmia poden ser símptoma de malalties com leucèmia i en casos severes pot resultar en l'engrandiment del cor, la parada cardíaca i la mort. Mentre nivells massa alts, anomenats policitemia, solen resultar en desenvolupament de trombosi arterials o venoses, hemorràgies i l'esgotament de la medul·la òssia, i fins i tot poden portar al desenvolupament de càncer.

2.1.2 Glòbuls blancs

Els glòbuls blancs, també anomenats leucòcits, tenen un paper crucial en el funcionament de la resposta immunitària de l'organisme. Defensen l'organisme davant d'agents infecciosos com bacteris, virus, paràsits i fongs. Representen menys de l'1% de la composició de la sang juntament amb les plaquetes (Figura 2). A diferència dels glòbuls vermells, aquests no contenen pigmentació i degut a això s'anomenen "blancs".

2.1.3 Plaquetes

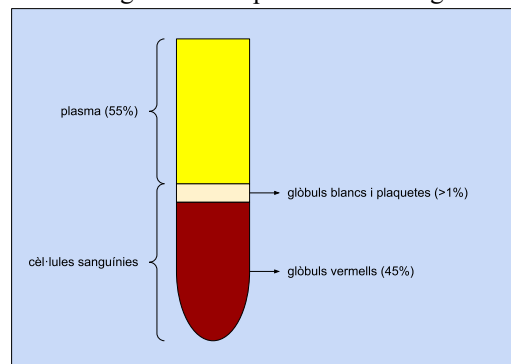
Les plaquetes o trombòcits provenen de la fragmentació d'un megacariòcit, una gran cèl·lula trobada a la medul·la òssia. Representen menys de l'1% de la composició de la sang juntament amb els glòbuls blanc (Figura 2). Les plaquetes protegeixen la paret dels vasos sanguinis mitjançant la seva participació en un procés anomenat hemostàsia, on participen juntament amb proteïnes anomenades factors de coagulació per a dur a terme la coagulació de la sang en cas de ferida, formant un "tap plaquetari" tancant la ruptura dels vasos per frenar el sagnat. A més, alliberen substàncies que faciliten la cicatrització de la ferida.

2.1.4 Plasma

El plasma és el component líquid de la sang en què les cèl·lules sanguínies es troben en suspensió. Representa un 55% de la composició de la sang (Figura 2) i està format principalment per aigua, sals minerals i proteïnes. Les proteïnes més importants són:

- Immunoglobulines, responsables de mantenir l'equilibri del sistema immunitari.
- Factors de coagulació, que actuen juntament amb les plaquetes per aturar hemorràgies.
- Albúmina, la més abundant al plasma (60%), que evita que la sang surti o travessi els vasos sanguinis i es filtri als teixits. També serveix per transportar substàncies com ara hormones o fàrmacs entre d'altres.

Figura 2: Composició de la sang



Imatge de *Composició de la sang*, d'autoria pròpia.

2.1.5 Sang arterial i sang venosa

A la sang podem trobar substàncies profitoses, com ara l'oxigen i nutrients, i substàncies de rebuig, com ho són el diòxid de carboni i els excrements metabòlics de les cèl·lules.

Segons la quantitat i el tipus de substàncies que contingui, distingim dos tipus de sang:

- Sang arterial: Es tracta d'aquella sang rica en oxigen i nutrients, la seva coloració és d'un vermell brillant i transcorre per les artèries (representades en vermell a la Figura 3).
- Sang venosa: Es tracta d'aquella sang que conté substàncies de rebuig i poc oxigen, la seva coloració és d'un vermell més fosc i transcorre per les venes (representades en blau a la Figura 4).

2.2 Els vasos sanguinis

Són conductes tubulars de parets elàstiques que porten la sang de l'organisme. En trobem de diferents tipus i mides.

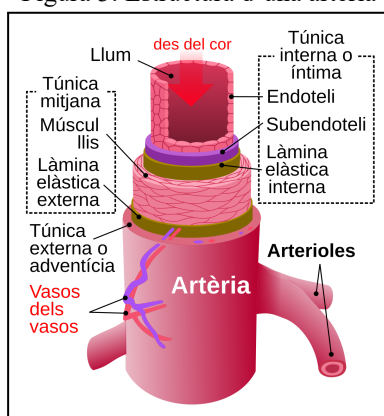
2.2.1 Artèries

Les artèries transporten la sang del cor a la resta de teixits de l'organisme. Tenen les parets gruixudes, formades per teixit conjuntiu, fibres musculars i fibres epitelials (Figura 3). La pressió de la sang a les artèries és més alta que la sang a les altres parts del sistema circulatori. La pressió arterial varia durant el cicle cardíac. És més alta quan el cor es contrau i més baixa quan el cor es relaxa; la variació de pressió produeix un pols, que es pot sentir en diferents zones del cos, com ara el pols radial a la part inferior del anell, per on passa l'artèria radial prop de la superfície.

Les artèries poden ser sistèmiques o pulmonars en funció de la sang que aquestes transportin. Les sistèmiques són aquelles que transporten sang oxigenada als teixits, mentre que les pulmonars transporten la sang desoxigenada als pulmons per a que aquesta sigui oxigenada.

Les artèries principals són l'aorta i la pulmonar, aquestes surten directament del cor i dirigeixen la sang (representades entre les més importants a la Figura 5). L'aorta té uns 25 mm de diàmetre i condueix la sang oxigenada del ventricle esquerre a tot l'organisme. L'artèria pulmonar principal, en canvi, condueix la sang desoxigenada retornada al cor dels teixits del cos fins als pulmons, on s'oxigena; aquesta fa uns 14 mm de diàmetre.

Figura 3: Estructura d'una artèria



Imatge de *Diagrama de una arteria*, de Kenvinsong, 22 març 2013, via Wikipedia (<https://es.wikipedia.org/wiki/Arteria#/media/Archivo:Arteria.svg>) CC BY-SA 3.0

2.2.1.1 Arterioles

Són petits vasos sanguinis de microcirculació, resultat de la ramificació d'artèries. Conduïxen la sang cap als capil·lars (Figura 7) i tenen un diàmetre d'entre 40 i 100 micres. Les arterioles posseeixen a les seves parets una capa de teixit muscular que permeten que aquestes es contraguin més o menys segons necessitat.

El flux i pressió arterial són el resultat de la contracció del cor juntament amb la propulsió que proporcionen les parets musculars de les artèries i les arterioles.

2.2.2 Venes

Les venes tenen l'efecte invers a les artèries: transporten la sang dels capil·lars del cos al cor. La seva paret és més fina, i moltes tenen vàlvules per assegurar que la sang circuli en el sentit adequat i no retorni en sentit contrari (estructura representada a la Figura 4).

Algunes de les venes més grans són la vena cava superior, la vena cava inferior i les venes pulmonars (representades entre les més importants a la Figura 6). La vena cava superior retorna la sang desoxigenada de la part superior del cos fins a l'aurícula dreta del cor; és curta i té un diàmetre de 20 mm. La vena cava inferior porta la sang de les extremitats inferiors i els òrgans de l'abdomen a l'aurícula dreta del cor; té un diàmetre de 16 mm. Les venes pulmonars s'encarreguen de canalitzar la sang dels pulmons a l'aurícula esquerra; tenen una mitjana de 16 mm de diàmetre.

Figura 4: Estructura d'una vena



Imatge de *Sistema venoso*, de C. Blazquez, 2012, via PDF (<https://www.uv.mx/personal/cblazquez/files/2012/01/Sistema-Venoso.pdf>) CC0

2.2.2.1 Vènules

Són petits vasos sanguinis de microcirculació, resultat de la ramificació de les venes. Tenen un diàmetre d'entre 7 µm a 1 mm, i retornen la sang dels capil·lars a les venes (Figura 7).

Figura 5: Les principals artèries del cos humà

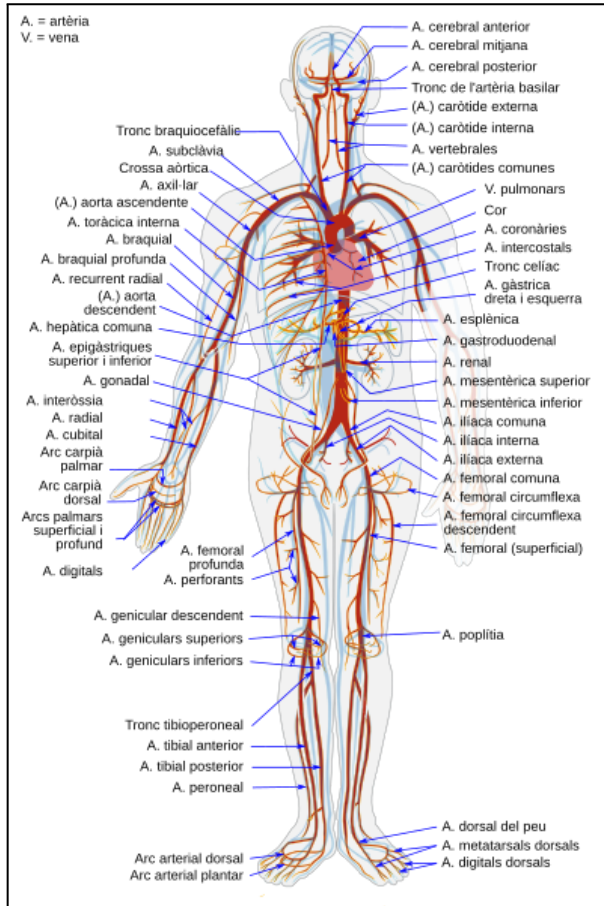
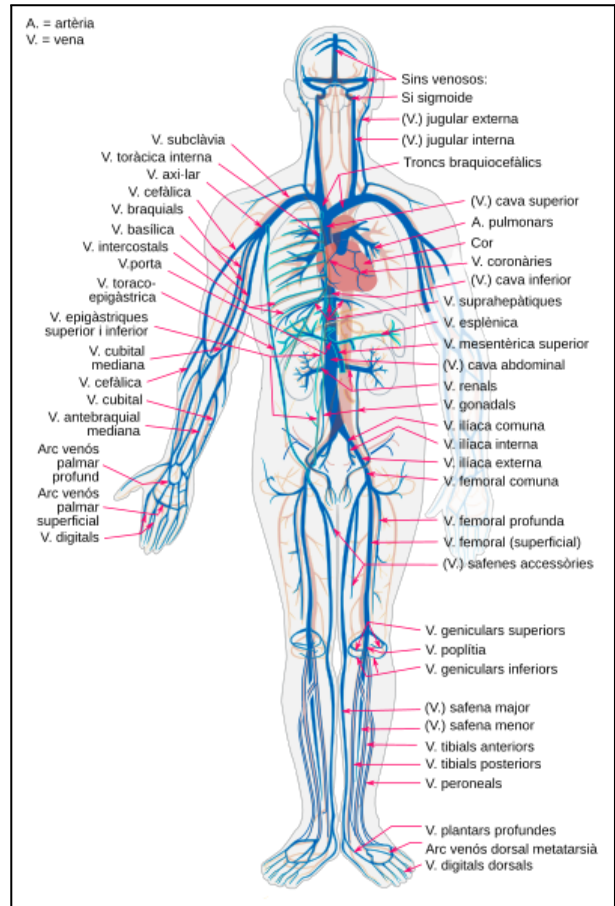


Figura 6: Les principals venes del cos humà



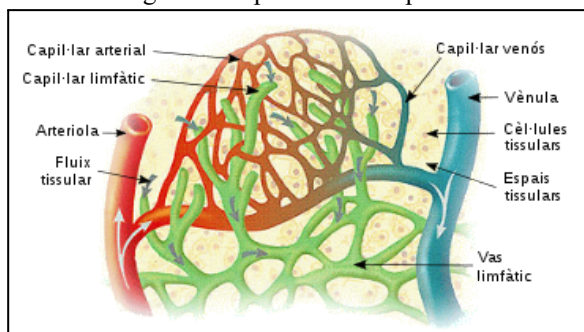
Imatge de *Diagrama de las arterias más importantes en el organismo humano*, de Edoarado, 30 gener 2012, via Wikipedia (https://es.wikipedia.org/wiki/Arteria#/media/Archivo:Arterial_System_es.svg) CC0

Imatge de *Diagrama de las venas más importantes en el organismo*, de Edoarado, 30 gener 2012, via Wikipedia (https://es.wikipedia.org/wiki/Vena#/media/Archivo:Venous_System_es.svg) CC0

2.2.3 Capil·lars

Els capil·lars són els vasos sanguinis més petits i prims, tenen entre 5 i 10 µm de diàmetre. Comuniquen les artèries amb les venes en forma de xarxa (Figura 7). Els capil·lars permeten l'intercanvi de substàncies entre la sang i les cèl·lules amb les quals està en contacte.

