

Qui posa els límits a l'esforç?

Comparem la relació entre els nivells de lactat en sang amb la percepció subjectiva de l'esforç de nedadores diferent especialitzades.



Maria Huertas Ferré

Tutor: Carles Monferrer

Departament de Biologia

Curs 2024-2025

Institut Antoni de Martí i Franquès

*“I think that everything is possible if you put your mind to it, and you
put the work and time into it. I think your mind
really controls everything.”*

- Michael Phelps, 28 vegades medallista olímpic.

AGRAÏMENTS

Aquest treball no ha estat una feina fàcil, però hauria sigut del tot impossible sense la involucració de moltes persones.

En primer lloc, voldria agrair a la meua entrenadora Sílvia Díez per donar-me idees, aconsellar-me des del primer dia i per posar-me en contacte amb altres participants posteriors del projecte. No només vull donar-li les gràcies per aquesta dedicació, sinó també pel seu suport indispensable.

En segon lloc, vull agrair profundament al director tècnic de la Federació Catalana de Natació Luis Rodríguez per la seva implicació en aquest treball, ja que ha fet possible tota la part experimental del projecte. A la nedadora Júlia Coll per comprometre's a formar part de la iniciativa tot i les seves obligacions. Al Centre d'Alt Rendiment CAR de Sant Cugat per deixar-me fer ús de les seves instal·lacions i a l'equip de fisiòlegs pel seu servei. I també a la Federació Catalana de Natació pel finançament econòmic del test de lactat. Sense la col·laboració de totes aquestes persones i entitats, aquesta recerca no hauria estat possible.

Així mateix, mostro els meus agraïments també al Dr. Manel González, responsable de la Unitat de Medicina de l'Esport (UME) de l'Hospital Santa Tecla per l'ajuda desinteressada que em va mostrar, i a aquesta mateixa entitat per facilitar-me l'entrevista. A més agraeixo a la infermera Rosa Ferrer que m'aconsellés i m'animés a fer aquesta trobada a més de prestar-me un llibre que ha sigut una bona ajuda.

El seguiment del meu tutor Carles Monferrer i la seva ensenyança en la matèria de biologia m'han facilitat l'enteniment dels conceptes i m'han servit de gran ajuda per estructurar el treball, per la qual cosa també li estic molt agraïda.

Vull donar les gràcies també als meus pares pel seu suport incondicional i per posar tots els medis perquè davant les complicacions d'aquest projecte, s'hagi pogut tirar endavant de totes maneres.

Per últim, vull donar les gràcies a diverses persones que m'han donat consell i han compartit la seva experiència amb mi com el Pol San Gregorio i la Mar Garmendia que han sigut de gran ajuda.

RESUM

La fatiga sovint es relaciona únicament amb factors fisiològics com la producció de lactat. En aquest estudi es vol investigar la relació que hi ha entre el factor psicològic de la percepció subjectiva de l'esforç pel que fa a la concentració de lactat en sang.

Per estudiar aquesta relació, es va dur a terme un test amb dues nedadores de característiques molt semblants especialitzades en distàncies diferents: una en proves de llarga distància i l'altra en proves de mitjana distància. El test consistia a nedar 8 sèries de 200 m on es va quantificar la concentració de lactat en sang i la percepció subjectiva de l'esforç, al mateix temps que es van tenir en compte altres variables com el temps de cada sèrie i la freqüència cardíaca.

Els resultats demostren que un increment progressiu dels nivells de lactat en sang s'associa amb una major percepció de l'esforç. Tanmateix, les diferències fisiològiques es fan evidents entre les dues nedadores, ja que la nedadora especialitzada en llarga distància presenta en tots els casos una menor producció de lactat que la nedadora especialitzada en mitjana distància. De manera semblant succeeix amb la percepció de l'esforç, on la primera percep un esforç més lleu en les primeres sèries que la segona nedadora.

Les conclusions posen èmfasi en la necessitat de personalitzar els d'entrenaments i ajustar-los a les necessitats específiques i individuals dels esportistes encara que aquests puguin tenir característiques semblants entre ells. A més confirmen que els tests de lactat són una eina molt valuosa per optimitzar els entrenaments i combinats amb la percepció subjectiva de l'esforç, poden oferir informació individualitzada molt rellevant a l'hora d'especialitzar els entrenaments. En darrer terme, les troballes també remarquen la importància de la investigació en aquest camp per reafirmar la fiabilitat i validesa dels resultats.

Paraules clau: lactat, percepció subjectiva de l'esforç, fatiga muscular, natació, entrenament.

ABSTRACT

Physiological factors as the lactate production are often the only factors blamed for the onset of fatigue. The aim of this study is to investigate which roll does the psychological factor of the perceived exertion plays in relation to lactate production.

To explore the connection between these terms, two high-performance swimmers with very similar characteristics were tested: one which is specialized in long-course events and the other one who races in medium-course events. The participants completed 8 series of 200 m where the blood lactate concentration and the rate of perceived exertion (RPE) were quantified, among other variables as the time taken in each series and the heart rate.

The final results validate that a progressive increase of the blood lactate concentration corresponds to a higher exertion perception. Nevertheless, the individual differences are manifested between the two swimmers. Whereas the long-course-specialized swimmer presents low blood lactate levels, the medium-course-specialized swimmer presents higher levels in all cases. Similarly, the perceived exertion of the first is lower than the perceived exertion of the second swimmer in all the series except from the very last ones.

Finally, the conclusions emphasize that a personalization of the training sessions is necessary to adjust this practice to each individual, since two similar athletes can present physiological and psychological differences. In addition, it is confirmed that the lactate tests are a valuable tool to optimize the training and furthermore, if they are combined with the rate of perceived exertion, both can offer relevant data useful to specialize this training sessions. The findings also highlight the importance of more research being conducted to enhance the reliability and validity of the results.

Key words: lactate, rate of perceived exertion, muscular fatigue, swimming, training.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	9
MARC TEÒRIC	12
1. Fisiologia del lactat	13
1.1. Diferència entre lactat i àcid làctic.	13
2. El Metabolisme	15
2.1. Respiració aeròbica	16
2.2. Fermentació làctica	16
2.3. El cicle de Cori	19
2.4. Reacció del cos a l'acumulació de lactat: la fatiga muscular	20
2.5. Després de l'exercici: la recuperació	22
3. La natació	23
3.1. Els estils	23
3.1.1. Implicació muscular i demanda energètica de cada estil	27
3.2. Tipus de proves	32
3.3. Entrenament de la natació	32
3.3.1. Zones d'entrenament	32
4. El lactat com una eina d'entrenament	34
4.1. Factors que afecten la producció de lactat	34
4.1.1. L'edat	34
4.1.2. Sexe biològic	34
4.1.3. Cicle menstrual	35
4.1.4. Dieta	36
4.1.4. Condició física	36
4.2. Metodologia per mesurar el lactat en sang	36
4.2.1. Anàlisi de les mostres amb un dispositiu Lange.	37
4.3. Aplicació dels resultats a la programació dels entrenaments.	39
5. La percepció subjectiva de l'esforç	39
5.1. Importància en l'entrenament	40

MARC PRÀCTIC	44
1. Objectius	45
2. Hipòtesi	45
3. Metodologia	45
3.1. Mostra estudiada i control de variables.	46
3.2. Disseny de l'estudi	47
3.3. Anàlisi de les mostres al laboratori i extracció de resultats	53
3.4. Instruments i equipament	53
4. Resultats del test	54
4.1 Resultats individuals	54
4.2. Resultats comparatius	56
4.3. Anàlisi dels resultats	60
5. Conclusions	61
5.1. Conclusions generals	61
5.2. Valoració personal	63
5.2. Dificultats	63
5.3. Propostes de millora	65
REFERÈNCIES	66
Webgrafia	66
Bibliografia	67
1. Annex 1: Imatge dels resultats de les preses de lactat	68
2. Annex 2: Resultats del test	68
3. Annex 3: Imatges del material utilitzat pel test	71

INTRODUCCIÓ

El present treball proporciona una extensa visió sobre la fisiologia del cos durant la pràctica de la natació, i posa especial èmfasi en la producció de lactat i la seva relació amb la percepció subjectiva de l'esforç de cada individu. Relacionar correctament aquests dos aspectes pot servir per individualitzar i ajustar l'entrenament i optimitzar el rendiment dels esportistes. L'**objectiu principal** d'aquest treball és investigar la correlació entre els nivells de lactat en sang i la percepció subjectiva d'esforç en nedadores de llarga i mitjana distància, tenint en compte aquestes diferències individuals en els resultats.

En l'àmbit científic, la relació entre lactat i percepció de l'esforç ha estat objecte d'investigació diverses vegades. El lactat és un producte metabòlic produït quan es fa exercici anaeròbic i que s'acumula als músculs quan l'exercici es perllonga. Aquesta acumulació pot provocar fatiga muscular i, alhora, influir en la percepció d'esforç dels esportistes. Malgrat això, encara existeixen moltes incògnites sobre com factors com l'especialització de cada esportista, la tolerància individual al lactat i altres variables influeixen en aquesta relació. La intenció d'aquest treball és indagar aquests aspectes i proporcionar conclusions pertinents.

La **hipòtesi inicial** suggereix que un augment dels nivells de lactat en sang es relaciona directament amb una major percepció d'esforç, tot i que les diferències individuals entre nedadores especialitzades poden generar resultats diferenciats. A partir de l'objectiu principal, el treball també persegueix **altres metes**:

- ❖ Comprendre què és el lactat i per què es produeix.
- ❖ Determinar com els tests de lactat poden ajudar a desenvolupar models d'entrenament més especialitzats.

La **motivació** d'aquest treball ha sigut la meua experiència personal com a nedadora. Des dels vuit anys, són moltes les hores que he dedicat a la natació i al seu entrenament i actualment formo part del programa esportiu d'Alt Rendiment Català (ARC) del Consell Català de l'Esport i de la Federació Catalana de Natació. L'objectiu d'aquest esport és competir, fet que implica haver de lidiar amb la sensació d'esgotament i de fatiga diàriament. Per aquest motiu, s'ha d'entrenar no només per millorar el rendiment físic, sinó també per familiaritzar-se amb aquestes sensacions. En cada sessió d'entrenament, posem el nostre cos al límit per preparar-lo pel dia de la competició. Tantes sèries a màxima intensitat, han donat peu a qüestionar-me: per què quan vaig *a tope* arriba un punt on penso que “no puc més”? És aquest el moment en què realment el meu cos està donant el seu màxim, o és només la meua percepció?

Abans de fer aquest treball, només havia sentit a dir alguna vegada que el lactat tenia a veure amb la fatiga, però desconeixia fins a quin punt aquests dos termes s'interrelacionaven. La curiositat per respondre les preguntes anteriors que m'havien rondat moltes vegades pel cap i l'interès d'aprofundir en aquest concepte són els motius que m'han guiat a triar aquest tema pel treball de recerca de 2n de batxillerat.

Per assolir els objectius plantejats, s'ha combinat una recerca teòrica amb una investigació pràctica. En la **part pràctica** del treball, s'ha dut a terme un test de lactat a dues nedadores d'alt rendiment de característiques molt semblants que es diferencien en la seva especialització, ja que una competeix en proves de llarga distància i l'altra en proves de mitjana distància. Ha tingut lloc a les instal·lacions del Centre d'Alt Rendiment (CAR) de Sant Cugat del Vallès. El test ha comptat amb la col·laboració de la Federació Catalana de Natació, el director tècnic Luís Rodríguez, i dos metges especialitzats que s'han encarregat de l'extracció i l'anàlisi de les mostres de lactat en sang. L'estudi també ha implicat un grup d'entrenadors que han registrat les altres dades complementàries.

La **metodologia** que s'ha fet servir és el test de lactat, ja que és un indicador que s'utilitza cada vegada més en el món esportiu perquè permet determinar el llindar anaeròbic i ajustar les zones d'entrenament. A més, la combinació del test amb la percepció subjectiva d'esforç, permet als entrenadors especialitzar encara més els entrenaments perquè es complementen els aspectes fisiològics i psicològics de cada individu.