Figura 7: Representació capil·lars



Imatge de *Estructures de microcirculació*, de Jmarchn, 1 febrer 2016, via Viquipèdia (https://ca.wikipedia.org/wiki/Capil·lar_sanguini#/media/Fitxer:Illu_capillaries_ca.svg) CC0

En aquest intercanvi capil·lar, l'oxigen i els nutrients penetren en les cèl·lules i el diòxid de carboni i les substàncies de rebuig passaran a la sang per a la seva eliminació.

Aquest intercanvi és possible gràcies a uns petits porus que permeten l'entrada i sortida de substàncies entre l'interior i l'exterior del capil·lar. L'intercanvi de líquids està regulat per la pressió hidroestàtica¹ i la pressió osmòtica² de la sang dins del vas.

Els capil·lars permeten l'intercanvi d'aigua i petits soluts, però no de proteïnes, ja que aquestes són massa grans per a travessar els porus. Gràcies a aquest mecanisme, es produeix l'intercanvi de substàncies com ara oxigen, diòxid de carboni, glucosa, aminoàcids i hormones.

2.3 El cor

El cor és l'òrgan muscular que bomba la sang al cos, proporcionant a aquesta la força necessària per circular per l'organisme. Es troba lleugerament a l'esquerra del centre del pit i té la mida d'un puny. Està envoltat per una membrana fibrosa anomenada pericardi, que protegeix i separa el cor de la resta d'òrgans que l'envolten.

Quant a la seva estructura interna, el cor conté quatre cavitats: dues aurícules i dos ventricles.

¹ és la pressió exercida pels fluids sobre els cossos amb relació al seu pes

² és la diferència de pressió que hi ha entre un costat i l'altre d'una membrana semipermeable (com la de la gran majoria de cèl·lules) que separa dues dissolucions de concentracions diferents.

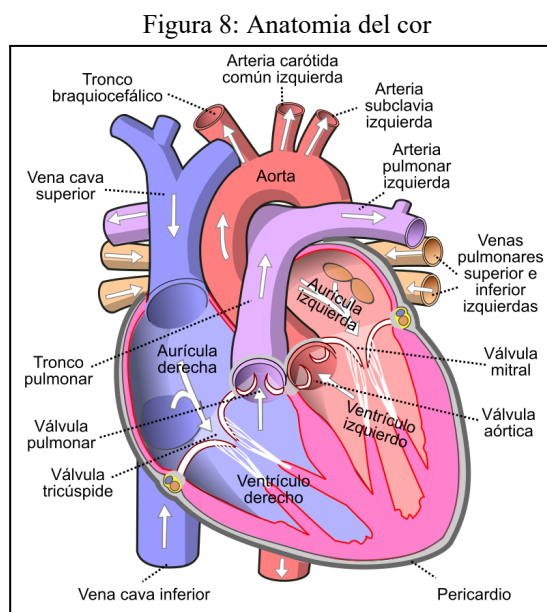
Les aurícules es troben a la part superior del cor i els ventricles a l'inferior; a les aurícules entren les venes i dels ventricles surten les grans artèries. (Figura 8)

2.3.1 Vàlvules

Per separar les dues aurícules trobem un septe³ interauricular, i un d'intraventricular per a separar els ventricles. Quan es tracta de la separació entre aurícules i ventricles, ja no trobem un septe sinó una vàlvula.

Al costat dret trobem la vàlvula auriculoventricular anomenada tricúspide, es denomina així perquè està formada per tres vàlvules. La seva obertura permet la circulació de la sang des de l'aurícula dreta al ventricle dret, i en bloqueja el retorn en sentit contrari. La vàlvula auriculoventricular esquerra s'anomena mitral, aquesta funciona igual que l'anterior, però ho fa mitjançant dues vàlvules.

També cal destacar la presència de la vàlvula pulmonar, aquesta separa el ventricle dret de l'artèria pulmonar, i dirigeix la sang cap als pulmons. Una altra vàlvula de gran importància és l'aòrtica, aquesta separa el ventricle esquerre de l'artèria aorta: dirigeix la sang cap als teixits del cos i n'impedeix el retorn en sentit contrari. (Figura 8)



Imatge de *Corazón humano*, de Rhcastilhos, 9 setembre 2010, via Wikipedia

(<https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/anatomia-del-corazon/>) CC0

³ paret que divideix una cavitat o estructura en cavitats més petites

3. El batec

El cor és l'encarregat de bombar la sang perquè aquesta arribi a tot l'organisme mitjançant la contracció d'ell mateix, aquesta contracció s'anomena batec.

3.1 El cicle cardíac

El batec és l'acció que fa el cor per a poder bombar la sang a través dels vasos sanguinis, dura un segon aproximadament, i es duu a terme en dues fases (Figura 9).

3.1.1 Diàstole

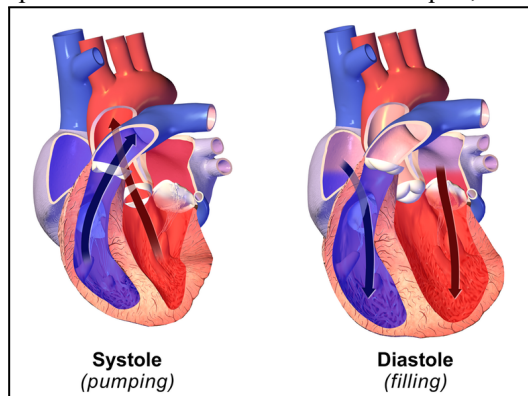
És el moment en el qual la musculatura del cor es troba relaxada, això permet que les seves cavitats s'omplin de sang procedent de les venes i que la pressió de la sang de l'individu baixi.

3.1.2 Sístole

És el moment en què la musculatura es contrau per tal d'empènyer la sang cap a les artèries, per tant, la pressió de de la sang de l'individu augmenta.

Tant les aurícules com els ventricles alternen entre els dos estats, però ho fan de manera coordinada. Perquè el funcionament del cor sigui apte, quan els ventricles estan en estat de diàstole, les aurícules estan en estat de sístole, i viceversa.

Figura 9: Representació de les contraccions cardíques, diàstole i sístole.



Imatge de *Systole vs Diastole*, de BruceBlais, 5 novembre 2015, via Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Cardiac_cycle#/media/File:Systolevs_Diastole.png) CC BY-SA 4.0

Un cop es tanquen les vàlvules tricúspide i mitral, s'obren les vàlvules pulmonars i l'aòrtica. D'aquesta manera, la sang circula de manera adequada i no retorna en el sentit contrari. El ventricle dret impulsa la sang cap als pulmons per oxigenar-la. El ventricle esquerre impulsa la sang rica en oxigen cap als teixits del cos.

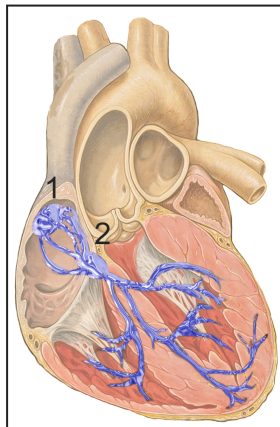
Aquest seguit de sístoles i diàstoles, tancaments i obertures de vàlvules, i estímuls elèctrics és el mecanisme que utilitza el cor perquè circuli la sang. Aquest mecanisme, a més, es regula segons les condicions en les quals es troba l'individu. En estat de repòs, l'individu tindrà menys necessitat d'oxigenar els teixits que quan està duent a terme un esforç físic. A l'hora de fer esport el ritme al que batega el cor serà més ràpid, ja que caldrà subministrar molt més oxigen al cos per millorar el rendiment muscular.

3.2 El node sinusal

Perquè el cor bategui cal que aquest rebi un impuls elèctric; el node sinusal, també conegut com a node sinoauricular, produeix aquest estímul elèctric i actua com el marcapassos natural del cor. Es troba entre l'aurícula dreta i la vena superior cava (Figura 10) i forma part de la xarxa de conducció elèctrica del cor.

Les cèl·lules del node sinusal són capaces de produir un impuls elèctric anomenat potencial d'acció que produeix la contracció de la musculatura. El node produeix potencial d'acció contínuament, i determina i estableix el ritme natural del cor convertint-se així en el seu marcapassos.

Figura 10: Node sinusal (1) i la resta del sistema conductor elèctric cardíac (2)

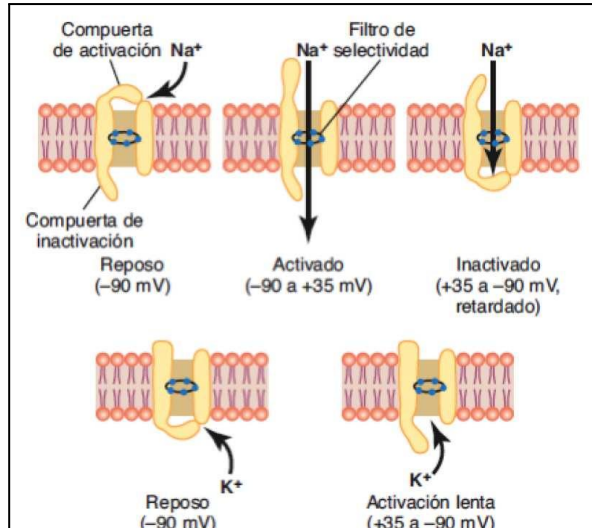


Imatge de *Heart; conduction system*, de J. Heuser, 17 febrer 2007, via Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Sinoatrial_node#/media/File:Reizleitungssystem_1.png) CC BY 2.5

3.2.1 Potencial d'acció

El potencial d'acció és una petita descàrrega elèctrica que produeix el cor per tal d'estimular la contracció de les cèl·lules musculars cardíques. Aquest es produeix a causa del moviment d'ions entre l'interior i l'exterior de la cèl·lula, que són capaços de travessar la membrana cel·lular gràcies a unes proteïnes que actuen amb un conducte anomenat canal iònic (Figura 11).

Figura 11: Intercanvi d'ions a través dels conductes iònics per crear potencial d'acció.



Imatge de *Fases del potencial de acción*, de Diego Alejandro Velasquez Rodriguez, via ISSUU (https://issuu.com/diegovelro/docs/libro_de_fisiologia_final/s/11466268) CC0

El potencial d'acció cardíac és diferent de la resta de potencials als altres músculs, ja que aquest no prové d'un impuls nerviós, sinó de l'acció d'unes cèl·lules anomenades cèl·lules miocardiocitàries localitzades al node sinusal. Produeixen entre 60 i 100 potencials d'acció per minut, cosa que provoca la contracció d'aquestes cèl·lules al ritme del potencials d'acció, el ritme d'aquest seguit de contraccions s'anomena freqüència cardíaca.

3.2.2 Sistema nerviós autònom i la seva relació amb el cor

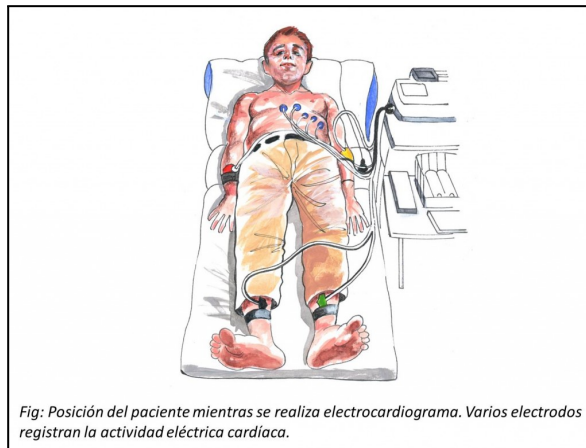
El sistema nerviós autònom està format per dos sistemes oposats. En primer lloc, el sistema nerviós simpàtic domina l'organisme davant situacions d'estrès i la resposta lluita-o-fugida. L'altre sistema és el sistema nerviós parasimpàtic, que domina el cos quan aquest està en repòs.

El sistema nerviós autònom influeix, però no controla directament la freqüència cardíaca. El sistema nerviós simpàtic disminueix el temps que es triga a produir potencial d'acció al node sinusal, resultant en l'augment de la freqüència cardíaca. El sistema nerviós parasimpàtic té l'efecte invers, augmenta el temps que es triga a produir potencial d'acció al node sinusal, resultant en la disminució de la freqüència cardíaca.

3.2.3 Electrocardiograma

Podem enregistrar el potencial d'acció gràcies a un aparell anomenat electrocardiògraf, que s'utilitza per enregistrar les senyals elèctriques que emet el cor a cada batec a través de 12 elèctrodes repartits entre el pit i les extremitats. Un ordinador registra la informació i la mostra en forma d'ones en un monitor o en paper; aquesta representació gràfica s'anomena electrocardiograma (ECG), termini que s'aplica també a la prova en si (Figura 12).

Figura 12: Pacient d'electrocardiograma



Imatge de *Posición del paciente mientras se realiza el electrocardiograma, varios electodos registran la actividad eléctrica cardíaca*, de Dr. Manuel López Pérez, 25 abril 2016, via CardiosaúdeFerrol (<http://cardiosaudeferrol.com/electrocardiograma/>) CC0

Concretament, l'electrocardiograma enregistra la despolarització i repolarització de les aurícules i els ventricles.

3.2.4 Despolarització i Repolarització

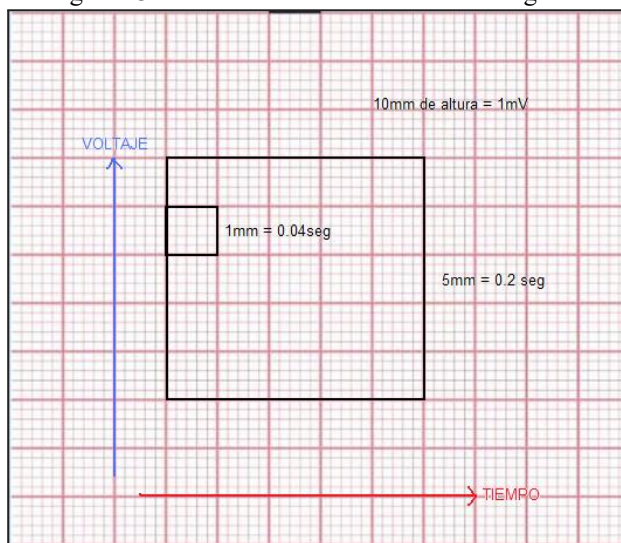
La despolarització es coneix com a l'augment de voltatge positiu al potencial d'acció, aquest es deu a l'augment del catió de sodi (Na^+) a la cèl·lula, que travessa la membrana cel·lular gràcies a l'obriment dels canals iònics. Després d'un període de demora, finalitza l'activitat del potencial d'acció.

Posteriorment, es tornen a obrir els canals iònics deixant sortir el catió de potassi (K^+), provocant el retorn del voltatge negatiu del potencial d'acció de la membrana cel·lular. Aquest procés es coneix com a renaturalització.

3.2.5 Lectura d'un ECG

La lectura d'un electrocardiograma és complexa i s'ha de dur a terme per un professional. Cada batec està representat per una ona P, un complex QRS, i una ona T (explicades a continuació); aquestes es disposen sobre el paper mil·limetrat en el qual 5 quadrats grans (de 5 mm cadascun) a l'eix de les X equivalen a 1 segon; i 10 mm a l'eix de les Y equivalen a 1 mV. La seva alçada indica el voltatge de cada ona i la seva amplada el temps que transcorre. (Figura 13)

Figura 13: Valors atribuïts a un electrocardiograma



Imatge de *El papel del electrocardiograma*, de Maria De Girodmedical, 1 febrer 2017, via Girodmedical (https://www.girodmedical.es/blog_es/como-interpretar-un-electrocardiograma/) CC0

3.2.5.1 Ones P

Són les primeres del cicle cardíac i representen la despolarització de les aurícules (Figura 14). Permeten conèixer l'interval de temps que passa entre batec i batec, aquestes no ha de superar els 0,25 mV, és a dir, 2,5 mm d'alçada i no ha de durar més de 0,11 segons en un adult. Sol tenir forma arrodonida i es representa com una línia recta entre el punt més baix i el punt més alt.

3.2.5.2 Complex QRS

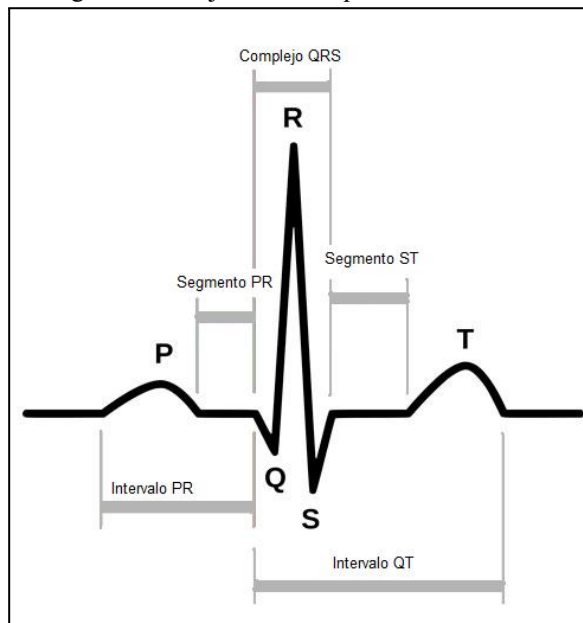
Està format per un conjunt d'ones que representen la despolarització dels ventricles. L'ona Q és la primera ona negativa del complex. El punt més alt és conegut com el punt R i es troba al mig del complex. Per últim, l'ona S és l'última del complex; és l'ona negativa que apareix després del punt R. La durada d'aquest conjunt oscil·la entre els 0,06 s i els 0,10 s.

(Figura 14)

3.2.5.3 Ones T

L'ona T representa la repolarització dels ventricles. Es reconeix com una petita ona al final del batec del cor; de forma convexa amb una longitud aproximada de 3 mm, és asimètrica i arrodonida. (Figura 14)

Figura 14: Conjunt d'ones que formen un batec



Imatge de *Electrocardiograma: Interpretación*, de Maria De Girodmedical, 1 febrer 2017, via Girodmedical (https://www.girodmedical.es/blog_es/como-interpretar-un-electrocardiograma/) CC0

4. La freqüència cardíaca

La freqüència cardíaca és el nombre de batecs que produeix el cor en un període de temps definit (normalment un minut); és a dir, el nombre de cops que es contrau el cor durant un minut (batecs per minut o bpm),

La freqüència cardíaca d'un adult sa en repòs és entre 60 i 100 bpm. Generalment, com més baix sigui aquest valor, més sa és el sistema cardiovascular de l'individu. Una manera senzilla de mesurar la freqüència cardíaca sense necessitat d'assistència mecànica és prendre el pols en l'artèria radial al canell o l'artèria caròtida al coll (Figura 15). Aquestes artèries són fàcils de palpar i, per tant, només cal pressionar-les lleugerament per notar els batecs. Si contem els batecs en aquests punts durant 15 segons i multipliquem el resultat per 4, obtindrem la freqüència cardíaca en bpm.

La freqüència cardíaca pateix grans canvis segons les necessitats de l'organisme. Un esforç físic o emocions intenses requereixen un augment de la despesa energètica i, per tant, la freqüència cardíaca s'accelera i s'adapta a aquesta. El ritme cardíac d'un adult sa fent un exercici físic rigorós és d'entre 140 i 160 bpm.

Figura 15: representació del pols en l'artèria radial al canell i l'artèria caròtida al coll



Imatge de *Frecuencia cardíaca medición*, via yoamoenfermerriablog
[\(https://yoamoenfermerriablog.com/2018/11/01/frecuencia-cardiaca-medicion/\)](https://yoamoenfermerriablog.com/2018/11/01/frecuencia-cardiaca-medicion/)

4.1 Com sabem el límit aconsellable?

El ritme cardíac pot augmentar moltíssim segons les necessitats del cos, però com tot, té un límit. Aquest límit és diferent per a cada individu i es veu fortament marcat per l'edat, la genètica i l'estil de vida. No es pot saber de manera exacta quin és, però es pot fer una estimació mitjançant diverses fórmules matemàtiques.

4.1.1 Fórmula Robson

Aquesta va ser la primera fórmula matemàtica creada per esbrinar la freqüència cardíaca màxima (FC màx.). Va ser formulada per Robson el 1938 i usa l'edat per a esbrinar la FC màx., de la següent manera:

$$FC \text{ màx.} = 212 - (0,77 \cdot \text{edat de l'individu})$$

Aquesta fórmula, però, va quedar descartada al cap dels anys degut a la millora de la tecnologia mèdica i la troballa de la seva imprecisió.

4.1.2 Fórmula 220

Aquesta és la fórmula més coneguda; també utilitza l'edat per calcular el límit de la freqüència cardíaca. La van deduir el científic Karvonen el 1957 i es calcula de la següent manera:

$$FC \text{ màx.} = 220 - (\text{edat de l'individu})$$

4.1.3 Fórmula Tanaka

També existeixen altres fórmules més precises, com la fórmula Tanaka. Tanaka deriva d'un estudi publicat en el "*Journal of the American College of Cardiology*" el 2001 després de realitzar 351 estudis diferents a més de 18.000 subjectes, pretén acostar-se més al valor FC màx. real tenint en compte factors relacionats amb els canvis que provoca l'edat a la freqüència cardíaca. Aquesta també emprava l'edat per calcular la FC màx., però ho fa de la següent manera:

$$FC \text{ màx.} = 208 - (0,7 \cdot \text{edat de l'individu})$$

4.1.4. Fórmula Gulati

Aquesta fórmula també té la intenció de ser més precisa, concretament en buscar la FC màx. per a les dones. El sexe també influeix en la FC màx., i per norma general la majoria de fórmules i estudis enfocaven la mirada cap als homes, extraient d'aquesta manera valors de FC màx. superiors a la realitat quan es tractava del sexe oposat. Per tant, tenint en compte l'anatomia femenina, la fórmula Gulati troba la FC màx. de la següent manera:

$$FC \text{ màx.} = 206 - (0,88 \cdot \text{edat de l'individu})$$

4.1.5 Fórmula Gellish

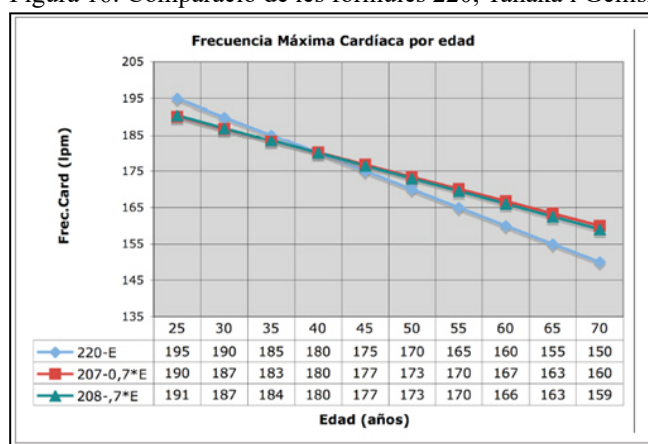
Aquesta fórmula publicada el 2007 prové de més de 25 anys de recerca a la universitat d'Oakland (Michigan) i és molt semblant a la de Tanaka. És de les més precises, ja que aquesta només compren un marge d'error d'entre ± 6 bpm i ± 10 bpm. La seva fórmula és la següent:

$$FC \text{ màx.} = 207 - (0,7 \cdot \text{edat de l'individu})$$

4.1.6 Quina fórmula és més recomanable?

Un estudi va decidir posar les anteriors fórmules a prova (excepte la de Robson, que havia quedat descartada i la de Gulati, ja que només comprenia un sexe) i va comparar-les. Els resultats obtinguts s'exposen en el següent gràfic (Figura 16)

Figura 16: Comparació de les fórmules 220, Tanaka i Gellish

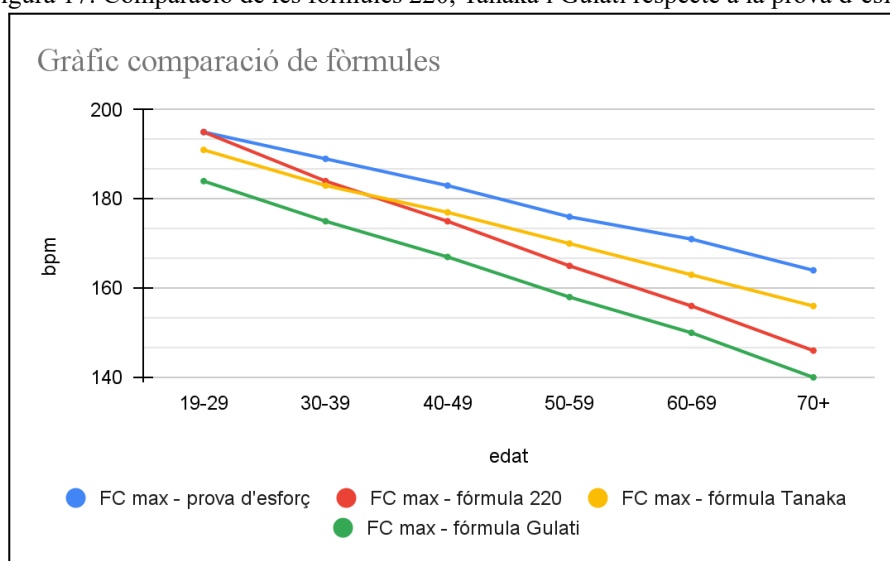


Imatge de *Estimaciones de la FC Max. en función de la edad según la fórmula de Karbonen, Gellish y Tanaka. Los 40 años resulta el momento de coincidencia de las tres fórmulas, pudiéndose observar como la fórmula de Karbonen subestima la F.C. en adultos y sobreestima la FC en jóvenes (Chiacchio, 2008).*, de Jorge Ortega Diez, 3 desembre 2014, via G-SE (<https://g-se.com/frecuencia-cardiaca-maxima-bp-057cfb26e803fc>) CC BY 2.5

El gràfic mostra la diferència de resultats entre les següents fórmules: la 220 (representada en blau), la Gellish (representada en vermell) i la Tanaka (representada en verd). Els resultats són sempre molt semblants, amb les tres fórmules coincidint al punt dels 40 anys. Els resultats de la Gellish i la Tanaka s'assemblen molt, la 220, en canvi, es diferencia més de les anteriors, subestimant la FC màx. en adults i sobreestimant-la en joves.