MARC TEÒRIC

1. Fisiologia del lactat

L'àcid làctic, o lactat en la seva forma ionitzada, és un àcid carboxílic, amb un grup hidroxil en el carboni adjacent al grup carboxílic, que el converteix en α -hidroxi-propanoic de fórmula química $C_3H_6O_3$. La seva nomenclatura IUPAC oficial és àcid 2-hidroxipropanoic o àcid α -hidroxipropanoic, i la seva fórmula és $H_3C-CH(OH)-COOH$.

1.1. Diferència entre lactat i àcid làctic.

A vegades, confonem els termes lactat i àcid làctic quan en realitat són diferents. Diem que l'àcid làctic s'acumula als músculs quan en realitat ens referim a l'acumulació de lactat i ions hidrogen.

L'àcid làctic ($C_3H_6O_3$) és un àcid orgànic de tres carbonis, un dels quals forma l'únic grup carboxil ($COOH$) de la molècula, mentre que el lactat ($C_3H_5O_3^-$) presenta ionitzat aquest grup funcional (COO^-) per l'alliberament de l'hidrogen en forma de ió hidrogen (H^+).

- El pH

Que una solució sigui àcida o alcalina depèn de la concentració d'ions hidrogen (H^+). Si la concentració d'ions hidrogen augmenta, la solució es torna més àcida; si la concentració disminueix, es torna més alcalina. La quantitat d'hidrogen ionitzat a una solució està indicada pel concepte de pH. Al laboratori, una solució amb un pH de 7 és neutra, a aquesta concentració el nombre d'ions hidrogen està equilibrat pel nombre d'ions hidroxil (OH^-) presents. Una solució àcida té un valor de pH inferior a 7 i una solució alcalina té un valor de pH més gran que 7. A més a més d'això, un àcid és una substància amb la capacitat de donar ions H^+ i una base és un compost amb la capacitat per acceptar o captar ions H^+ .

El pK^1 de l'àcid làctic és de 3,86, això vol dir que a pH 3,86, la meitat de les molècules estan com a àcid làctic i l'altra meitat com a lactat. Si el pH disminueix, augmenta la proporció d'àcid làctic sobre la del lactat i es pot assolir un valor de pH en què el 100% de les molècules siguin d'àcid làctic. En el cas contrari, si el pH augmenta per sobre de 3,86, aquesta proporció disminueix fins a aconseguir només la forma de lactat. Que és el que passa al pH sanguini que té un valor de pH de 7,35 a 7,45.

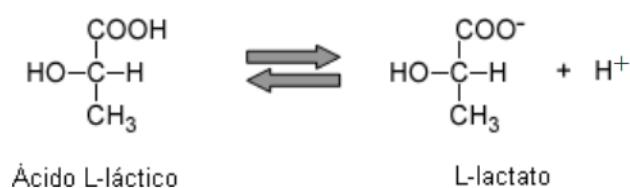


Figura 1: L'àcid làctic s'ionitza en forma de lactat i un protó (H^+)

Font: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revedubio/reb-2008/reb084b.pdf>

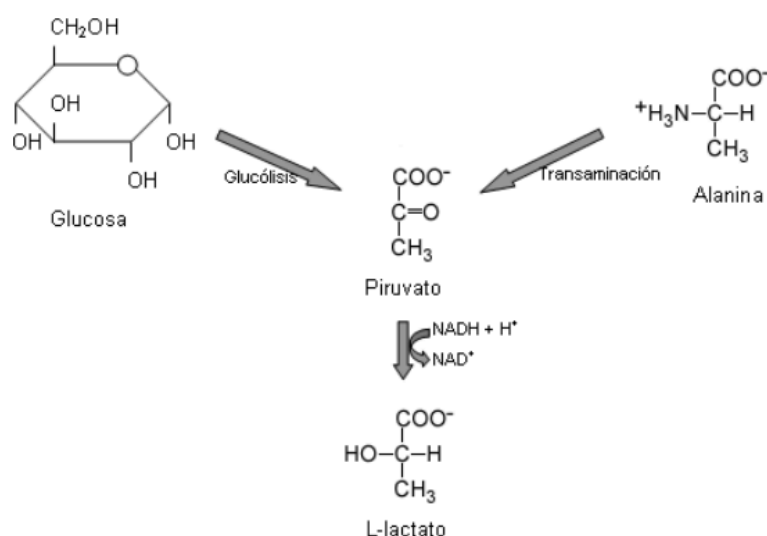


Figura 2: El lactat es forma a partir de piruvat, produït a partir de glucosa (via glucolítica).

Font: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revedubio/reb-2008/reb084b.pdf>

¹ **El pK:** El valor de pH d'una solució on l'àcid i la base es troben a concentracions del 50% cadascuna.

2. El Metabolisme

El metabolisme és el conjunt de reaccions químiques que ocorren dins les cèl·lules d'un organisme que converteixen o utilitzen energia. Aquestes reaccions es classifiquen en dos processos: el catabolisme, que degrada les molècules per obtenir energia, i l'anabolisme, que utilitza aquesta energia per construir molècules més complexes.

El **catabolisme** es dedica a la descomposició de molècules orgàniques complexes en molècules més simples, a fi d'alliberar energia. Aquesta energia alliberada sol emmagatzemar-se als enllaços fosfat que presenta l'ATP, una molècula utilitzada en diverses funcions cel·lulars gràcies a la seva capacitat de proporcionar l'energia necessària per a molts processos. Un dels processos catabòlics més importants per obtenir energia és la respiració cel·lular que s'explicarà amb més detall a continuació.

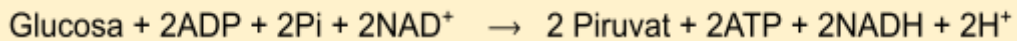
- **La Glucòlisi**

La glucòlisi és una reacció catabòlica que li permet obtenir energia ràpidament a la cèl·lula. Consisteix a descompondre una molècula de glucosa en dues molècules més petites anomenades piruvat. Aquest procés es produeix en el citosol de la cèl·lula i no necessita oxigen, per la qual cosa pot passar tant en condicions aeròbiques com en anaeròbiques.

Per acció d'uns enzims específics, es duen a terme deu reaccions que fan possible la glucòlisi. El procés es divideix en dues fases. A la primera fase, la fosforilació de la glucosa, la cèl·lula consumeix 2 molècules d'ATP i després d'unes reaccions, s'aconsegueix trencar la glucosa en 2 molècules de gliceraldehid-3-fosfat. A la segona fase, les dues molècules de gliceraldehid-3-fosfat es transformen en 2 molècules de piruvat, amb la reducció de 2 NAD^+ i la consegüent producció de dos NADH. Així es produeixen 4 molècules d'ATP. Si hi ha oxigen, el piruvat seguirà la via metabòlica de la respiració aeròbica al mitocondri per produir més ATP.

En canvi, quan l'oxigen s'està esgotant o quan es tracta d'un procés que requereix energia de forma instantània, es pot continuar amb la producció d'ATP degradant el piruvat a lactat.

Reacció general:



2.1. Respiració aeròbica

La respiració aeròbica es produeix en presència d'oxigen i serveix per a obtenir energia durant activitats de llarga durada, com la natació de mitjana i llarga distància, on es necessita energia de manera constant.

Si s'obté energia d'una molècula de glucosa, el procés és el següent. El piruvat resultant de la glucòlisi pateix una sèrie de reaccions on pateix una descarboxilació i una deshidrogenació, convertint-se en Acetil-CoA i habilitant així el seu pas al cicle de Krebs. Aquest cicle degrada completament els Acetil-CoA en CO_2 i produeix coenzims amb poder reductor (NADH i FADH_2) que estimulen la cadena de transport d'electrons, on es produeix la major part de l'ATP. El balanç energètic és molt més alt que en el catabolisme anaeròbic, de manera que una glucosa, pot arribar a produir fins a 36-38 molècules d'ATP. Tot i això, en tenir més fases és un procés bastant més lent.

2.2. Fermentació làctica

La fermentació làctica és un procés en el qual la molècula de glucosa es descompon en lactat. Aquest procés es pot dur a terme independentment de si es disposa d'oxigen o no, ja que no el requereix. A les cèl·lules musculoesquelètiques s'activa principalment quan l'accés és limitat, ja que la demanda d'energia supera la capacitat de subministrar oxigen als músculs.

Cal destacar però, que els sistemes energètics no funcionen independentment ni s'activen o desactiven, sinó que s'acceleren i s'ajusten a les demandes d'energia. Funcionen de forma contínua i encavalcada en el temps, predominant un o un altre segons sigui la demanda d'ATP en cada moment.

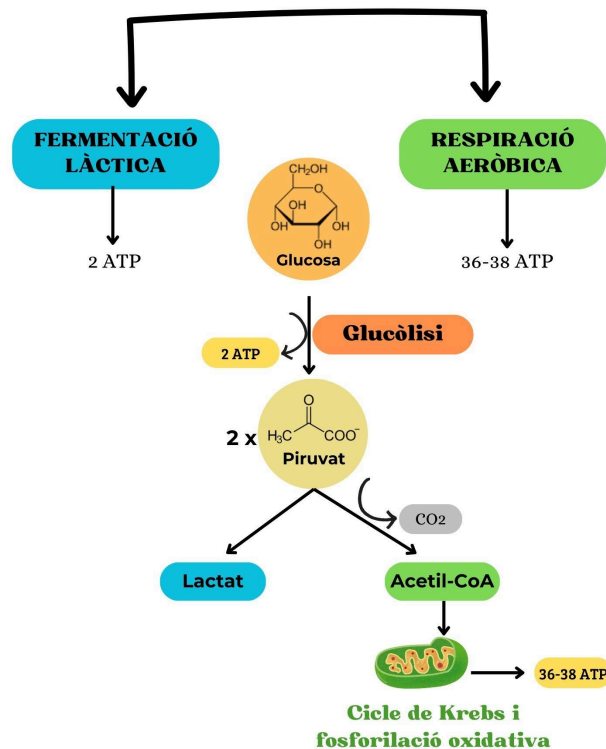


Figura 3: Esquema comparatiu entre la respiració aeròbica i la fermentació làctica
Font: Pròpia

La fermentació làctica és molt útil per sostenir l'esforç durant activitats d'alta intensitat i poca duració, com arrancades, esprints i proves de velocitat. Funciona perquè és un procés ràpid i els músculs poden continuar funcionant encara que sigui a curt termini.

El procés comença amb la glucòlisi, en la qual s'obtenen 2 ATP i es produeixen dos NADH i $2H^+$. Quan no hi ha prou oxigen per permetre la descarboxilació del piruvat generat, aquest es redueix a lactat gràcies a l'acció de: l'enzim lactat deshidrogenasa (LDH), al coenzim NADH generat amb la glucòlisi que s'oxida i a un altre protó.

La glucòlisi depèn del subministrament constant de NAD^+ , i sense una manera de regenerar-lo, s'hauria d'aturar. És per això que durant la glucòlisi, el NAD^+ es redueix a NADH quan accepta electrons. El NADH generat cedeix els seus electrons al piruvat, convertint-lo en lactat i, al mateix temps, regenerant el NAD^+ necessari per continuar el procés de glucòlisi. Es pot dir doncs, que la reducció del piruvat a lactat serveix precisament perquè la glucòlisi no s'aturi.

El lactat i protons (H^+) generats van acumulant-se als músculs i la sang. A mesura que augmenten els nivells d'aquests, es produeix una disminució del pH muscular, i per tant incrementa l'acidesa i proporcionalment la sensació de fatiga i la pèrdua de força muscular. No obstant això, el lactat no només s'acumula, ja que pot ser transportat a altres teixits, com el fetge, on es reconverteix en glucosa a través del cicle de Cori.

Reacció general:

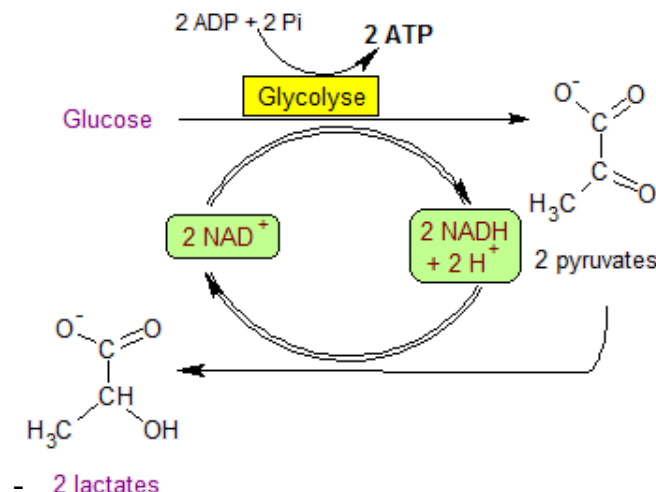
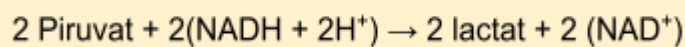


Figura 4: Esquema de la fermentació làctica

Font: https://es.wikipedia.org/wiki/Fermentaci%C3%B3n_l%C3%A1ctica#/media/Archivo:Fermentaci%C3%B3n_l%C3%A1ctica.png

2.3. El cicle de Cori

El cicle de Cori és un cicle fisiològic que encadena tres processos complementaris, dos de catabòlics, la **glucòlisi** i la **fermentació làctica** a les cèl·lules musculars, i un altre d'anabòlic, la **gluconeogènesi** al fetge. Com s'ha esmentat abans, una part del lactat que es produeix, s'acumula al múscul i una altra part surt a la sang i és captada pel fetge. El fetge transforma aquest lactat en glucosa a través de la gluconeogènesi, i aquesta glucosa torna a sortir a la sang i és captada pel múscul per ser novament transformada a lactat. Aquest cicle permet que els músculs es desfacin de l'excés de lactat que, en altes concentracions causen la fatiga muscular.

La conversió del lactat en glucosa s'anomena gluconeogènesi i inclou diversos passos que s'explicaran a continuació:

Primer es transforma el lactat a piruvat al citosol dels hepatòcits (cèl·lules del fetge) per l'acció de l'enzim lactat deshidrogenasa (LDH). Aquest és un procés reversible en què el lactat perd dos electrons, regenerant el NADH que s'havia reduït a NAD^+ en el procés.

En segon lloc, el piruvat produït en la reacció de la LDH és transportat al mitocondri on es converteix en oxalacetat per acció de l'enzim piruvat carboxilasa. Aquesta reacció requereix la inversió d'una molècula d'ATP. L'oxaloacetat no pot sortir directament del mitocondri, és per això que es transforma directament en fosfoenolpiruvat (PEP). Aquesta reacció requereix GTP (guanosina trifosfat) com a font d'energia. Després d'aquesta transformació, el PEP és transportat a l'exterior del mitocondri.

En tercer lloc, a partir del PEP, la gluconeogènesi continua al citoplasma a través d'una sèrie de passos enzimàtics que són, majoritàriament, inversos a la glucòlisi. En aquests passos, el PEP s'acaba convertint en fructosa-6-fosfat.

Per últim, la tercera seqüència de la gluconeogènesi és la desfosforilació de la glucosa 6-fosfat per produir glucosa.

Com l'enzim encarregat de dur a terme aquesta acció només es troba present al fetge i als ronyons, la gluconeogènesi té lloc només en aquests teixits.

La glucosa acabada de sintetitzar al fetge és alliberada novament al torrent sanguini, on pot ser utilitzada com a font d'energia per altres teixits, com els músculs, que la poden fer servir per continuar amb l'activitat física. Tanmateix, s'ha de tenir en compte que el procés de la gluconeogènesi requereix 6 ATP, mentre que el retorn a través de la glucòlisi al lactat produeix només 2 ATP; això significa que pel seu cost energètic, aquest procés no pot mantenir-se indefinidament.

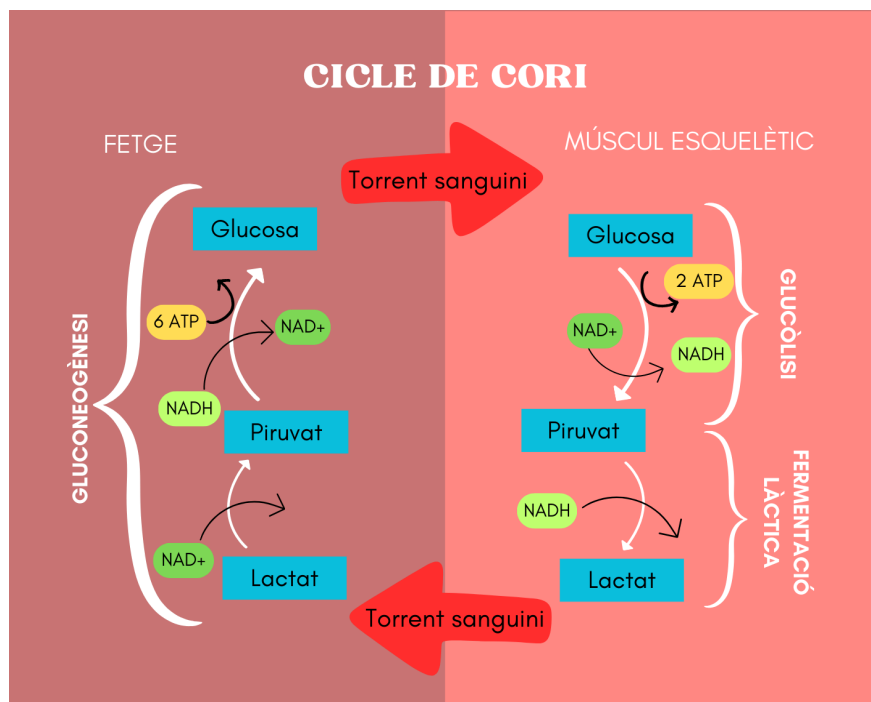


Figura 5: Esquema general del Cicle de Cori
Font: Pròpia

2.4. Reacció del cos a l'acumulació de lactat: la fatiga muscular

Als éssers humans, el líquid extracel·lular normalment és d'un pH d'entre 7,35 i 7,45. Si el pH s'eleva més que això, hi ha un estat d'alcalosi i oposadament, si el pH cau per sota aquest valor, hi ha un estat d'acidosi. De totes maneres, a l'estat d'acidosi causat per l'exercici intens, el pH no descendeix per sota de 6,4.

La contracció muscular intensa va acompanyada d'un increment del contingut d'aigua del múscul distribuït als espais intracel·lulars i extracel·lulars. Aquesta aflluència d'aigua pot modificar la concentració d'ions en tots dos compartiments i el resultat d'aquests canvis, serà una reducció de la diferència de concentració d'ions i conseqüentment, l'augment de la concentració d'ions d'hidrogen intracel·lular, produint acidosi. D'altra banda, quan l'exercici es perllonga durant un cert temps el qual depèn de cada individu, arriba un punt en què el lactat i els protons comencen a acumular-se a causa de les grans quantitats generades, ja que les demandes metabòliques de l'exercici d'alta intensitat es cobreixen predominantment mitjançant la degradació anaeròbica de la glucosa, fet que augmenta encara més l'**acidosi** als teixits musculoesquelètics.

Aquesta acidosi influeix clarament a la fatiga muscular, provocant canvis en el pH que poden afectar negativament la producció energètica i la contracció muscular. Un pH intracel·lular inferior a 6,9 inhibeix l'acció de la fosfofructoquinasa, un enzim glicolític important, alentint la velocitat de la glicòlisi i la producció d'ATP. Amb un pH de 6,4, l'acció dels ions H^+ deté qualsevol degradació addicional de glicogen, provocant una ràpida disminució de l'ATP i, en última instància, l'exhauriment.

A més, els ions H^+ poden reduir la quantitat de calci alliberat del reticle endoplasmàtic, interferint amb l'acoblament dels ponts actina-miosina i disminuint la força contràctil del múscul. No obstant això, l'impacte sobre la producció de força muscular és petit. Un efecte més gran prové dels ions H^+ que actuen disminuint la sensibilitat dels miofilaments al calci, causant una pèrdua de força i velocitat contràctil. A causa d'aquests efectes, un pH muscular baix pot ser una causa principal de la fatiga en exercicis de 20 a 30 segons de durada. Els processos descrits donen com a resultat el que es coneix com a fatiga, la qual provoca una pèrdua progressiva del rendiment muscular i limita la capacitat de mantenir l'exercici, ja que el cos en aquest punt manca de l'energia necessària per continuar.

2.5. Després de l'exercici: la recuperació

La manera que té l'organisme d'eliminar el lactat acumulat és a través de la **gluconeogènesi**. Quan l'exercici s'atura o se'n disminueix considerablement la intensitat, el lactat que hi ha a les fibres musculars es pot reconvertir novament en glucosa al fetge, a través del Cicle de Cori.

A més a més, el metabolisme normal del cos produeix contínuament radicals àcids, i per evitar canvis en el pH en resposta a modificacions a l'acidesa dels líquids corporals, l'organisme compta amb un sistema *buffer* o d'amortiment capaç de lluitar contra aquests canvis, a més de la regulació respiratòria i la regulació renal del pH.

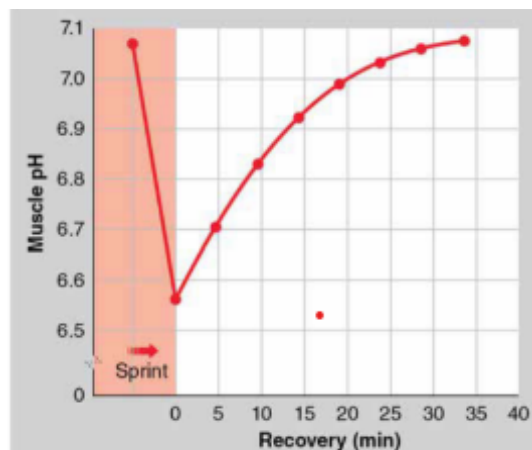


Figura 6: Gràfica que mostra la variació del pH muscular en funció del temps.
Font: Kenney, W. L., Wilmore, J., & Costill, D. (2015). *Physiology of Sport and Exercise* (6th ed.). USA: Human Kinetics. (Pàg. 150)

La figura 6 mostra com el pH muscular disminueix immediatament després de l'esprint i augmenta progressivament a mesura que es recupera.

Per restablir el pH muscular després d'un esprint esgotador, es requereixen uns 30-35 minuts de recuperació. Fins i tot quan es retorna al pH normal, els nivells de lactat muscular i sanguini poden romandre força elevats.

No obstant això, l'experiència ha demostrat que un esportista entrenat pot continuar fent exercici a intensitats altes amb un pH muscular inferior a 7,0 i un nivell de lactat per sobre de 6 o 7 mmol per litre de sang.

3. La natació

La natació és un esport aquàtic que consisteix en el desplaçament d'una persona per l'aigua utilitzant el seu propi cos. La seva pràctica té múltiples beneficis, ja que és un esport molt complet muscularment i de baix impacte. Arran d'això, la natació és un esport molt practicat, no només a nivell competitiu sinó que també a nivell recreatiu des de la infantesa i com un programa de rehabilitació per tractar a persones que pateixen patologies principalment de la columna vertebral.

La natació a escala competitiva és un esport individual. En una competició, un nedador mira de ser el més ràpid dels participants en una certa distància o intenta millorar la seva millor marca personal. Les competicions es realitzen en piscines de 25 metres o de 50 metres, sent aquesta la distància olímpica i on tenen lloc gairebé la majoria de competicions d'alt nivell i internacionals. Per norma general, la piscina de competició sempre està dividida en vuit o deu carrers separats per sureres (més conegudes com '*corcheras*' en castellà) on competeix un màxim d'un nedador per cada carrer.

3.1. Els estils

La natació pot practicar-se realitzant diversos estils, que són diferents moviments de tipus alternatius o simultanis que es distingeixen entre ells i permeten el desplaçament per l'aigua. Existeixen només quatre estils reconeguts oficialment per la Federació Internacional de Natació (FINA).

- **Papallona**

És un estil de tipus simultani amb moviment simètric del cos, on els braços es desplacen alhora cap endavant per sobre l'aigua i després cap enrere per sota, la respiració és frontal en la majoria dels casos i les cames realitzen dues batudes ondulatòries sincronitzadament. La primera batuda es realitza quan els dos braços van cap endavant i serveix per impulsar el

cos cap aquesta direcció i d'aquesta manera facilitar el *recobro* dels braços per sobre de l'aigua per poder tornar a efectuar el cicle de braçada. La segona batuda es fa quan els braços van cap endarrere per sota l'aigua i serveix per augmentar l'impuls realitzat per aquests i tenir més desplaçament. És el segon estil més ràpid.