També es va dur a terme un segon estudi, on es va comparar la freqüència cardíaca màxima obtinguda per una prova d'esforç amb l'obtinguda a través de les fórmules 220, Tanaka i Gulati (Figura 17). Els resultats van ser els següents:

Figura 17: Comparació de les fórmules 220, Tanaka i Gulati respecte a la prova d'esforç



Imatge de *Comparació de les fórmules 220, Tanaka i Gulati respecte a la prova d'esforç*, d'autoria pròpia.

Elaborada amb dades extretes de FADE SALUDABLE

(<http://fadesaludable.es/2017/02/23/frecuencia-cardiaca-maxima-que-es-como-calcularla/>)

El gràfic mostra que els resultats obtinguts per cada fórmula són força semblants als de la prova d'esforç, però tenen tendència a subestimar la FC màx. A mesura que va augmentant l'edat, les fórmules resulten menys i menys precises, subestimen dràsticament la FC màx. Però de les tres fórmules comparades, la que s'acosta més a la realitat és la Fórmula Tanaka.

Per tant, a partir d'aquests dos estudis podem concloure que les dues fórmules més precises (tot i que també presenten un marge d'error) són la Tanaka i la Gellish.

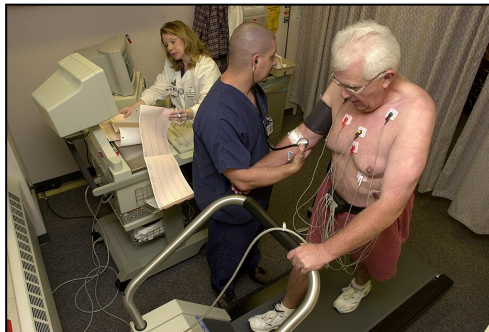
4.1.7 Proves d'esforç

El problema de les anteriors fórmules és que són el resultat d'estudis estadístics generalitzats, com a resultat, no comprenen l'individualisme de la freqüència cardíaca i es basen en generalitzacions. Ens poden donar una bona idea de la nostra FC màx., sí, però no ens la presenten en total precisió. Per això disposem de proves d'esforç.

Les proves d'esforç són una manera d'obtenir la nostra FC màx. a nivell individual, cal esmentar, però, que tot i que són més precises que les fórmules genèriques, encara presenten un marge d'error.

Consisteix a monitorar la senyal elèctrica del cor i la tensió arterial mentre s'exerceix un esforç sobre un tapis rodant o una bicicleta estàtica durant uns 15 minuts aproximadament. Per a fer-ho, es col·loquen elèctrodes al pit del pacient i es realitza un electrocardiograma, primer en repòs, després durant l'esforç físic. A més, es col·loca un manguet de pressió per mesurar la tensió arterial, igual que en el cas de la prova anterior, es fa una presa inicial en repòs, i a continuació segueix l'avaluació durant l'esforç físic. (Figura 18)

Figura 18: Prova d'esforç en cinta corredora



Imatge de *Ergometria (prueba diagnóstica)*, deStock footage taken at Beaumont Hospital, 28 octubre 2006, via Wikipedia (https://es.wikipedia.org/wiki/Ergometr%C3%ADa#/media/Archivo:Stress_test.jpg) CC0

En el cas de la cinta corredora la prova es duu a terme en intervals de 3 minuts, en els quals la velocitat i el pendent durant l'exercici aniran augmentant progressivament. L'exercici finalitzarà quan s'arribi a la freqüència màxima objectiu del pacient, o si es detecten anomalies en l'ECG i/o a la pressió arterial.

En el cas de la bicicleta estàtica, també es duu a terme en intervals de 3 minuts, en els quals la bicicleta va augmentant en 25 W i el criteri que finalitza la prova és el mateix.

També és possible que es realitzi una anàlisi de gasos, tot i que és menys comuna i se sol emprar en esportistes d'alt rendiment i professionals. Consisteix en col·locar una màscara al pacient durant l'esforç, aquesta anirà connectada a una màquina que analitzarà l'intercanvi de gasos com oxigen i diòxid de carboni, i la seva concentració. (Figura 19) També es poden analitzar els nivells de lactat de l'esportista, que permetrien veure la seva capacitat metabòlica.

Figura 19: Prova d'esforç amb anàlisi de gasos



Imatge de *Cardiopulmonary exercise test*, de Cosmed, 15 setembre 2011, via Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Cardiac_stress_test#/media/File:Ergospirometry_laboratory.jpg) CC BY-SA 3.0

Aquesta prova serveix per diagnosticar malalties de les artèries coronàries, ja que freqüentment no es poden diagnosticar en repòs i per això convé fer la prova. A partir de les condicions físiques de l'esportista i els resultats de la prova, es pot estimar de manera més precisa la FC màx., tenint en compte tots els trets individuals i característics de la salut del pacient.

4.3 Què ens permet saber d'un individu?

La freqüència cardíaca varia entre persona i persona, però existeixen factors tant genètics com ambientals que influeixen fortament en el seu comportament. A través de la freqüència cardíaca mitja d'una persona podem treure característiques generalitzades sobre el seu sexe, edat i condició física.

4.3.1 Diferències entre edats

El batec d'un infant és molt més accelerat que el d'una persona adulta. Això és degut al fet que el seu cor és immadur, conté menys cèl·lules i aquestes es troben en la mateixa disposició en l'espai que les d'un adult, per tant, la capacitat de contracció del múscul és menor a la d'un adult i bomben la sang més ràpid però amb menys intensitat. La freqüència cardíaca va disminuint a mesura que l'individu creix i el teixit cardiovascular madura.

En el cas de les persones de tercera edat (70 - 100 anys), la freqüència cardíaca varia més amb factors com l'estil de vida i la genètica, però per norma general sol ser una mica més lenta que la d'un adult més jove, entre 60 i 80 bpm.

Els valors mitjans de la freqüència cardíaca en funció de l'edat es veuen representats en la següent taula (Taula 1):

Taula 1: Comparació de freqüències cardíques amb relació a l'edat

Edat	Freqüència cardíaca normal
0 - 6 mesos	120 - 164 bpm
6 - 12 mesos	109 - 152 bpm
2 - 3 anys	92 - 128 bpm
4 - 6 anys	81 - 123 bpm
6 - 8 anys	74 - 111 bpm
8 - 12 anys	67 - 130 bpm
Adolescència	60 - 100 bpm
Adult	60 - 100 bpm
Adults de la tercera edat	60 - 80 bpm

Taula de *Comparació de freqüències cardíques amb relació a l'edat*, d'autoria pròpia, elaborada amb dades extretes de TUASAÚDE, HEALTHYCHILDREN i RESIDENCIALASMATAS (<https://www.tuasaude.com/es/frecuencia-cardiaca-en-ninos/>)(<https://www.tuasaude.com/es/frecuencia-cardiaca/>)(<https://www.healthychildren.org/Spanish/health-issues/conditions/heart/Paginas/Irregular-Heartbeat-Arrhythmia.aspx>) (<https://www.residencialasmatas.es/blog/dia-mundial-del-corazon-2017/>)

4.3.2 Diferències entre sexes

En la freqüència cardíaca també trobem diferències entre sexes, això és degut principalment a diferència entre la mida del cor. L'anatomia masculina és, per norma general, més gran que la femenina, i això s'estén a l'anatomia cardiovascular. Això és degut a l'acció de les hormones sexuals, la testosterona (present amb valors superiors en homes) promou l'engrandiment del cor i les artèries, mentre que l'estrogen (present amb valors superiors en dones) té l'efecte invers.

Les artèries engrandides dels homes permeten que hi circuli més sang, per tant, la quantitat de sang que bomben és superior a la de les dones, (63 ml sang per batec en dones i 75 ml de sang per batec en homes) i la freqüència en la qual ho fan és menor per a complir aquestes necessitats. La diferència entre homes i dones sol ser d'uns 12 bpm aproximadament, tot i que varien entre individus.

4.3.3 Diferències entre estils de vida

4.3.3.1 Estil de vida sedentari

L'estil de vida influeix directament sobre la salut tant física com mental d'una persona, i això afecta la salut cardiovascular de l'individu. Una persona amb un estil de vida sedentari pot tenir la freqüència cardíaca lleugerament més alta en repòs que la d'una persona amb un estil de vida activa, però aquesta diferència s'accentuarà fortament a l'hora de realitzar un esforç. El cos de la persona amb un estil de vida sedentari no està acostumat a dur a terme l'activitat física i, com a resposta, la seva freqüència cardíaca serà superior a la d'una persona que hi està acostumada.

4.3.3.2 Tabac

Existeixen altres factors que no influeixen directament en la freqüència cardíaca, però que empitjoren la salut cardiovascular, com ara el tabac. Segons un estudi realitzat l'any 2015 per Paul M. Nealen, del departament de biologia de la Universitat de Pennsilvània, la freqüència cardíaca en repòs d'un grup de fumadors és lleugerament més elevada que la d'un grup de no fumadors, però aquesta diferència no és prou significant per treure conclusions. El que sí que coneixem, però, és l'efecte que té el tabac sobre el sistema cardiovascular, gràcies a l'estudi

Framingham (un estudi a gran escala dut a terme a Massachusetts l'any 1948), que calcula que per cada deu cigarrets diaris que es fumen la mortalitat per malaltia cardiovascular augmenta un 18% als homes i un 31% a les dones. (Figura 20)

Figura 20: Director de l'estudi Framingham analitzant una radiografia del tòrax.



Imatge de *Thomas Royle Dawber (1913-2005), director del estudio Framingham de 1949 a 1966. Frank C. Curtin / Associated Press.*

(https://nah.sen.es/vmfiles/abstract/NAHV4N1201643_46ES.pdf) CC0

4.3.3.3 Alcohol

L'alcohol, entre altres drogues, té un efecte directe sobre la freqüència cardíaca. El sistema cardiovascular es veu afectat per l'alcohol. En el moment de beure, l'alcohol pot provocar un augment temporal de la freqüència cardíaca i la pressió arterial. A llarg termini, beure per sobre de les directrius pot provocar un augment constant de la freqüència cardíaca, pressió arterial alta, debilitat del múscul cardíac i batecs cardíacs irregulars. Tot això pot augmentar el risc d'atac de cor i accident cerebrovascular causat per l'alcohol.

4.3.3.4 Medicaments

L'ús de certs medicaments també té un enorme efecte sobre la freqüència cardíaca, i és essencial que es tingui en compte l'historial de malalties cardiovasculars del pacient a l'hora de receptar-los. Alguns medicaments amb tendència a augmentar la freqüència cardíaca en repòs són:

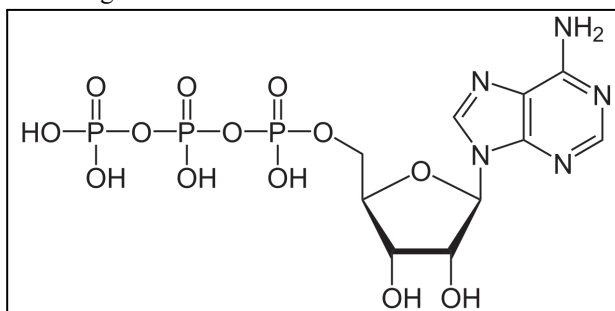
- Medicaments per l'asma
- Antibiòtics: l'azitromicina, l'amoxicil·lina, la levofloxacina i la ciprofloxacina
- Medicaments per al·lèrgies
- Medicaments per les tiroides
- Antidepressius

5. Oxigenació muscular

Perquè l'organisme treballi en condicions òptimes, cal que el cor bombi sang a la freqüència necessària amb el fi d'oxigenar els teixits. Pel que fa al rendiment muscular, és necessari que el teixit muscular rebi les quantitats necessàries d'oxigen i energia.