Figura 7: Nedadora fent papallona.
Font: Pròpia

- **Esquena**

És un estil de tipus alternatiu que es realitza en posició dorsal de panxa enlaire i per tant, el nedador té la possibilitat de respirar tota l'estona. Els braços es mouen cap endarrere per sobre l'aigua alternant-se entre ells al mateix moment que les cames fan batudes alternatives també. El dit petit és el primer a entrar a l'aigua, després entra tota la mà i el canell es flexiona; a continuació la mà realitza un impuls dirigint-se en direcció als peus alhora que el colze fa una flexió de fins a 90° quan es troba l'altura de les espatlles.

Un cop realitzat l'impuls, l'altre braç efectua el mateix moviment mentre el primer recobra la braçada dirigint el braç totalment estirat en direcció més a dalt del cap i per sobre de l'aigua. L'esquena és el tercer estil més ràpid.



Figura 8: Nedadora fent esquena
Font: Pròpia

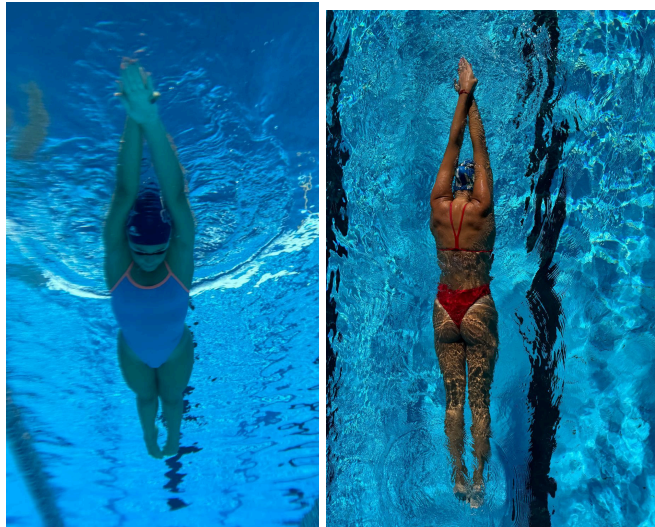
- **Braça**

És un estil de tipus simultani amb moviment simètric del cos, i es considera l'estil més lent d'entre els quatre. La braça comença amb el nedador de bocaterrosa amb les cames totalment estirades i els braços en posició fletxa*. Els braços s'obren fins a separar-se a l'altura de les espatlles i es porten les mans per sota del pit traient de l'aigua el pit i el cap per poder respirar. En aquest instant, les mans tornen a ajuntar-se i s'impulsen cap endavant juntament amb una batuda que les propulsa per tornar a quedar-se en posició fletxa. La batuda sovint es compara amb la d'una granota i s'efectua flexionant els genolls per portar els talons gairebé al cul amb les puntes del peu enfocant cap a fora, després s'obren els genolls uns 45° respecte a la perpendicular del cos i es tornen a estirar les cames amb força per impulsar el cos.



Figura 9: Nedadora fent braça
Font: Pròpia

* **Posició fletxa:** A la natació, consisteix a disposar el cos en una posició hidrodinàmica on el cos està completament estirat i en tensió; els braços es troben enganxats a les orelles estirats per sobre del cap amb les mans sobreposades i les cames completament esteses i juntes.



Figures 10 i 11: Nedadora en posició fletxa
Font: Pròpia

● Crol

És l'estil més ràpid i el més utilitzat tan recreativament com a nivell competitiu o d'elit. És un estil de tipus alternatiu on les cames fan batudes curtes i ràpides continuades, els braços es mouen cap endavant i la respiració és lateral. La braçada comença amb l'entrada a l'aigua per sobre del cap d'una mà i després la del braç gairebé estirat. Posteriorment, la mà es dirigeix cap a baix amb el colze flexionat per "agafar" la màxima aigua possible. El recorregut subaquàtic acaba amb l'empenta de la mà cap endarrere i dirigint el cos el sentit contrari. En la fase aèria o *recobro*, el braç surt de l'aigua començant per l'espatlla i acabant per la mà. En aquest moment hi ha diverses variants en la tècnica segons si es vol un estil més ràpid, on el colze no es flexionarà i el braç es dirigirà ràpidament al punt de partida, o un estil més còmode que es pugui aguantar més estona, on el colze farà una flexió i es mantindrà sempre per sobre del canell. Quan la mà està a punt de passar el cap en la fase de *recobro*, és quan s'efectua la respiració, i també quan l'altre braç comença la braçada.



Figura 12: Nedadora fent crol
Font: Pròpia

3.1.1. Implicació muscular i demanda energètica de cada estil

La natació és un esport molt complet. La varietat d'estils que hi ha ofereix la possibilitat de treballar la majoria de músculs i articulacions del cos en la seva pràctica. Tot i que cada estil activa una sèrie de músculs, tots requereixen una forta coordinació entre els del tren superior i inferior del cos per nedar de manera eficient.

La papallona

Aquest estil activa principalment els músculs del pit, de les espatlles i de l'esquena, que ajuden per a la propulsió a la braçada. També activa els abdominals i els músculs de les cames que proporcionen estabilitat i força per a la batuda ondulatòria.

Al moviment hi participen uns 56 músculs, entre els quals, els principals són: el pectoral major, el deltoide, el dorsal ample, el trapezi, la recta anterior de l'abdomen, el tríceps braquial, el bíceps braquial, el gluti major, el gastrocnemi, el soli, el vast medial, el vast lateral, el bíceps femoral i el semitendinos.

En comparació amb els altres estils, la papallona té la implicació muscular més gran per cycle de braçada, i per això es considera l'estil més intens i exigent físicament. És relativament difícil nedar la papallona a una intensitat baixa, per això **l'obtenció d'energia és principalment anaeròbica**. L'explosivitat de l'estil, les batudes potents i la força de la part superior del cos, condueixen a una fatiga ràpida. De fet, certs estudis demostren que la potència de la batuda té un alt consum d'oxigen que converteix la papallona en l'estil que consumeix més energia i en el menys eficient per a esforços sostinguts.

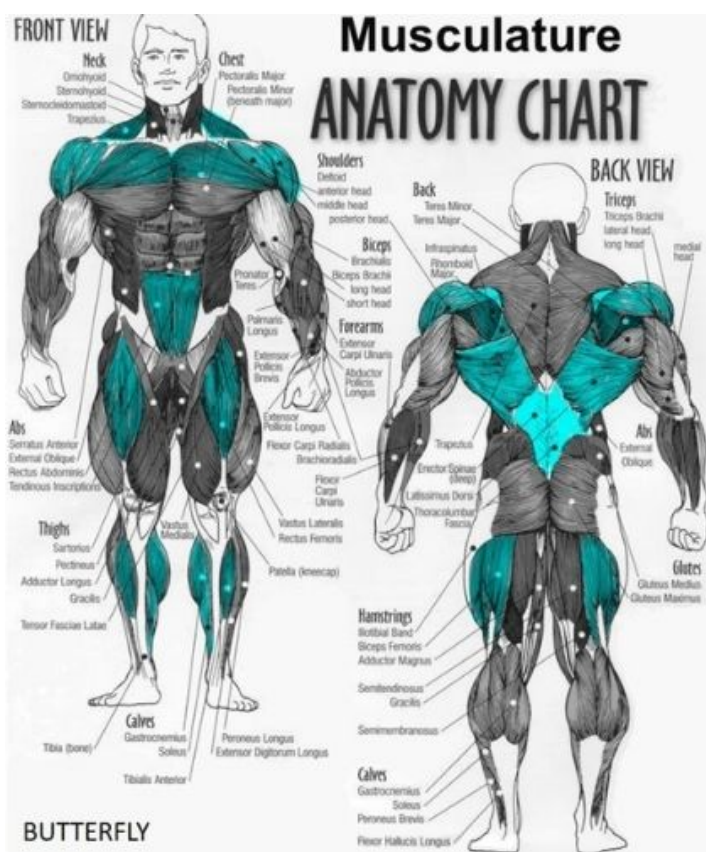


Figura 13: La musculatura implicada en l'estil de papallona

Font: <https://www.swimmingworldmagazine.com/news/a-look-at-swimmer-muscles-by-stroke/>

L'Esquena

A l'esquena, és característic el moviment dels braços cap enrere. Els músculs del tronc ajuden a establir el cos, mentre que els músculs de les cames col·laboren a la batuda.

Es compta amb uns 47 músculs per dur a terme aquest estil. Els músculs principalment utilitzats són: el deltoide, el trapezi, el dorsal ample, la recta anterior de l'abdomen, el gluti major, el sartori, el vast lateral, el vast medial, el gastrocnemi i el bíceps femoral.

L'esquena, en ser un estil alternatiu, requereix menys explosivitat que els estils simultanis i, per tant, és **més eficient energèticament** que ells. Predomina la seva demanda aeròbica tot i que en esforços més intensos també s'obté energia anaeròbica.

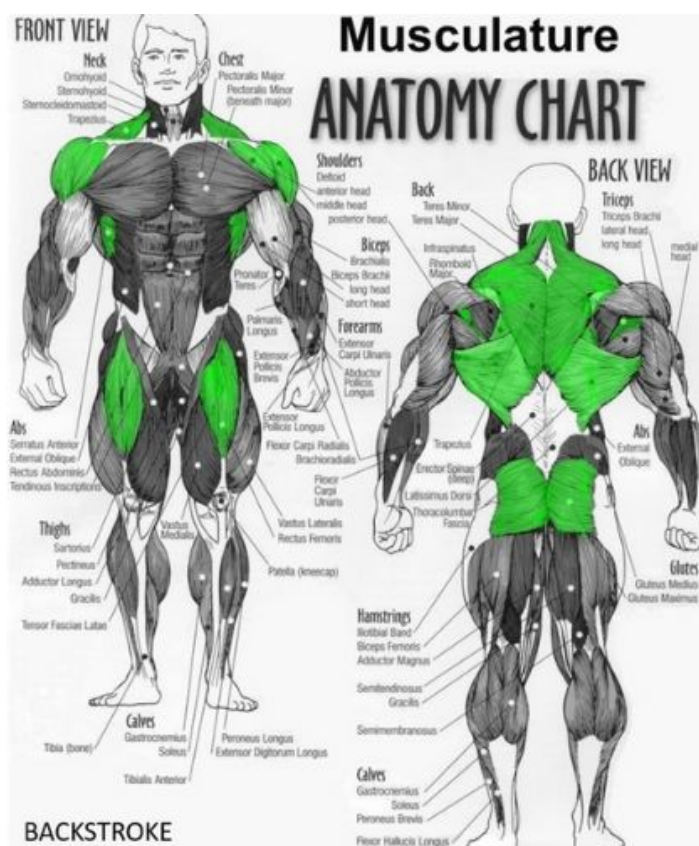


Figura 14: La musculatura implicada en l'estil d'esquena

Font: <https://www.swimmingworldmagazine.com/news/a-look-at-swimmer-muscles-by-stroke/>

La Braça

Per fer aquest estil, cal força per empènyer els braços cap endavant i per obrir la braçada. Però no només això, ja que el moviment característic de les cames en aquest estil, requereix l'ús de més músculs en aquesta zona que en qualsevol altre estil.

En total hi participen 35 músculs i els principals són: el pectoral major, el deltoide, el dorsal ample, el trapezi, el recte abdominal, el sartori, l'adductor llarg, el vast medial, el vast lateral, el gastrocnemi i el gluti major.

Com la papallona, la braça també és un estil simultani, més lent i menys explosiu, però que implica un **cost energètic molt alt** de totes maneres. Tot i que la braça es pot nedar a una intensitat més baixa, en distàncies llargues es torna molt exigent pel fet que la seva tècnica requereix una desacceleració i acceleració contínua que té molt de desgast.

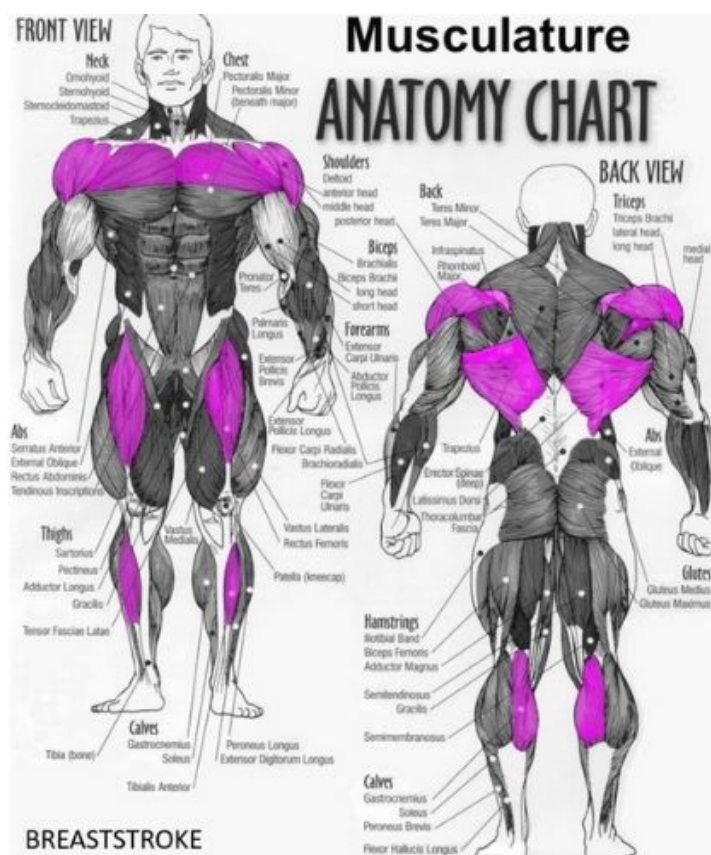


Figura 15: La musculatura implicada en l'estil de braça

Font: <https://www.swimmingworldmagazine.com/news/a-look-at-swimmer-muscles-by-stroke/>

El Crol

Pel que fa a músculs, el crol activa un nombre considerable de músculs, en primer lloc, per generar potència en el moviment dels braços, i també per mantenir una bona alineació i freqüència de batuda.

Es fa ús de 43 músculs generalment i els principals són els següents: el pectoral major, el deltoide, el dorsal ample, el trapezi, el recte abdominal, el sartori, el vast medial, el vast lateral, el gastrocnemi, el gluti major, el bíceps femoral, l'infraspinós, i el rodó major.

En termes d'ús d'energia, el crol és generalment **el més eficient**. La seva tècnica permet als nedadors mantenir la velocitat amb una despesa energètica menor i per tant, és habitual que predomini el sistema anaeròbic que permet nedar distàncies més llargues amb menys fatiga. En canvi, a una alta intensitat, el crol té un gran consum d'energia anaeròbica.

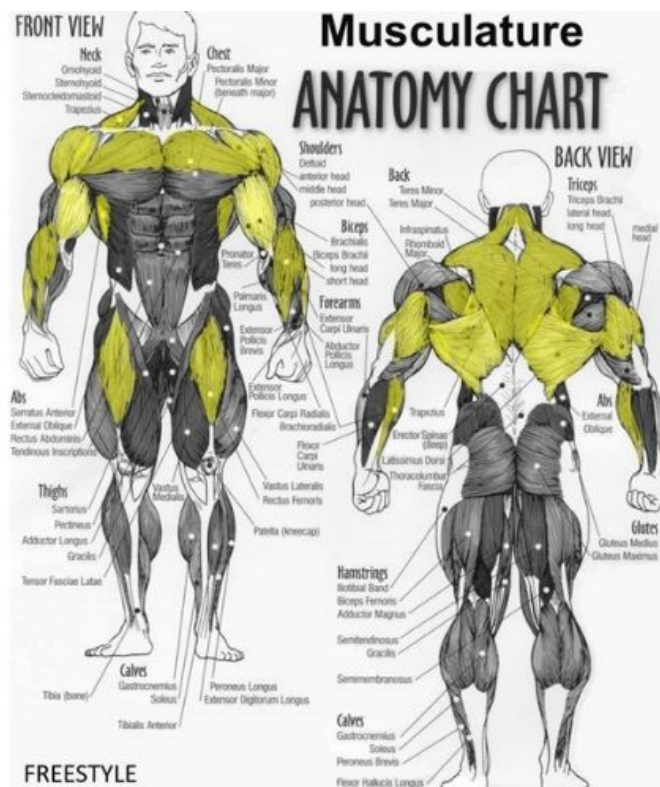


Figura 16: La musculatura implicada en l'estil de crol

Font: <https://www.swimmingworldmagazine.com/news/a-look-at-swimmer-muscles-by-stroke/>

3.2. Tipus de proves

En una competició de natació, existeix la possibilitat de nedar diverses proves. La Federació Internacional de Natació (FINA) en reconeix 43 en total en les seves competicions: 21 femenines, 21 masculines i 1 mixta. Tanmateix, com a olímpiques només en considera 35, ja que els 50m de papallona, esquena i braça i els 100m estils no es neden.

Dels estils papallona, esquena i braça, es poden nedar 50m, 100m i 200m. En canvi, a les proves d'estil lliure² existeixen les distàncies de 50m, 100m, 200m, 400m, 800m, i 1500m, considerant-se les dues últimes **proves de llarga distància** i les dues anteriors a aquestes **proves de mitjana distància**.

En les proves d'estils individuals, el nedador completa els quatre estils en l'ordre següent: papallona, esquena, braça i estil lliure. Es neda dins de les distàncies de 100m, 200m o 400m i cada un dels estils ha de cobrir una quarta part de la distància.

A més a més, existeixen proves de relleus. Els relleus reconeguts a les olimpíades són el 4x100 lliures, 4x200 lliures, el 4x100 estils i el 4x100 estils mixt.

3.3. Entrenament de la natació

L'entrenament de la natació d'alt rendiment és una activitat que requereix les condicions idònies tant físiques com psicològiques del nedador per arribar a un estat competitiu òptim.

3.3.1. Zones d'entrenament

A mesura que augmentem la intensitat de l'exercici, trobem uns punts d'inflexió que suposen canvis fisiològics tant a les vies d'obtenció d'energia com a les fibres musculars que s'utilitzen. Aquests són el llindar aeròbic i el llindar anaeròbic.

² **Estil lliure:** Vol dir que, en una prova que porti aquest nom, el nedador pot nedar en qualsevol estil, tot i que habitualment es neda en estil crol, ja que és el més ràpid.

En funció d'aquests llindars es poden determinar les zones d'entrenament. Per determinar-les, hem de fixar-nos en els ítems següents:

- Concentració de lactat en sang: comença a créixer i es manté a nivells baixos durant el llindar aeròbic i es dispara indicant l'inici del treball principalment anaeròbic.
- Freqüència cardíaca: augmenta progressivament amb la intensitat de l'exercici.
- El volum d'oxigen màxim (VO₂ màx.): la quantitat màxima d'oxigen que l'organisme pot metabolitzar. Superar aquest punt suposa la predominança del treball anaeròbic on l'obtenció energètica es duu a terme gràcies a la fermentació làctica que no depèn de l'oxigen.
- Percepció subjectiva de l'esforç: el nivell de fatiga que l'esportista sent o percep.

El llindar aeròbic

És la intensitat a partir de la qual l'energia prové principalment del **catabolisme aeròbic** dels greixos i glúcids. A aquesta intensitat és molt probable que la producció de lactat no sigui nul·la, ja que com s'ha esmentat abans, les vies d'obtenció d'energia no actuen independentment. Tot i això, els nivells en sang són molt baixos i augmenten molt lenta i progressivament. El llindar aeròbic representa, en general, una **intensitat baixa o moderada** i l'exercici pot sostenir-se durant hores depenent de factors com la hidratació, l'alimentació i la preparació física, entre d'altres.

El llindar anaeròbic

És la intensitat a partir de la qual la **fermentació làctica** és la principal productora d'energia, i per tant se supera l'estat estable màxim de lactat. En aquest moment, la gràfica del lactat que anava augmentant linealment, es dispara dibuixant una gràfica amb tendència exponencial. De la mateixa manera la ventilació augmenta desproporcionalment en comparació del consum d'oxigen. La freqüència cardíaca també es troba en els seus valors màxims. Per tant, com més alta és la intensitat que un esportista pot mantenir abans de trobar-se amb aquest llindar, millor és el seu rendiment.

4. El lactat com una eina d'entrenament

La producció de lactat durant la realització d'un exercici físic, es pot dir que varia segons la persona i la intensitat de l'exercici. En general, qualsevol esforç realitzat per sobre un consum d'oxigen específic és diferent per a cada organisme i provoca l'augment de lactat present a la sang i als músculs.

4.1. Factors que afecten la producció de lactat

4.1.1. L'edat

Un estudi³ va observar que durant una prova ergomètrica progressiva, els nens en comparació amb els adults, i en relació percentual al consum màxim d'oxigen (VO_2 max), registren menors concentracions de lactat per a cada estadi de càrrega.

Els valors màxims de lactat en sang i en el múscul del quàdriceps són inferiors en un nen que en un adult. Això suggereix que la capacitat dels nens per produir lactat durant l'exercici màxim depèn de la maduració biològica. Es registra un increment dependent de l'edat de l'acidosi màxima possible de 0,01-0,02 unitats de pH per any d'edat.

Tot i que no semblen existir diferències dependents de l'edat entre nens i adolescents, el lliandar anaeròbic als nens i adolescents, es registra a nivells superiors que als adults. Tanmateix, el màxim estat estable per al lactat sanguini en nens s'ha estat establert en uns valors que no són substancialment diferents dels dels adults.

4.1.2. Sexe biològic

La variació en la producció de lactat en homes i dones es deu principal a la diferència de massa muscular i volum de sang. Les dones solen tenir menys volum muscular i sang que els homes, això significa que els valors de concentració de lactat que les dones poden presentar són més baixos.

³Eriksson, B. O., Karlsson, J., & Saltin, B. (1971). Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta paediatrica Scandinavica. Supplement*, 217, 154–157.
<https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1971.tb05717.x>

4.1.3. Cicle menstrual

Les fases del cicle menstrual alteren les hormones d'una dona. Aquests canvis hormonal poden influir en els nivells de lactat. En dones sanes entrenades algunes investigacions observen concentracions menors de lactat durant la fase luteínica, mentre que altres no descriuen diferències. Aquesta variabilitat en la concentració de lactat durant les fases del cicle, no és superior al 5% en aquests estudis esmentats, de manera que no es poden detectar diferències clares entre les fases.

Per últim, segons altres autors, en algunes corredores de mitjana i llarga distància el dia de l'ovulació i/o els dies abans o després de la menstruació es produeix una reducció de la capacitat de rendiment, que s'expressa per una reducció de 0,3 a 0,4 m/s en la velocitat a què es registra el llindar anaeròbic.

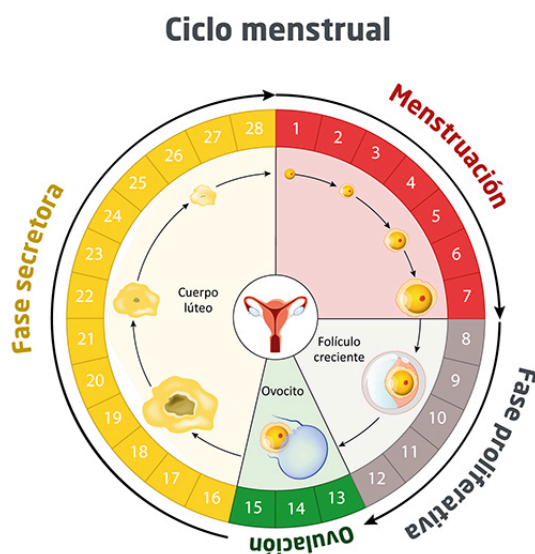


Figura 17: Fases del cicle menstrual

Font: <https://www.quironsalud.com/embarazoymaternidad/es/etapas/quiero-quedarme-embarazada/ciclo-menstrual-fertilidad>

4.1.4. Dieta

Una dieta rica en glúcids entre 3-7 dies augmenta les reserves de glicogen muscular, millorant la capacitat de produir lactat. Per contra, un dèficit de glucogen en redueix la producció.