La molècula responsable d'aquesta energia s'anomena trifosfat d'adenosina (ATP) (Figura 21). S'obté a través la respiració cel·lular, procés que es duu a terme dins dels mitocondris. La principal font d'ATP és la glucosa. Aquesta molècula obtinguda dels aliments es degrada durant la respiració cel·lular, donant lloc a l'ATP, que permet dur a terme les reaccions bioquímiques que produïdes dins de la cèl·lula.

Figura 21: Molècula de trifosfat d'adenosina



Imatge de *Structure of adenosine triphosphate (ATP), protonated*, de NEUROtiker, 3 juny 2007, via Wikipedia (https://es.wikipedia.org/wiki/Adenos%C3%ADn_trifosfato#/media/Archivo:Adenosintrifosfat_protoniert.svg) CC0

Per a la formació d'ATP en quantitats prou grans per sostenir l'activitat muscular, és essencial la participació de l'oxigen. Si l'aportació d'oxigen no satisfà la demanda, la producció d'ATP serà menor. Si el treball que es realitza és intens i de curta durada, la quantitat d'oxigen que es rep és molt inferior a la d'un treball més llarg però menys intens, i, per tant, la producció d'energia en forma d'ATP és menor.

L'oxigen arriba al teixit muscular per mitjà dels vasos sanguinis, es troba dissolt en el plasma i s'adhereix a la proteïna hemoglobina. A mesura que es comença a fer exercici, es consumeixen aquestes reserves d'oxigen que té el teixit muscular en repòs, i la saturació d'oxigen-hemoglobina als vasos sanguinis disminueix bruscament. Necessita rebre més

oxigen per compensar aquesta pèrdua i satisfer la demanda superior del cos, per això la respiració s'accelera.

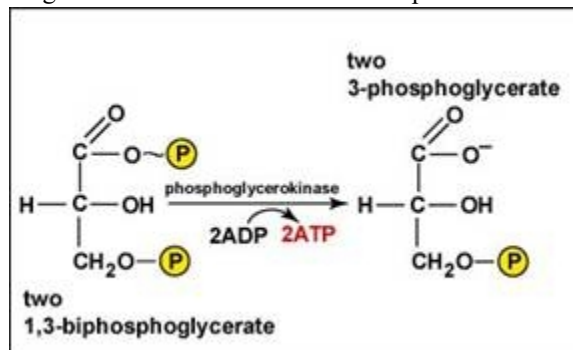
5.1 Aplicació a l'esport

A l'hora de fer esport, el teixit muscular fa servir diversos processos metabòlics per executar allò que se li demana en aquell moment.

5.1.1 Obtenció d'energia a partir d'enllaços de fosfat

Durant els primers segons de l'esforç, el teixit muscular ha de treballar de manera anaeròbica, és a dir sense oxigen, ja que el procés d'activació de les vies metabòliques oxidatives (amb oxigen) requereix més temps. Com a alternativa a l'oxigen, les cèl·lules obtenen energia dels enllaços de fosfat trobats a les reserves de fosfocreatina⁴ (Figura 22). Aquest procés és la resposta automàtica del teixit muscular, que només és sostenible durant els primers segons de l'esforç intens; com ja he mencionat, aquest no requereix oxigen, i també cal destacar que tampoc produeix àcid làctic.

Figura 22: Procés d'obtenció d'ATP per fosforilació



Imatge de *FOSFORILACIÓN A NIVEL DE SUSTRATO. FERMENTACIONES*, 15 febrer 2008, via URG.es (<https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/10energia.htm>)

5.1.2 Metabolisme oxidatiu anaeròbic

Un cop passat el període d'obtenció d'energia a partir de les reserves de fosfocreatina, el múscul comença a produir ATP de la manera estàndard, a partir de la glucosa. Sovint, però, en realitzar un esforç intens, l'oxigen que reben els teixits és insuficient per sostenir aquest mecanisme i es passa a l'obtenció d'energia a partir del metabolisme oxidatiu anaeròbic (Figura 23).

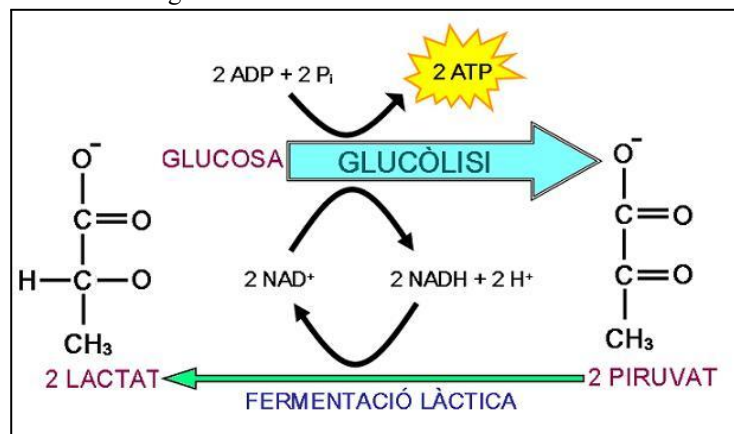
⁴compost energètic abundant al teixit muscular i encefàlic capaç de formar ATP en els primers segons d'un esforç muscular o neuronal intens

El múscul fa servir les reserves de glicogen muscular⁵ i les converteix en glucosa. Aquesta glucosa es degrada pel procés de glicòlisi i fermentació làctica, produint així l'ATP necessari per sostenir l'esforç sota baixos nivells d'oxigen. (Processos representats a la Figura 23)

La fermentació làctica aconsegueix energia perquè el múscul rendeixi amb molt poc oxigen, però com a conseqüència produeix àcid làctic. Aquest produeix acidosi làctica, condició que implica que el pH és més baix del normal en els teixits musculars i en la sang. Aquesta disminució de pH és la que causa la fatiga muscular i el que posteriorment produeix les agulletes, fruit de la cristallització d'aquest mateix àcid que s'acumula al teixit muscular.

Aquest procés d'obtenció d'energia és considerat un recurs d'emergència, es fa servir únicament en esforços anaeròbics, curts i intensos. Aquest mecanisme no és sostenible en llargs períodes de temps, ja que el rendiment energètic obtingut és molt baix en relació amb el combustible consumit, i la formació i acumulació d'àcid làctic fa que només sigui tolerable durant un curt període de temps.

Figura 23: Metabolisme oxidatiu anaeròbic



Imatge de *Formació del lactat per mitjà de la glicòlisi i de la fermentació làctica*, de BQmUB2010163, 1 gener 2010, via Viquipèdia

(https://ca.wikipedia.org/wiki/Acidosi_l%C3%A0ctica#/media/Fitxer:Lactate_formation.JPG) CC0

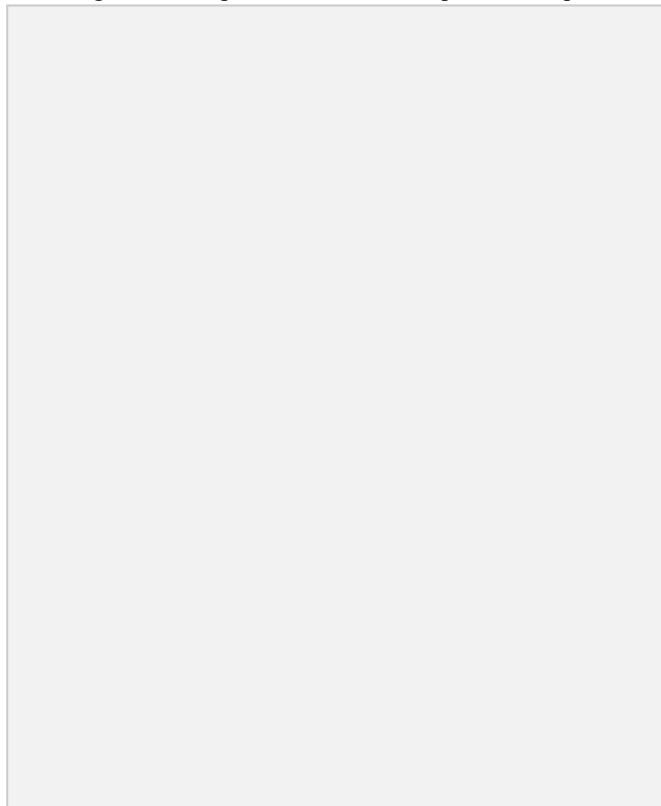
⁵ polisacàrid de reserva energètica

5.1.3 Metabolisme oxidatiu aeròbic

Si l'esforç és més llarg i menys intens, l'organisme rep més oxigen i, per tant, és capaç d'obtenir energia mitjançant vies oxidatives aeròbiques com ho són el cicle de Krebs o la fosforilació oxidativa, els compostos resultants d'aquestes reaccions són el diòxid de carboni i l'aigua.

Amb aquests processos les cèl·lules musculars obtenen el màxim rendiment energètic possible, ja que s'aporta més oxigen del que es requereix per obtenir ATP. (Figura 24)

Figura 24: Esquema vies metabòliques aeròbiques



Imatge d'Esquema vies metabòliques aeròbiques, d'autoria pròpia

5.2 Enzim FIH

Un estudi realitzat per investigadors de l'institut Karolinska, a Suècia, publicat a la revista *Cell metabolism* l'abril del 2018 va concloure que la clau per a la regulació del consum d'oxigen al teixit muscular és l'enzim FIH. Aquest enzim és l'encarregat de definir quan i com té lloc el canvi entre el metabolisme oxidatiu aeròbic i anaeròbic. L'enzim treballa

promovent un seguit de canvis que permeten adaptar-se i aprofitar al màxim els baixos nivells d'oxigen.

Aquest enzim es troba a totes les cèl·lules del cos, i en quantitats molt majors a les cèl·lules del teixit muscular, també es troba present en quantitats superiors a atletes entrenats, la qual cosa explica la seva gran capacitat de resistència i recuperació comparada amb la d'aquelles persones no entrenades.

6. Treball aeròbic

Es considera treball aeròbic aquell esforç físic que obté energia per mitjà del metabolisme oxidatiu aeròbic. Per tant, aquest consumeix una quantitat elevada d'oxigen. Per poder subministrar aquest oxigen l'organisme pateix canvis en la respiració i en la freqüència cardíaca, les quals augmenten. El treball aeròbic és considerat de resistència, ja que l'entrena.

L'esforç sol ser llarg i d'intensitat suau, alguns exemples són:

- Córrer (a un ritme moderat)
- Caminar
- Ballar
- Anar en bicicleta
- Rem

7. Treball anaeròbic

Es denomina treball anaeròbic aquell esforç físic que obté energia per mitjà del metabolisme oxidatiu anaeròbic. És a dir, no produeix energia per mitjà d'oxigen com el treball aeròbic, sinó que ha de buscar alternatives. Aquestes alternatives poden ser làctiques (que produeixen àcid làctic), que fan que el treball sigui més explosiu i porti a la fatiga muscular, o basades en l'obtenció d'energia a través d'enllaços de fosfat (conegudes col·loquialment com a "alàctiques", tot i que el terme encara no ha estat integrat al diccionari).

El fet que no es necessiti oxigen per realitzar aquests processos manté la freqüència cardíaca més estable, tot i que també pateix canvis. El treball anaeròbic és considerat de potència, ja

que l'entrena. La durada d'aquests esforços sempre és breu i la intensitat és alta, alguns exemples són:

- Curses de velocitat
- Halterofília
- Llançaments
- Barres i paral·leles

8. Experimentació

Per a la part pràctica d'aquest treball, he plantejat un seguit d'experiments que permetin posar a prova la meua hipòtesi:

“El treball anaeròbic requereix un temps de recuperació de la freqüència cardíaca inferior a l'aeròbic.”

Cal destacar, però, que l'experiment que es planteja es tracta d'una prova pilot, ja que el nombre de voluntaris, recursos i temps per realitzar les proves era limitat. En cas que aquest fos un treball de magnitud més gran, es durien a terme els càlculs necessaris per obtenir una mostra representativa.

8.1 Objectius

L'objectiu principal és posar a prova la hipòtesi plantejada, però també busco extreure conclusions secundàries, com ara si existeix alguna diferència visible entre el sexes i estils de vida, i la precisió de la fórmula Gellish.

8.2 Subjectes

Per complir els meus objectius, comprovar si la hipòtesi es compleix i veure si es poden extreure altres conclusions al respecte, es trien els següents grups:

- **GRUP A1:** 10 noies d'entre 15 i 20 anys sense patologies conegudes que practiquen esport de manera regular.
- **GRUP A2:** 10 nois d'entre 15 i 20 anys sense patologies conegudes que practiquen esport de manera regular.
- **GRUP B1:** 10 noies d'entre 15 i 20 anys sense patologies conegudes que no practiquen esport de manera regular.
- **GRUP B2:** 10 noies d'entre 15 i 20 anys sense patologies conegudes que no practiquen esport de manera regular.