La ingesta de glucosa just abans de fer un exercici físic produeix un augment de la glucèmia, i pot produir secundàriament un augment de la concentració de lactat a sang.

D'altra banda, la ingesta de cafeïna abans de l'exercici no influeix en les concentracions de lactat, si es tracta d'un exercici progressiu. En canvi, en un exercici submàxim continuat, hi ha discrepàncies en la literatura; mentre uns afirmen que hi provoca un augment, altres hi indiquen una disminució i hi ha un altre grup que no observen diferències significatives.

4.1.4. Condició física

Un esportista entrenat té un major percentatge de fibres musculars i una millor capacitat de gestionar el lactat, retardant la seva acumulació i desplaçant els límits cap a intensitats superiors, reflectint una millor eficiència metabòlica.

4.2. Metodologia per mesurar el lactat en sang

Els nivells de lactat en sang, són un indicador de la intensitat de l'exercici i la capacitat del cos per gestionar-ne l'acumulació. Com ja s'ha explicat en diversos punts anteriors, a mesura que la intensitat de l'entrenament augmenta, especialment durant l'exercici anaeròbic, la concentració de lactat en sang s'incrementa de manera significativa. Mesurar aquests nivells, permet als entrenadors adaptar els entrenaments dels esportistes per optimitzar-ne el rendiment. Les unitats més utilitzades per fer aquest mesurament són els mil·limols de lactat per litre de sang (**mmol/L**).

Per quantificar la concentració de lactat en sang, primer cal extreure'n una mostra. El mètode més utilitzat és la **punció capil·lar**, que consisteix a extreure amb una llanceta estèril una gota de sang d'un capil·lar sanguini. Les zones més freqüents són la punta del dit o el lòbul de l'orella. Posteriorment, se'n fa una anàlisi per la qual es poden utilitzar diferents dispositius que es descriuran a continuació.

4.2.1. Anàlisi de les mostres amb un dispositiu *Lange*.

Els dispositius *Lange* s'utilitzen per mesurar la quantitat de lactat a través d'un **mètode espectrofotomètric**. Aquest mètode es basa en una **reacció enzimàtica** que produeix un canvi de color en la mostra. La intensitat del color mesurada per espectrofotometria, és directament proporcional a la concentració de lactat en la mostra.

Aquest mètode destaca sobretot per la seva precisió, és per això que requereix més temps i s'ha de dur a terme al laboratori, ja que es necessita un equipament específic.

Per analitzar la mostra, primer es preparen uns tubs d'assaig amb un cromogen i amb l'enzim lactat oxidasa que actuarà com a biocatalitzador d'acció específica d'aquesta reacció. Després es barreja una quantitat de mostra de sang amb aquests reactius i es produeix la reacció que té com a productes finals el piruvat i el peròxid d'hidrogen. Aquest últim reacciona amb el cromogen i produeix un color vermellós del qual se'n mesura la intensitat. Per fer-ho, es fa servir un espectrofotòmetre, ajustat a la longitud d'ona corresponent al cromogen utilitzat. Aquesta lectura es correlaciona amb una escala de concentracions de lactat per obtenir el resultat final.



Figures 18 i 19: Exemple d'un model Lange: *Dr. Lange Miniphotometer type plus LP20*

Font (18): <https://www.doc-market.eu/8V8HV63H-minifotometro-dr-lange?spr=es>

Font (19): <https://www.jordan-gamma.de/produkt/ready-test-hb-k3-spm-1143-0>

4.2.2. Anàlisi de les mostres amb un dispositiu L-Pro Scout.

Els dispositius L-Pro Scout mesuren la quantitat de lactat en una mostra a través d'una **reacció enzimàtica** que genera un **senyal elèctric**.

Aquests aparells són molt pràctics perquè són portàtils, fàcils d'utilitzar i proporcionen resultats immediats. No obstant això, no són tan precisos com els dispositius esmentats anteriorment.

Per fer l'anàlisi de les mostres es fan servir unes tires reactives d'un sol ús. Es diposita una gota de sang sobre la tira reactiva, assegurant que la quantitat sigui suficient per activar la reacció enzimàtica dins la tira. El lactat de la sang reacciona amb l'enzim lactat oxidasa de la tira i com en la reacció anterior, es produeixen piruvat i peròxid d'hidrogen (H_2O_2). El peròxid interacciona amb altres substàncies presents a la tira produint un senyal elèctric que l'aparell detecta i mitjançant un algoritme intern del dispositiu es mostra la lectura final en mmol/L a la pantalla.



Figures 20 i 21 Aparell *Lactate Scout Sport Solo*

Font (20): <https://shop.biolaster.com/en/performance/1091-analizador-lactate-scout-4-solo>

Font (21): <https://www.digas.gr/en-gb/lactate-scout-sport-solo-professional-lactic-acid>

4.3. Aplicació dels resultats a la programació dels entrenaments.

La interpretació dels resultats combinada amb altres paràmetres com la freqüència cardíaca, la percepció de l'esforç, etc., serveix per personalitzar les sessions d'entrenament. Són una eina per **identificar el límit anaeròbic** de cada esportista i d'aquesta manera determinar-ne les zones d'entrenament utilitzant com a referència aquests altres paràmetres (la freqüència cardíaca o la percepció subjectiva de l'esforç). A partir d'aquí, es dissenyen programes específics segons l'objectiu, com augmentar el rendiment en proves de llarga distància o desenvolupar la capacitat per sostenir intensitats altes durant més temps.

La funció dels tests de lactat, doncs, és indicar la condició física. Si se'n fan periòdicament, aporten dades sobre l'**evolució** de l'esportista i permeten valorar si l'entrenament és l'òptim.

5. La percepció subjectiva de l'esforç

La percepció de l'esforç, tot i que des d'un principi pugui semblar un factor intranscendent per la seva subjectivitat, és precisament per aquesta característica que té una gran rellevància i cada cop s'implementa més com una eina a l'hora d'entrenar. Aquesta dada aporta una **informació molt individualitzada** sobre la intensitat d'un exercici, ja que s'adapta a l'estat de forma de cada dia que pot estar condicionat per factors externs a més dels de la condició física.

La primera escala per quantificar aquesta dada va ser introduïda per Gunnar Borg i és l'anomenada **escala de Borg**. Originalment, quantificava l'esforç des del 6 fins al 20, perquè volia correlacionar-se amb el 10% de la freqüència cardíaca teòrica d'un individu de 20 anys ($FC_{màx} \text{ teòrica} = 220 - \text{Edat}$).

Finalment però, l'escala més utilitzada va ser la que va introduir posteriorment que quantifica l'esforç de l'1 al 10.

1 - 10 Borg Rating of Perceived Exertion Scale	
0	Rest
1	Really Easy
2	Easy
3	Moderate
4	Sort of Hard
5	Hard
6	
7	Really Hard
8	
9	Really, Really, Hard
10	Maximal: Just like my hardest race

Figura 22: Escala de Borg (0-10)

Font: <https://exercise.trekeeducation.org/assessment/borg-scale-rpe/>

5.1. Importància en l'entrenament

Fins ara hem vist que la fatiga és causada únicament per factors biològics o fisiològics. Més enllà d'això, el cervell i l'estat d'ànim també hi tenen un paper molt important.

L'activació dels músculs depèn, en part, del control conscient o subconscient del cervell. Revisant la literatura s'ha trobat una teoria alternativa a la fatiga causada per agents fisiològics, és l'anomenada teoria del governador central, en anglès "central governor theory". Aquesta teoria proposa que ocorren processos al cervell que regulen la producció d'energia dels músculs per mantenir l'homeòstasi i prevenir nivells d'esforç perillosos que puguin danyar teixits o causar esdeveniments catastròfics. El governador central, és a dir, el sistema nerviós central (SNC), limita l'exercici en disminuir l'activació de fibres musculars, cosa que provoca fatiga. Encara que aquesta teoria ha estat molt debatuda en els darrers anys, el concepte va ser proposat per primera vegada per A.V. Hill el 1924.

Sens dubte, el sistema nerviós central està involucrat en la majoria dels tipus de fatiga. Quan sembla que els músculs d'un subjecte estan gairebé exhausts, l'estímul verbal, els crits, la música o fins i tot l'estimulació elèctrica directa del múscul poden augmentar la força de la contracció muscular. A menys que estiguin altament motivats, la majoria de persones interrompen l'exercici abans que els seus músculs estiguin fisiològicament exhausts. Per aconseguir un rendiment màxim, els atletes s'entrenen per ser capaços de tolerar la fatiga.

Un bon rendiment en una competició requereix la capacitat de sostenir l'exercici a la màxima intensitat durant un cert període de temps i retardar l'aparició de la fatiga tant com sigui possible. Les estratègies doncs per millorar el rendiment i augmentar la intensitat i durada de l'activitat són importants.

Durant curses de resistència o de llarga durada, com ara maratons o triatlons, molts fisiòlegs de l'exercici creuen que la fatiga resulta de l'esgotament de les reserves d'energia del cos. Alternativament, una altra teoria anomenada "model psicobiològic del rendiment de resistència" suggereix que la fatiga és causada per la decisió conscient d'aturar una activitat, en comptes de per límits fisiològics. Aquest model coincideix amb la teoria del governador central, però a un nivell més conscient. Segons aquest model, el factor determinant final del rendiment en atletes altament motivats és la interacció entre la percepció de com de difícil i d'esgotador és l'esforç i els factors motivacionals. Específicament, el model postula que les persones decideixen conscientment deixar de fer exercici quan l'esforç percebut excedeix l'esforç màxim que estan disposades a fer per continuar. Segons aquest raonament, les estratègies per reduir la percepció de l'esforç poden endarrerir l'aparició de la fatiga als esportistes.

Es van realitzar dos estudis⁴ separats relacionats amb el temps fins a l'extenuació en un cicloergòmetre, un enfocat a la fatiga muscular i un altre al dolor muscular. A tots dos estudis també es va mesurar la percepció de l'esforç per determinar quina de les tres variables (fatiga muscular, dolor muscular o percepció de l'esforç) és la causa predominant per aturar l'exercici. Els resultats suggereixen que la percepció de l'esforç, més que la fatiga muscular o el dolor muscular induït per l'exercici, és la raó principal per aturar l'exercici. S'explica que tot i que la fatiga muscular i el dolor siguin determinants importants de la fatiga, quan es fa exercici amb els músculs fatigats, l'activitat cerebral augmenta per produir la intensitat requerida de l'exercici, i aquest ajustament a la fatiga muscular es percep com un augment de l'esforç. En altres paraules, la percepció de l'esforç és la responsable de mediar els efectes limitants de la fatiga muscular local o el dolor durant l'exercici.

Una estratègia que podria reduir la fatiga, segons el model psicobiològic del rendiment de resistència, és l'autosuggestió (self-talk), que és la verbalització d'unes afirmacions positives sigui en veu alta o en silenci que tenen una influència sobre un mateix. L'autosuggestió pot ser tant instruccional com motivacional per als atletes, i s'ha suggerit que millora el rendiment en tasques basades en l'esforç, motivant els atletes a exigir-se més, fins i tot quan l'impuls perceptiu d'acabar l'exercici és alt.

Un estudi del 2014⁵ va investigar els efectes de l'autogestió durant l'exercici de ciclisme d'alta intensitat. Es va dur a terme un test inicial per determinar uns valors de referència i després els participants es van dividir en dos grups:

⁴ Staiano, W., Bosio, A., M. de Morree, H., Rampinini, E., Marcora, S. (2018). The cardinal exercise stopper: Muscle fatigue, muscle pain or perception of effort?. *Progress in Brain Research*, 240 (11), 175-200.

<https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.09.012>

⁵ Blanchfield AW, Hardy J, De Morree HM, Staiano W, Marcora SM. (2014). Talking yourself out of exhaustion: the effects of self-talk on endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(5):998-1007.

<https://doi.org/10.1249/mss.000000000000184>

un va rebre dues setmanes d'entrenament i pràctica en l'ús de l'autosuggestió, mentre que l'altre grup (control) no. El grup que va rebre entrenament en autosuggestió va tenir una qualificació menor d'esforç percebut (RPE) i més temps fins a l'extenuació (gairebé 2 minuts més) en comparació amb la seva primera; malgrat això, els resultats del grup de control no van canviar. Es va concloure, doncs, que l'autosuggestió motivacional pot reduir l'esforç percebut i incrementar el rendiment de resistència durant l'activitat aeròbica.

En conclusió es pot extreure que introduir **tècniques** durant l'entrenament **que redueixin la percepció de l'esforç**, pot ser una estratègia útil per millorar el rendiment en atletes, ja que es pot aconseguir endarrerir la fatiga.

MARC PRÀCTIC

1. Objectius

Investigar la relació entre els nivells de lactat en sang amb la percepció subjectiva de l'esforç en nadadores de llarga i mitjana distància, tenint en compte aquestes diferències individuals en el resultat.

2. Hipòtesi

Potser un augment dels nivells de lactat en sang es relaciona directament amb una percepció de major esforç en les nedadores, tot i que els valors puguin ser diferents segons l'especialització de cada una.

3. Metodologia

Abans de dur a terme l'experiment que va proporcionar els resultats, va ser necessari contactar amb diverses persones i cal destacar la implicació de la meva entrenadora per facilitar aquests enllaços.

En primer lloc, es va contactar amb un antic nedador del Club Natació Tàrraco que havia fet un treball semblant per tal de conèixer la seva experiència. Posteriorment i gràcies a la trucada amb aquest nedador, va ser possible concretar una reunió presencial amb el Dr. González especialitzat en medicina esportiva, professor de la Universitat de Barcelona i responsable de la unitat de medicina esportiva (UME) de l'Hospital Santa Tecla. En aquesta trobada es pretenia aconseguir el material per fer els tests de manera independent, però desafortunadament la disposició del material no era possible. De totes maneres, la cita amb el doctor va proporcionar molta informació.

Un mes després, al Campionat d'Espanya Júnior d'estiu va ser possible proposar el projecte al director tècnic de la Federació Catalana de Natació, Luis Rodríguez, el qual va oferir facilitats per dur a terme l'experiment quan

la idea fos més clara. Després d'algunes videoconferències, es va coordinar una data i es va dur a terme el test. Simultàniament, es va contactar amb la nedadora testejada del Club Natació Olot, Júlia Coll.

3.1. Mostra estudiada i control de variables.

Per fer la selecció de les participants i l'estudi posterior, s'havien de controlar una sèrie de variables. Les dues nedadores havien de complir els següents requisits:

- Ser nedadores d'alt rendiment que participin en campionats a nivell nacional.
- La nedadora 1: estar especialitzada en proves de llarga distància .
- La nedadora 2: estar especialitzada en proves de mitjana distància.
- Tenir la mateixa edat. Any de naixement: 2007
- Tenir la mateixa millor marca personal (MMP) en la prova que es fa el test, el 200 m lliures en piscina de 50m.
 - Nedadora 1 → 2:09.38
 - Nedadora 2 → 2:09.27
- Tenir una alçada i pes semblants:

	Alçada	Pes	IMC
Nedadora 1	164 cm	63,2 kg	23.50
Nedadora 2	169	63,6 kg	22.27

- Estar en el mateix moment de la temporada on la condició física és semblant.
- Haver fet el mateix escalfament previ.
- Tenir unes condicions nutricionals semblants en el moment de la prova: han d'haver passat unes hores des de l'última ingesta i no es consumeixen begudes ergogèniques durant el test.

Les nedadores seleccionades comparteixen moltes característiques i difereixen en la seva especialització (llarga distància i mitjana distància).

Aquest contrast permet explorar si existeixen diferències que afectin els nivells de lactat i la percepció d'esforç.

3.2. Disseny de l'estudi

- **Lloc i data.**

Instal·lacions del Centre d'Alt Rendiment Esportiu de Sant Cugat del Vallès, dia 22 d'octubre del 2024.

- **Escalfament en sec i a l'aigua.**

Es va realitzar un escalfament previ al test a fi de preparar el cos per la prova.

En primer lloc, es van fer 15 minuts d'exercicis de mobilitat fora de l'aigua. Seguidament, les nedadores van realitzar el mateix escalfament dins l'aigua:

- 400m variats
- 3x100m peus
- 2x100m braços
- 3x100m progressives de la sèrie 1 a la 3.
- 2x50m els 1rs 25m a tope

L'escalfament serveix per augmentar la temperatura muscular i incrementar el ritme de la respiració i la circulació sanguínia, això fa que els músculs millorin la seva aportació energètica i rendeixin millor.

- **Presa de lactat en repòs (grup control)**

Es va prendre una mostra de lactat en acabar l'escalfament, just abans de començar el test, a fi d'establir uns valors de referència.

- Test

El test consistia a nedar 8 sèries de 200m crol. Les sèries es van dividir en 5 blocs on s'incrementava la intensitat progressivament, fent un temps 4 segons per sota de l'anterior.

En el primer bloc de 3 sèries, la intensitat havia de ser baixa, a un temps de 23 segons per sobre de la millor marca personal en 200 m crol de les nedadores (o MMP). En el segon bloc de 2 sèries, la intensitat havia de ser moderada, a un temps de 18" per sobre de la millor marca personal. A partir d'aleshores, els blocs restants van ser només d'una sèrie. En el 3r bloc tornava a incrementar-se la intensitat i es nedava 13" per sobre de la millor marca personal. Al 2n bloc la intensitat havia de ser molt alta, 8" per sobre de la millor marca personal. Finalment a l'últim bloc, és a dir, l'última sèrie, la intensitat havia de ser màxima i les nedadores havien d'apropar-se el màxim a la seva MMP.



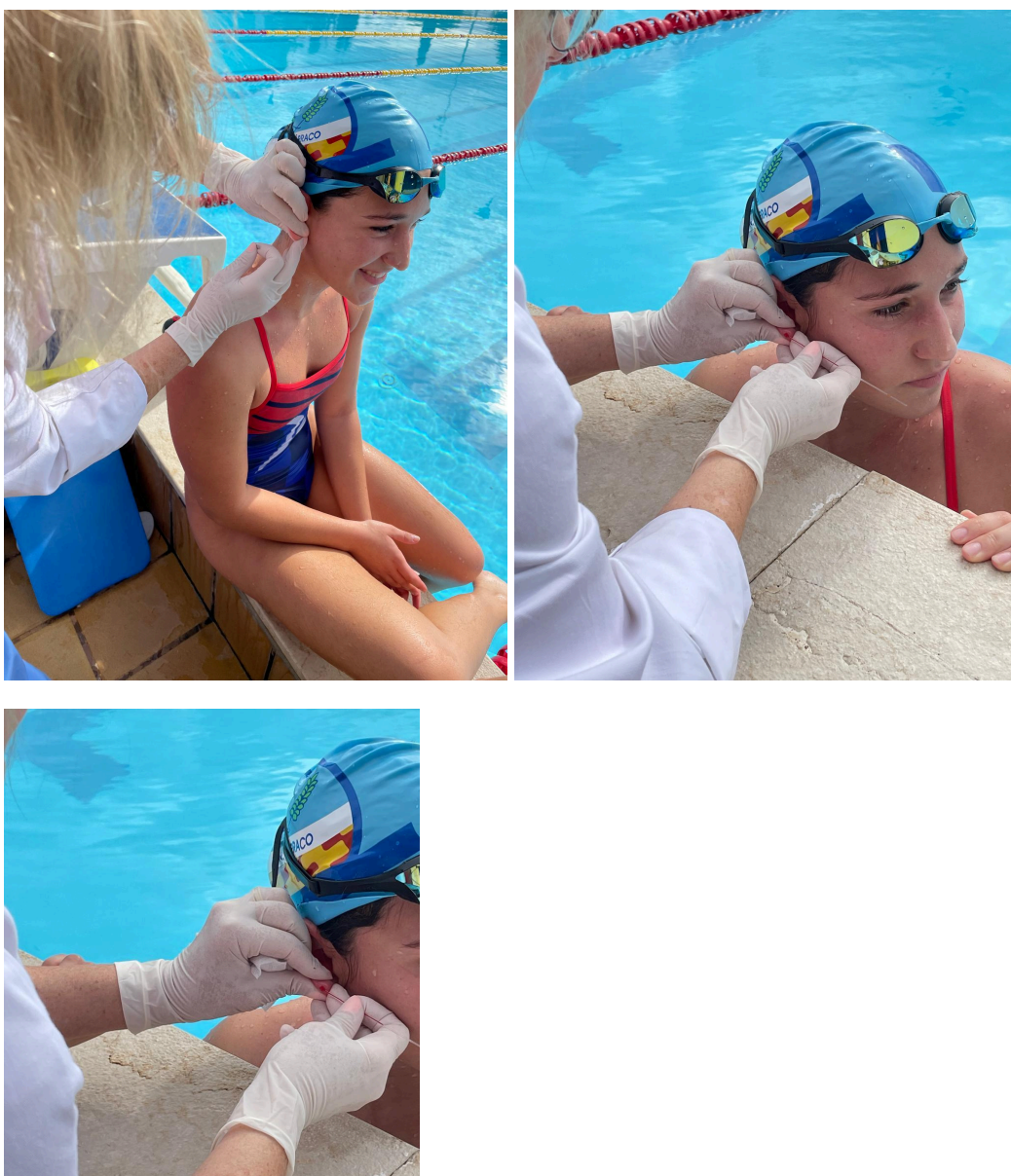
Imatge 1: Les nedadores fent les sèries del test a la piscina del CAR de Sant Cugat .

Font: Pròpia

- Mesurament del lactat entre sèries

En finalitzar cada bloc, a cada nedadora se li va prendre el lactat en sang respectivament. Al quart bloc es va prendre una mostra addicional i al cinquè se'n van prendre dues de més.

Per recollir les mostres es va fer una punxada inicial amb una llanceta estèril al lòbul de l'orella a partir de la qual es van anar extraient les mostres amb un tub capil·lar. Al cap d'una estona va ser necessari tornar a punxar la mateixa zona perquè el flux sanguini de la primera punxada era insuficient.



Imatges 2, 3 i 4: Presa de lactat després d'un bloc a una nedadora.

Font: Pròpia

- Percepció subjectiva

Després de cada bloc, les nedadores comunicaven immediatament a un entrenador la seva percepció de l'esforç utilitzant l'Escala de Borg de l'u al deu.

Aquesta dada s'anotava abans que se'ls comunicés a les nedadores el temps que havien realitzat, i s'assegurava que cap d'elles pogués conèixer la resposta de la seva companya. Aquestes mesures es van prendre per evitar possibles influències externes o comparacions que poguessin alterar i comprometre la fiabilitat dels resultats.



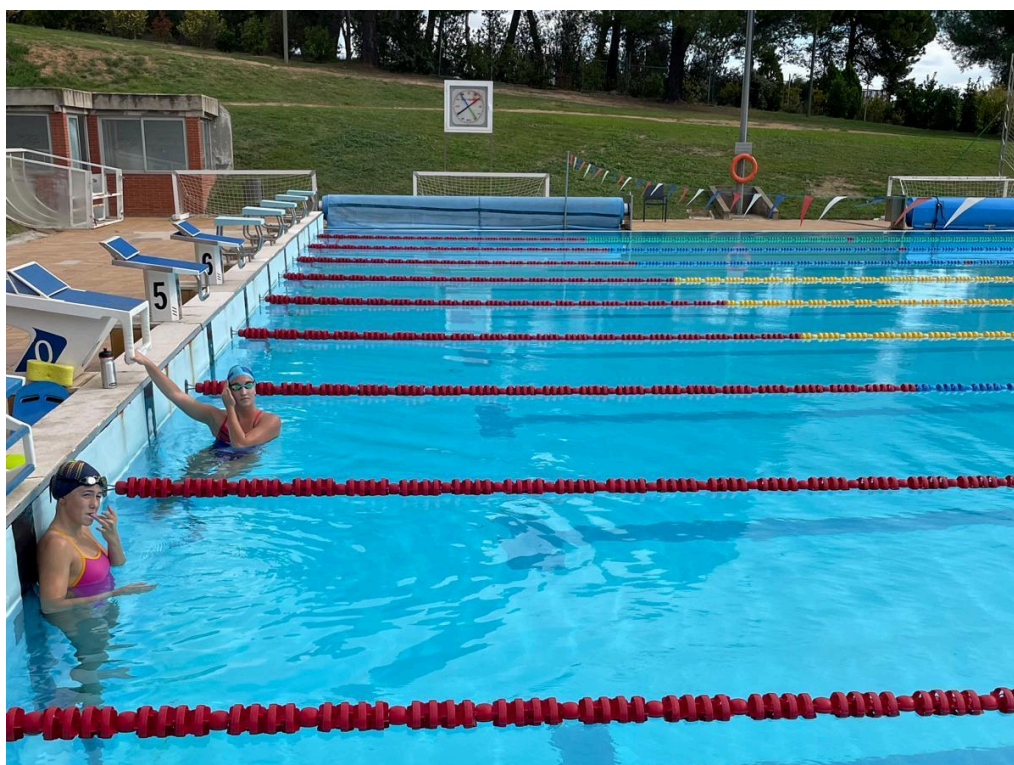
Imatge 5: Nedadora assenyalant a l'escala de Borg la seva percepció subjectiva de l'esforç.