8.3 Metodologia

Per a cada individu de tots els grups es realitzarien les següents proves:

Prova aeròbica:

1. Càlcul de la FC màx. amb la fórmula Gellish

$$FC \text{ màx.} = 207 - (0,7 \cdot \text{edat de l'individu})$$

2. Presa de la freqüència cardíaca abans de l'esforç
3. Realització de l'esforç aeròbic*
4. Presa de la freqüència cardíaca immediatament després de l'esforç
5. Presa de la freqüència cardíaca després de l'esforç en intervals de temps (1 min, 2 min 30 s, 5 min)

Prova anaeròbica:

1. Càlcul de la FC màx. amb la fórmula Gellish

$$FC \text{ màx.} = 207 - (0,7 \cdot \text{edat de l'individu})$$

2. Presa de la freqüència cardíaca abans de l'esforç
3. Realització de l'esforç anaeròbic**
4. Presa de la freqüència cardíaca immediatament després de l'esforç
6. Presa de la freqüència cardíaca després de l'esforç en intervals de temps (1 min, 2 min 30 s, 5 min)

* esforç aeròbic: 20 minuts corrents a un ritme moderat

** esforç anaeròbic: dues carreres de 100 metres al 80% d'intensitat amb una pausa d'un minut entre sèrie i sèrie

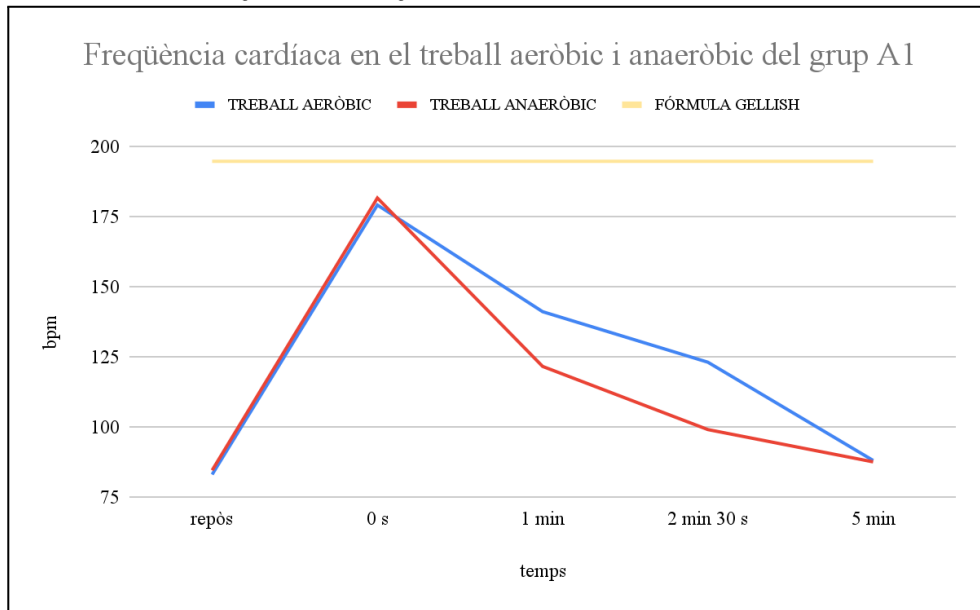
La presa de la freqüència cardíaca en aquest procés és manual, es calcula prenent el pols a l'artèria radial al canell o a l'artèria caròtida al coll durant 6 segons i multiplicant aquest resultat per 10 per poder saber les pulsacions per minut.

Un cop obtinguts els resultats, es fa la mitjana aritmètica dels resultats corresponents a cada interval de temps i es comparen les dades obtingudes entre grups, i respecte al resultat de la seva fórmula Gellish.

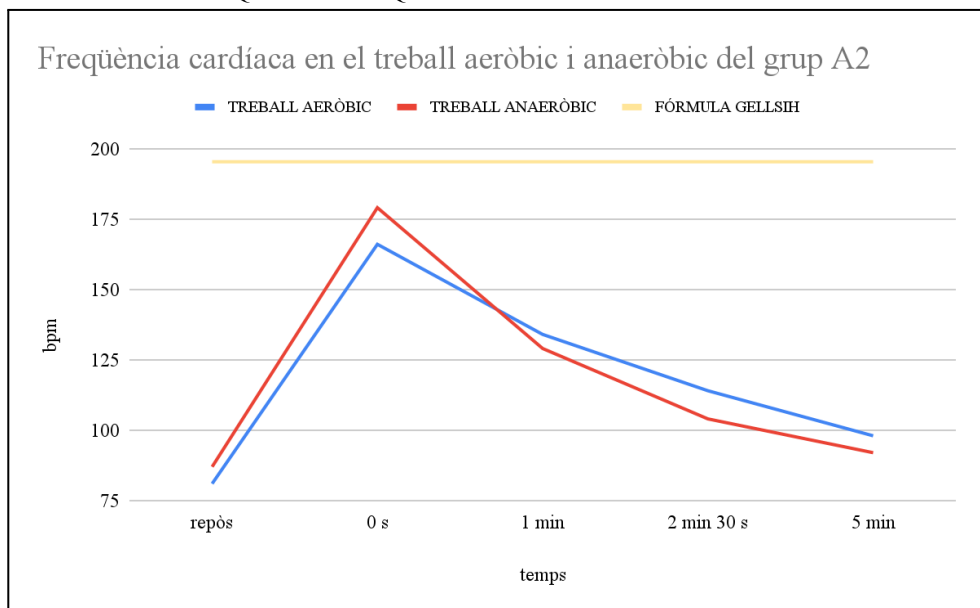
9. Resultats

Per poder comparar els grups i el comportament de la seva freqüència cardíaca s'han elaborat gràfiques a partir de la mitjana aritmètica dels resultats per comparar els grups entre si. Els factors analitzats són els següents: diferències entre treball aeròbic i anaeròbic, diferències entre sexes i diferències entre estils de vida.

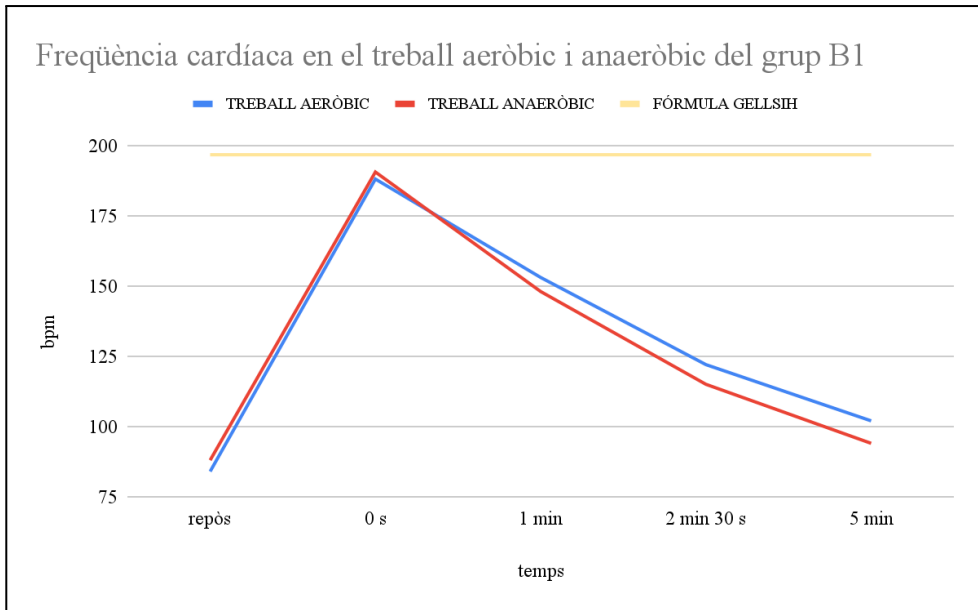
Gràfic treball de camp 1: GRUP A1
DONES QUE PRACTIQUEN ESPORT DE MANERA REGULAR



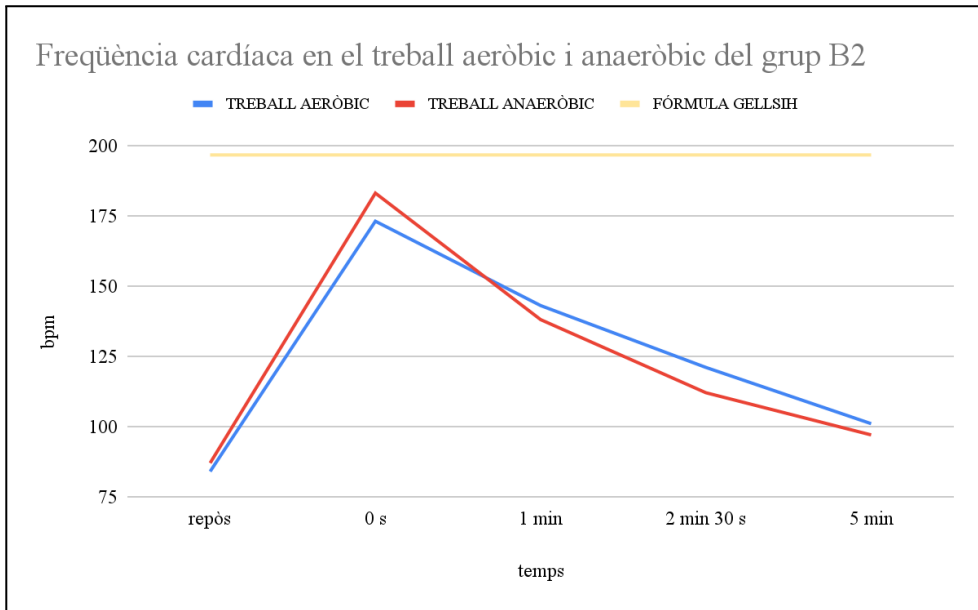
Gràfic treball de camp 2: GRUP A2
HOMES QUE PRACTIQUEN ESPORT DE MANERA REGULAR



Gràfic treball de camp 3: GRUP B1
DONES QUE NO PRACTIQUEN ESPORT DE MANERA REGULAR



Gràfic treball de camp 4: GRUP B2
HOMES QUE NO PRACTIQUEN ESPORT DE MANERA REGULAR



10. Conclusions

10.1 Interpretació dels gràfics

En tots els casos, podem observar que el valor de la freqüència cardíaca més alt apareix immediatament després de l'esforç, i aquesta va disminuint progressivament a mesura que passa el temps.

El valor de la freqüència cardíaca màxima mesurada és més alt en l'esforç anaeròbic que en l'aeròbic, i aquesta diferència és més pronunciada en els homes que en les dones. En tots els casos, els valors de la freqüència cardíaca en el treball anaeròbic disminueixen més ràpidament que els de l'aeròbic, és a dir es recupera amb més rapidesa.

En el cas de les dones, la freqüència cardíaca és sempre lleugerament més alta que la dels homes, però el seu comportament no difereix.

Quant als estils de vida, els valors de la freqüència cardíaca de la gent que practica esport de manera regular són més baixos que els que no en practiquen. Això indica que l'esforç físic suposa major cansament i esforç per a aquelles persones que no estan acostumades a fer exercici. Podem assumir que el seu nivell de salut i resistència cardiovascular és inferior a la d'una persona entrenada.

En relació amb la fórmula Gellish, cap dels grups arriba al valor de la freqüència cardíaca màxima estimada, però els grups que no practiquen esport de manera regular s'hi apropen més que no pas els grups que no en practiquen, indicant una fatiga cardiovascular superior.

10.2 Conclusions finals

Després d'analitzar els resultats obtinguts del treball de camp podem confirmar la hipòtesi plantejada, **el treball anaeròbic requereix un temps de recuperació de la freqüència cardíaca inferior a l'aeròbic.**

A més, confirmem que l'estil de vida és un factor clau en la salut cardiovascular. La freqüència cardíaca és més alta en la gent que no està acostumada a l'exercici físic. També observem les diferències entre homes i dones, tenint els homes per norma general una freqüència cardíaca més baixa que la de les dones.

Cal destacar també, que en aquest treball de camp entren factors secundaris que poden influir en la certesa dels resultats, com ara l'error humà a l'hora de contar les pulsacions o diferències en la rutina com el consum de cafeïna i altres substàncies que poden alterar la freqüència cardíaca.

11. Annex A: Taules resultats

Els resultats del grup A1 van ser els següents:

TREBALL AERÒBIC

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	mitjana aritmètica
fórmula Gellish	194,4	195,5	196,5	195,1	195,1	195,1	193,7	193,7	193	193,7	194,58
bpm repòs	70	90	90	100	70	70	80	100	80	80	83
bpm immediats	190	190	190	180	180	170	180	170	180	160	179
bpm 1 min	140	150	150	130	120	150	150	150	140	130	141
bpm 2 min 30 s	110	120	130	120	110	120	130	130	160	100	123
bpm 5 min	90	100	100	100	100	90	10	110	100	80	88

TREBALL ANAERÒBIC

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	mitjana aritmètica
fórmula Gellish	194,4	195,5	196,5	195,1	195,1	195,1	193,7	193,7	193	193,7	194,58
bpm repòs	90	70	75	80	90	100	90	80	80	90	84,5
bpm immediats	190	180	160	170	190	190	180	180	185	190	181,5
bpm 1 min	110	100	115	100	150	130	110	150	120	130	121,5
bpm 2 min 30 s	100	90	90	90	100	110	100	100	100	110	99
bpm 5 min	90	80	80	85	90	100	90	80	90	90	87,5

Els resultats del grup A2 van ser els següents:

TREBALL AERÒBIC

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	mitjana aritmètica
fórmula Gellish	195,1	195,1	195,1	195,5	195,5	195,5	195,1	195,1	195,5	195,5	195,3
bpm repòs	80	70	80	90	90	80	80	70	80	90	81
bpm immediats	180	140	170	200	160	150	180	140	170	170	166
bpm 1 min	130	110	140	160	150	120	130	110	140	150	134
bpm 2 min 30 s	110	100	120	130	120	110	110	100	120	120	114
bpm 5 min	100	90	100	80	110	100	100	90	100	110	98

TREBALL ANAERÒBIC

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	mitjana aritmètica
fórmula Gellish	195,1	195,1	195,1	195,5	195,5	195,5	195,1	195,1	195,5	195,5	195,3
bpm repòs	95	100	80	90	80	80	90	80	90	85	87
bpm immediats	180	180	180	180	180	180	170	180	180	180	179
bpm 1 min	150	100	140	130	120	100	150	130	130	140	129
bpm 2 min 30 s	110	90	110	120	100	80	110	100	120	100	104
bpm 5 min	100	80	90	100	90	80	100	90	100	90	92

Els resultats del grup B1 van ser els següents:

TREBALL AERÒBIC

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	mitjana aritmètica
fórmula Gellish	196,5	197,2	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	197,2	196,5	196,64
bpm repòs	70	80	90	80	70	100	80	80	100	90	84
bpm immediats	185	190	170	200	195	180	190	200	180	190	188
bpm 1 min	150	170	140	170	160	140	140	160	140	160	153
bpm 2 min 30 s	100	120	120	140	130	120	110	140	110	130	122
bpm 5 min	90	100	100	120	100	100	90	120	100	100	102

TREBALL ANAERÒBIC

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	mitjana aritmètica
fórmula Gellish	196,5	197,2	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	197,2	196,5	196,64
bpm repòs	80	90	100	80	90	100	90	80	90	80	88
bpm immediats	180	195	190	190	190	200	190	180	200	190	190,5
bpm 1 min	130	160	150	170	160	170	140	110	140	150	148
bpm 2 min 30 s	100	120	110	120	140	140	100	100	120	100	115
bpm 5 min	90	90	100	100	100	100	90	90	100	80	94

Els resultats del grup B2 van ser els següents:

TREBALL AERÒBIC

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	mitjana aritmètica
fórmula Gellish	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	197,2	196,5	196,57
bpm repòs	60	90	80	100	90	90	100	80	80	70	84
bpm immediats	190	150	180	180	170	160	200	150	170	180	173
bpm 1 min	140	120	150	140	160	130	160	120	150	160	143
bpm 2 min 30 s	120	100	130	130	120	110	130	100	130	140	121
bpm 5 min	100	90	100	100	110	100	100	90	100	120	101

TREBALL ANAERÒBIC

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	mitjana aritmètica
fórmula Gellish	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	196,5	197,2	196,5	196,57
bpm repòs	100	90	90	90	80	80	90	80	90	80	87
bpm immediats	190	180	190	180	170	190	170	180	190	190	183
bpm 1 min	160	130	150	130	110	130	150	130	140	150	138
bpm 2 min 30 s	110	100	120	120	100	110	110	100	120	130	112
bpm 5 min	100	90	90	100	90	100	100	90	100	110	97

12. Bibliografia

- Acidosi làctica.* (n.d.). Viquipèdia. Retrieved October 4, 2022, from https://ca.wikipedia.org/wiki/Acidosi_làctica
- Agujetas.* (n.d.). Wikipedia. Retrieved October 4, 2022, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Agujetas>
- Álvarez, C. (2020, February 20). *¿Cómo calcular la frecuencia cardíaca máxima?* LifeStyle.fit. Retrieved August 22, 2022, from <https://lifestyle.fit/entrenamiento/running/frecuencia-cardiaca-maxima>
- Anatomía del corazón.* (n.d.). Fundación Española del Corazón. Retrieved July 22, 2022, from <https://fundaciondelcorazon.com/prevencion/como-funciona-el-corazon/mas-detalles.html>
- Anatomía del corazón y del aparato cardiovascular.* (n.d.). Texas Heart Institute. Retrieved June 29, 2022, from <https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/anatomia-del-corazon-y-del-aparato-cardiovascular/>
- Anatomia del cor | Hospital Universitari Vall d'Hebron.* (n.d.). Hospital Universitari Vall d'Hebron. Retrieved July 24, 2022, from <https://hospital.vallhebron.com/assistencia/consells-de-salut/anatomia-del-cor>
- Aparato circulatorio.* (n.d.). Wikipedia. Retrieved June 20, 2022, from https://es.wikipedia.org/wiki/Aparato_circulatorio
- Aplicaciones de la frecuencia cardíaca máxima en la evaluación y prescripción de ejercicio.* (n.d.). Apunts Sports Medicine. Retrieved August 25, 2022, from <https://www.apunts.org/es-aplicaciones-frecuencia-cardiaca-maxima-evaluacion-articulo-X0213371710873503>
- Artèria.* (n.d.). Viquipèdia. Retrieved July 6, 2022, from <https://ca.wikipedia.org/wiki/Artèria#Referències>
- Arteria.* (n.d.). Wikipedia. Retrieved July 10, 2022, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Arteria>
- Arteriola.* (n.d.). Viquipèdia. Retrieved July 11, 2022, from <https://ca.wikipedia.org/wiki/Arteriola>

- ¿Beber alcohol puede elevar tu frecuencia cardiaca?* (2021, October 11). The New York Times. Retrieved September 20, 2022, from <https://www.nytimes.com/es/2021/10/06/espanol/efectos-alcohol-corazon.html>
- Begum, J. (2021, June 22). *Anaerobic Exercise: What Are the Health Benefits?* WebMD. Retrieved September 26, 2022, from <https://www.webmd.com/fitness-exercise/what-is-anaerobic-exercise>
- Begum, J. (2021, June 22). *Anaerobic Exercise: What Are the Health Benefits?* WebMD. Retrieved October 2, 2022, from <https://www.webmd.com/fitness-exercise/what-is-anaerobic-exercise>
- Calculate your maximum heart rate.* (n.d.). CalcUtil. Retrieved August 27, 2022, from <https://www.calcutil.com/health/calculate-maximum-heart-rate.html>
- Cano, A. F., & Viveros, M. E. (2022, January 14). *Las plaquetas, unas células muy peculiares.* Ciencia UNAM. Retrieved July 29, 2022, from <https://ciencia.unam.mx/leer/1215/las-plaquetas-unas-celulas-muy-peculiares>
- Capilar sanguíneo.* (n.d.). Wikipedia. Retrieved July 15, 2022, from https://es.wikipedia.org/wiki/Capilar_sangu%C3%ADneo#Mecanismos_de_intercambio_capilar
- Capillary anatomy.* (2022, January 17). YouTube. Retrieved July 13, 2022, from <https://www.greelane.com/ca/science-tech-math/v%C4%9Bda/capillary-anatomy-373239>
- Capil·lar sanguini.* (n.d.). Viquipèdia. Retrieved July 13, 2022, from https://ca.wikipedia.org/wiki/Capil%C2%B7lar_sanguini
- Cardiac cycle.* (n.d.). Wikipedia. Retrieved August 5, 2022, from https://en.wikipedia.org/wiki/Cardiac_cycle
- Cómo funciona el corazón - Cómo late el corazón.* (2022, March 24). NHLBI. Retrieved August 3, 2022, from <https://www.nhlbi.nih.gov/es/salud/corazon/latidos-cardiacos>
- Cómo funciona el corazón | Defectos cardiacos de nacimiento.* (n.d.). CDC. Retrieved July 20, 2022, from <https://www.cdc.gov/ncbddd/spanish/heartdefects/howtheheartworks.html>

- Cómo interpretar un electrocardiograma - El blog de Girodmedical.* (2017, February 1). Girodmedical. Retrieved August 5, 2022, from https://www.girodmedical.es/blog_es/como-interpretar-un-electrocardiograma/
- Cómo interpretar un electrocardiograma - El blog de Girodmedical.* (2017, February 1). Girodmedical. Retrieved August 7, 2022, from https://www.girodmedical.es/blog_es/como-interpretar-un-electrocardiograma/
- Cómo leer e Informar un Electrocardiograma.* (n.d.). My EKG. Retrieved August 6, 2022, from <https://www.my-ekg.com/como-leer-ekg.html>
- Crumbie, L. (n.d.). *Cardiac cycle phases: Definition, systole and diastole.* Kenhub. Retrieved August 5, 2022, from <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/cardiac-cycle>
- Diferencias en la modulación autónoma del corazón entre mujeres y hombres.* (n.d.). SciELO México. Retrieved September 5, 2022, from https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-99402006000300005
- Diferencias entre el corazón de los hombres y las mujeres.* (2020, February 11). MGC Mutua. Retrieved September 3, 2022, from <https://www.mgc.es/blog/diferencias-entre-el-corazon-de-los-hombres-y-las-mujeres/>
- Diferencias entre el corazón de mujeres y hombres.* (n.d.). Desfibrilador.com -. Retrieved September 10, 2022, from <https://www.desfibrilador.com/diferencias-entre-el-corazon-de-mujeres-y-hombres/>
- Ejercicio anaeróbico.* (n.d.). Wikipedia. Retrieved October 6, 2022, from https://es.wikipedia.org/wiki/Ejercicio_anaer%C3%B3bico
- ▷ **【 Ejercicio físico y oxigenación muscular - Guía básica para bajar de peso y tonificar tu cuerpo 】**. (n.d.). Aula Fácil. Retrieved September 29, 2022, from <https://www.aulafacil.com/cursos/dietas/guia-basica-para-bajar-de-peso-y-tonificar-tu-cuerpo/ejercicio-fisico-y-oxigenacion-muscular-15296>
- EL CICLO CARDÍAC : EL BATEC.* (2016, March 21). UncorPLE. Retrieved July 30, 2022, from <http://uncorple.blogspot.com/2016/03/el-ciclecardiac-el-batec-jasaps-que-el.html>
- Electrocardiogram (ECG or EKG).* (2022, May 18). Mayo Clinic. Retrieved August 7, 2022, from <https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/ekg/about/pac-20384983>

- El latido cardíaco.* (n.d.). Texas Heart Institute. Retrieved July 30, 2022, from <https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/el-latido-cardiaco/>
- Els components de la sang - Què és la sang? - Fundació Banc de Sang i Teixits de les Illes Balears.* (n.d.). Dona Sang. Retrieved June 30, 2022, from <https://www.donasang.org/que-es-la-sang/els-components.html>
- Els vasos sanguinis.* (n.d.). Els vasos sanguinis – El cos al Vilot. Retrieved July 5, 2022, from <https://blocs.xtec.cat/elcosalvilot/els-vasos-sanguinis/>
- Els vasos sanguinis.* (2011, December 5). SlideShare. Retrieved July 6, 2022, from <https://www.slideshare.net/dhernan8/els-vasos-sanguinis>
- El tabaco y las enfermedades cardiovasculares.* (n.d.). Sanitas. Retrieved September 16, 2022, from <https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/dejar-fumar/tabaco-riesgo-cardiovascular.html>
- Estudio de Framingham.* (n.d.). Wikipedia. Retrieved September 16, 2022, from https://es.wikipedia.org/wiki/Estudio_de_Framingham
- Exercici aeròbic.* (n.d.). Viquipèdia. Retrieved October 3, 2022, from https://ca.wikipedia.org/wiki/Exercici_aer%C3%B2bic
- Exercise and lifestyle predictors of resting heart rate in healthy young adults.* (n.d.). Journal of Human Sport and Exercise. Retrieved September 12, 2022, from https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/65032/1/jhse_Vol_11_N_3_348-357.pdf
- Exercise and lifestyle predictors of resting heart rate in healthy young adults.* (n.d.). Journal of Human Sport and Exercise. Retrieved September 12, 2022, from https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/65032/1/jhse_Vol_11_N_3_348-357.pdf
- Falck, S., Weatherspoon, D., & MacGill, M. (n.d.). *Diastole vs. systole: What is the difference?* Medical News Today. Retrieved July 30, 2022, from <https://www.medicalnewstoday.com/articles/321447#differences>
- Fernández, E. (n.d.). *El sistema cardiovascular.* Sogacar. Retrieved June 20, 2022, from <https://www.sogacar.com/el-sistema-cardiovascular/>
- Fosfocreatina.* (n.d.). Viquipèdia. Retrieved October 3, 2022, from <https://ca.wikipedia.org/wiki/Fosfocreatina>

- 04Les artèries i venes més importants del cos humà - aparellcirculatorijordie. (n.d.). Google Sites. Retrieved July 10, 2022, from <https://sites.google.com/site/aparellcirculatorijordie/04les-arteries-i-venes-mes-importants-del-cos-huma>
- Fowler, P. (2020, October 27). *6 Medications That Can Causes Changes to Heart Rate or Rhythm*. WebMD. Retrieved September 24, 2022, from <https://www.webmd.com/heart-disease/atrial-fibrillation/medicines-raise-heart-rate>
- Fox, S. I. (1999). *Human Physiology*. WCB/McGraw-Hill.
- Frecuencia cardíaca durante el deporte, ¿cuál es su importancia?* (n.d.). ClikiSalud.net. Retrieved August 12, 2022, from <https://www.clikisalud.net/actividad/actividad-fisica-frecuencia-cardiaca-durante-el-deporte-cual-es-su-importancia/>
- Frecuencia cardíaca máxima: ¿Como calcular la FCmax?* (2020, October 14). Polar. Retrieved August 20, 2022, from <https://www.polar.com/blog/es/como-calcular-frecuencia-cardiaca-maxima/>
- FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA: ¿QUÉ ES? ¿COMO CALCULARLA?* | FADE. (2017, February 23). Fade Saludable. Retrieved August 14, 2022, from <http://fadesaludable.es/2017/02/23/frecuencia-cardiaca-maxima-que-es-como-calcularla/>
- Frecuencia cardíaca: pulsaciones normales por edad.* (n.d.). Tua Saúde. Retrieved September 1, 2022, from <https://www.tuasaude.com/es/frecuencia-cardiaca/>
- García, A. M., & Pelc, C. (n.d.). *Frecuencia cardíaca: ¿Qué es una frecuencia cardíaca normal?* Medical News Today. Retrieved August 12, 2022, from <https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/291182#que-es-la-frecuencia-cardiaca>
- Glicogen.* (n.d.). Viquipèdia. Retrieved October 4, 2022, from <https://ca.wikipedia.org/wiki/Glicogen>
- Hirsch, L. (n.d.). *Corazón y sistema circulatorio (para Adolescentes) - Nemours*. Kids Health. Retrieved August 3, 2022, from https://www.kidshealth.org/AllChildrens/es/teens/heart.html?WT.ac=clk_fromdesk
- How Does Alcohol Cause Cardiovascular Disease?* (n.d.). Alcohol.Think Again. Retrieved September 16, 2022, from

- <https://alcoholthinkagain.com.au/alcohol-your-health/alcohol-and-long-term-health/alcohol-and-cardiovascular-disease/>
- Kilinc, O., & Snyder, C. S. (2020, April 29). *Latidos cardíacos rápidos, lentos e irregulares (arritmia)*. HealthyChildren.org. Retrieved Septiembre 1, 2022, from <https://www.healthychildren.org/Spanish/health-issues/conditions/heart/Paginas/Irregular-Heartbeat-Arrhythmia.aspx>
- Laskowski, E. R. (n.d.). *Frecuencia cardíaca: ¿cuál es la normal?* Mayo Clinic. Retrieved August 10, 2022, from <https://www.mayoclinic.org/es-es/healthy-lifestyle/fitness/expert-answers/heart-rate/fdq-20057979>
- La sorprendente Historia de la Ecuación (FC máx. = 220 – edad)*. (2003, February 2). G-SE. Retrieved August 24, 2022, from <https://g-se.com/la-sorprendente-historia-de-la-ecuacion-fc-max.-220-edad-67-sa-457cfb270ee0c9>
- Lationoamerica, B. (n.d.). *Sistema cardiovascular: ¿Cómo funciona? – Bupa*. Bupa Latinoamérica. Retrieved June 20, 2022, from <https://www.bupasalud.com/salud/sistema-cardiovascular>
- Leucòcit*. (n.d.). Viquipèdia. Retrieved June 29, 2022, from <https://ca.wikipedia.org/wiki/Leuc%C3%B2cit>
- Martín, V. (2005). *Atlas del cuerpo humano*. Editorial Optima.
- METABOLISME (n.d.). METABOLISME: Treball aeròbic i anaeròbic. Retrieved October 3, 2022, from <https://educaciodigital.cat/ioc-batx/moodle/mod/book/view.php?id=3810&chapterid=2758>
- Molina, J. F. (2019, August 1). *¿Cómo puedes leer tu frecuencia cardíaca? | BODYTECH: El mejor gimnasio de Colombia*. Bodytech. Retrieved August 20, 2022, from <https://bodytech.com.co/blog/entrenamiento/como-puedes-leer-tu-frecuencia-cardiaca-391/>
- Node sinusal*. (n.d.). Viquipèdia. Retrieved July 29, 2022, from https://ca.wikipedia.org/wiki/Node_sinusal#frb-inline

- Nódulo sinoauricular.* (n.d.). Wikipedia. Retrieved August 5, 2022, from https://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%B3dulo_sinoauricular
- Ondas del Electrocardiograma.* (n.d.). My EKG. Retrieved August 7, 2022, from <https://www.my-ekg.com/generalidades-ekg/ondas-electrocardiograma.html>
- Ortega, J. (2014, December 3). *Frecuencia Cardiaca Máxima.* G-SE. Retrieved August 25, 2022, from <https://g-se.com/frecuencia-cardiaca-maxima-bp-057cfb26e803fc>
- Perez, B. (2022, April 15). *La Frecuencia Cardiaca Máxima, conoce la fórmula Tanaka.* Marchas y Rutas. Retrieved August 22, 2022, from <https://marchasyrutas.es/blog/la-frecuencia-cardiaca-maxima-conoce-la-formula-tanaka/>
- Physiology, Sinoatrial Node - StatPearls.* (2022, October 3). NCBI. Retrieved August 4, 2022, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459238/>
- Potencial d'acció cardíac.* (n.d.). Viquipèdia. Retrieved August 5, 2022, from https://ca.wikipedia.org/wiki/Potencial_d%27acci%C3%B3_card%C3%ADac
- Pressió hidroestàtica.* (n.d.). Viquipèdia. Retrieved July 20, 2022, from https://ca.wikipedia.org/wiki/Pressi%C3%B3_hidroest%C3%A0tica
- pressió osmòtica | enciclopedia.cat.* (n.d.). Enciclopèdia Catalana. Retrieved July 13, 2022, from <https://www.enciclopedia.cat/gran-enciclopedia-catalana/pressio-osmotica>
- Prova d'Esforç.* (2019, April 3). Hospital Clínic Barcelona. Retrieved August 30, 2022, from <https://www.clinicbarcelona.org/ca/asistencia/proves-i-procediments/prova-desforc>
- Prova d'esforç a Barcelona, Clínic - Sant Joan de Déu.* (n.d.). Medicina del deporte. Retrieved August 30, 2022, from <https://www.medicinaesportiva.cat/ca/servei/prova-esforc#>
- Puig, M. (n.d.). *Así regulan los músculos su consumo de oxígeno cuando entrenamos: el factor HIF y la enzima FIH.* Planeta Triatlón. Retrieved September 29, 2022, from <https://planetatriatlon.com/enzima-fih-regulacion-consumo-oxigeno/>
- Pulsaciones Normales en Ancianos.* (n.d.). Residencia Las Matas. Retrieved September 3, 2022, from <https://www.residencialasmatas.es/blog/dia-mundial-del-corazon-2017/>
- Pulsaciones normales y frecuencia cardíaca: ¿Cómo bajarlas o subirlas?* (n.d.). Válida sin barreras. Retrieved September 3, 2022, from

- <https://www.valida.es/blog/post/pulsaciones-normales-en-ancianos-como-bajarlas-o-su-birlas/>
- ¿Qué es el plasma?* | Centro de Transfusión. (n.d.). Comunidad de Madrid |. Retrieved July 4, 2022, from <https://www.comunidad.madrid/hospital/centrodetransfusion/ciudadanos/es-plasma>
- Quina és la freqüència cardíaca normal?* | Salut a prop. (2018, January 16). Salutaprop. Retrieved August 12, 2022, from <https://salutaprop.org/ca/blog/quina-es-la-frecuencia-cardiaca-normal>
- Ramírez, G., & Santos, S. (n.d.). *Frecuencia cardiaca en niños y bebés: valores normales y alteraciones*. Tua Saúde. Retrieved September 1, 2022, from <https://www.tuasaude.com/es/frecuencia-cardiaca-en-ninos/>
- Reconeixements mèdics esportius / Proves d'esforç*. (n.d.). Peradejordi. Retrieved August 30, 2022, from <https://peradejordi.com/serveis/reconeixements-medics-esportius/>
- Rodríguez, E. M. (2022, May 25). *Así es como los músculos regulan el consumo de oxígeno*. PuntoSeguro. Retrieved October 3, 2022, from <https://www.puntoseguro.com/blog/asi-es-como-los-musculos-regulan-su-consumo-de-oxigeno/>
- Roosevelt, F. D. (n.d.). *Imagen de archivo El estudio Framingham*. Neuroscience and History. Retrieved September 16, 2022, from https://nah.sen.es/vmfiles/abstract/NAHV4N1201643_46ES.pdf
- ¿Sabes cuál es la importancia de oxigenar los músculos mientras entrenas?* (n.d.). Refresh Medical Center. Retrieved September 29, 2022, from <https://refreshmedicalcenter.com/blog/sabes-cual-es-la-importancia-de-oxigenar-los-musculos-mientras-entrenas/>
- Salabert, E. (2010, November 11). *Ejercicio aeróbico, cuáles son y beneficios - Ejercicio y deporte*. Webconsultas. Retrieved October 4, 2022, from <https://www.webconsultas.com/ejercicio-y-deporte/vida-activa/tipos-de-deporte/el-ejercicio-aerobico-1889>
- Salud cardiovascular: Anatomía del corazón*. (n.d.). Texas Heart Institute. Retrieved July 20, 2022, from

<https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/anatomia-del-corazon/>

Sinoatrial node. (n.d.). Wikipedia. Retrieved August 4, 2022, from

https://en.wikipedia.org/wiki/Sinoatrial_node

Sistema cardiovascular - Videos de salud. (n.d.). MedlinePlus. Retrieved June 20, 2022, from

<https://medlineplus.gov/spanish/ency/anatomyvideos/000023.htm>

Sistema circulatori. (n.d.). Viquipèdia. Retrieved July 24, 2022, from

https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_circulatori

Sistema nerviós parasimpàtic. (n.d.). Viquipèdia. Retrieved August 7, 2022, from

https://ca.wikipedia.org/wiki/Sistema_nervi%C3%B3s_parasimp%C3%A0tic

Trifosfat d'adenosina. (n.d.). Viquipèdia. Retrieved September 29, 2022, from

https://ca.wikipedia.org/wiki/Trifosfat_d%27adenosina

20 Ejemplos de Actividades Aeróbicas y Anaeróbicas. (n.d.). Ejemplos. Retrieved October 6, 2022, from

<https://www.ejemplos.co/20-ejemplos-de-actividades-aerobicas-y-anaerobicas/>

20 Ejemplos de Ejercicios Aeróbicos y Anaeróbicos. (n.d.). Ejemplos. Retrieved October 7, 2022, from

<https://www.ejemplos.co/20-ejemplos-de-ejercicios-aerobicos-y-anaerobicos/>

Valle, A. (n.d.). *Factores de riesgo - Frecuencia cardiaca*. Fundación Española del Corazón. Retrieved August 12, 2022, from

<https://fundaciondelcorazon.com/prevencion/riesgo-cardiovascular/frecuencia-cardiaca.html>

Vena. (n.d.). Viquipèdia. Retrieved July 6, 2022, from <https://ca.wikipedia.org/wiki/Vena>

Venule. (n.d.). Wikipedia. Retrieved July 13, 2022, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Venule>