Font: Pròpia

- Descans

Les nedadores disposaven d'un descans passiu entre cada sèrie. El descans augmentava progressivament segons la intensitat del bloc.

En el 1r i el 2n bloc, les sortides es feien cada 3'30'' i va haver-hi un descans addicional de 2' entre el 1r i el 2n i entre el 2n i el 3r bloc. Després del 3r bloc (la 6a sèrie) es va fer la sortida de la sèrie 7 en 8'30''. I l'última sortida va dur-se a terme després de 18'30''.



Imatge 6: Les nedadores descansant després d'una sèrie

Font: Pròpia

TEMPS TEST	PRESES DE LACTAT I SÈRIES	TEMPS OBJETIU		DESCANS	
	LACTAT 0				
00:00	Sèrie 1	MMP+23"	02:33.0	c/3'30	d/1'
03:30	Sèrie 2	MMP+23"	02:33.0	c/3'30	d/1'
07:00	Sèrie 3	MMP+23"	02:33.0	c/5'30	d/3'
09:30	LACTAT 1			A l'arribar	
12:30	Sèrie 4	MMP+18"	02:28.0	c/3'30	d/1'
16:00	Sèrie 5	MMP+18"	02:28.0	c/5'30	d/3'
18:30	LACTAT 2			A l'arribar	
21:30	Sèrie 6	MMP+13"	02:23.0	c/8'30	d/5'
24:00	LACTAT 3			A l'arribar	
30:00	Sèrie 7	MMP+8"	02:18.0	c/18'30	d/15'
32:30	LACTAT 4			A l'arribar	
33:30	LACTAT 5			Al 1'	
48:30	Sèrie 8	MAX	MAX		
52:00	LACTAT 6			Al 1'	
54:00	LACTAT 7			Al 3'	
56:00	LACTAT 8			Al 5'	

Taula 1: Explicació de la metodologia del test. Queda clara quan es dona la sortida de cada sèrie i quan es fan les preses de lactat en relació amb el temps del test. Per la intensitat de les sèries, es veu la marca (temps) que les nedadores han d'intentar assolir i a més la intensitat del color vermell de la taula coincideix amb l'augment progressiu de la intensitat dels blocs.

Font: Pròpia

- **Freqüència cardíaca** (annex 3, pàg. 71)

Es va enregistrar la freqüència cardíaca de cada nedadora durant el test amb l'ajuda d'un monitor de freqüència cardíaca. L'utilitzat en aquest cas és el Polar O+. Les nedadores es van col·locar aquest dispositiu sota el casquet permetent-ne el contacte amb la pell.

A l'annex 3, es mostren imatges de la col·locació d'aquest dispositiu.

- **Freqüència de braçada**

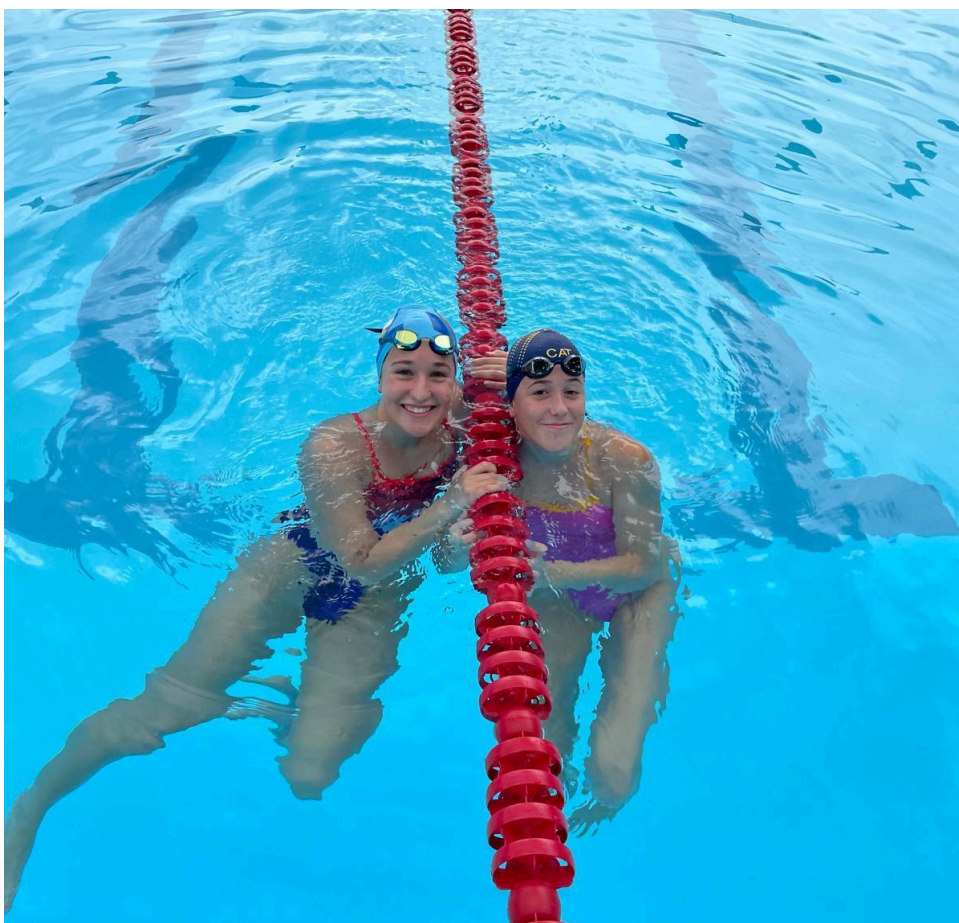
Es va enregistrar addicionalment la freqüència de braçada de cada nedadora en el tercer 50 de cada sèrie, en unitats de braçades per minut (bpm). L'eina utilitzada va ser el mateix cronòmetre amb el qual es mesurava el temps.

3.3. Anàlisi de les mostres al laboratori i extracció de resultats

Descrit el procés més detalladament en l'apartat 4.2.1. de la part teòrica del treball, el mètode amb els dispositius *Lange* va ser l'utilitzat per obtenir els resultats de la prova de lactat. Els metges que havien extret les mostres van ser els encarregats d'analitzar-les al laboratori.

3.4. Instruments i equipament (annex 3, pàg. 69)

- Piscina de competició de 50 m amb els carrers marcats.
- Equip per mesurar el lactat
- Escala de Borg
- Pulsòmetre: Polar OH1+
- Cronòmetre



Imatge 7: Les dues nadadores després de fer el test.

Font: Pròpia

4. Resultats del test (annex 1 i annex 2, pàg. 66-68)

Després de dur a terme el test s'han obtingut els resultats següents.

4.1 Resultats individuals

- Per la nedadora 1:

TEMPS TEST	Preses de lactat i sèries	Temps Objectiu	Temps realitzat	Lactat (mmol/L)
	LACTAT 0			0,72
00:00	Sèrie 1	02:33.0	2:33.8	
03:30	Sèrie 2	02:33.0	2:33.4	
07:00	Sèrie 3	02:33.0	2:32.8	
09:30	LACTAT 1			0,63
12:30	Sèrie 4	02:28.0	2:31.0	
16:00	Sèrie 5	02:28.0	2:28.3	
18:30	LACTAT 2			1,05
21:30	Sèrie 6	02:23.0	2:22.8	
24:00	LACTAT 3			2,03
30:00	Sèrie 7	02:18.0	2:20.0	
32:30	LACTAT 4			3,42
33:30	LACTAT 5			2,6
48:30	Sèrie 8	MAX	2:12.7	
52:00	LACTAT 6			6,43
54:00	LACTAT 7			7,21
56:00	LACTAT 8			7,49

Taula 2: Resultats del test per la nedadora 1

- Per la nedadora 2:

TEMPS TEST	Preses de lactat i sèries	Temps Objectiu	Temps realitzat	Lactat (mmol/L)
	LACTAT 0			1,73
00:00	Sèrie 1	02:33.0	2:33.8	
03:30	Sèrie 2	02:33.0	2:33.4	
07:00	Sèrie 3	02:33.0	2:32.8	
09:30	LACTAT 1			1,89
12:30	Sèrie 4	02:28.0	2:31.0	
16:00	Sèrie 5	02:28.0	2:28.3	
18:30	LACTAT 2			2,66
21:30	Sèrie 6	02:23.0	2:22.8	
24:00	LACTAT 3			5,26
30:00	Sèrie 7	02:18.0	2:19.7	
32:30	LACTAT 4			7,36
33:30	LACTAT 5			8,77
48:30	Sèrie 8	MAX	2:15.2	
52:00	LACTAT 6			14,1
54:00	LACTAT 7			15,9
56:00	LACTAT 8			15,8

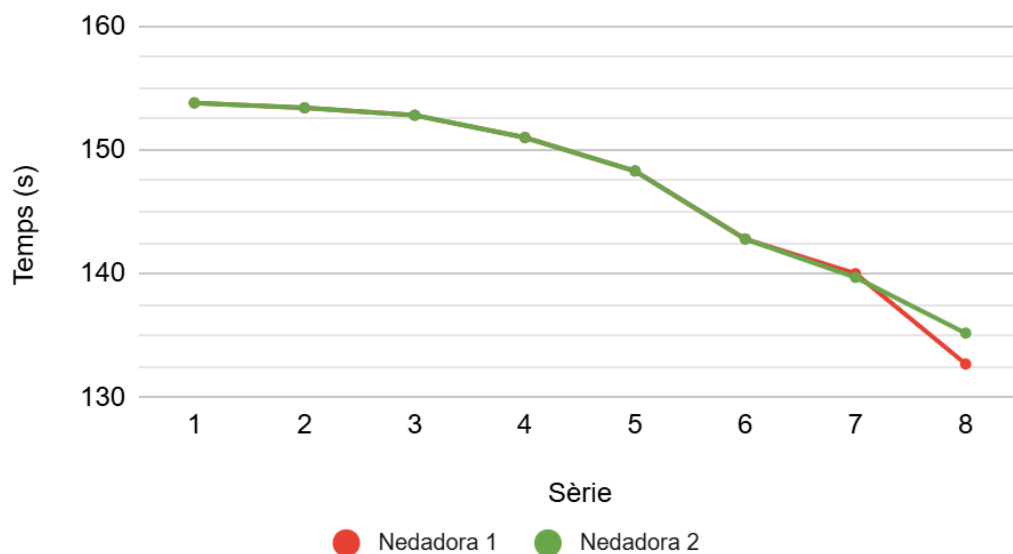
Taula 3: Resultats del test per la nedadora 2

4.2. Resultats comparatius

El temps de cada sèrie:

SÈRIE	Temps de cada sèrie (min:seg.ms)	
	Nedadora 1	Nedadora 2
1	2:33.8	2:33.8
2	2:33.4	2:33.4
3	2:32.8	2:32.8
4	2:31.0	2:31.0
5	2:28.3	2:28.3
6	2:22.8	2:22.8
7	2:20.0	2:19.7
8	2:12.7	2:15.2

Comparativa del temps realitzat per cada nedadora

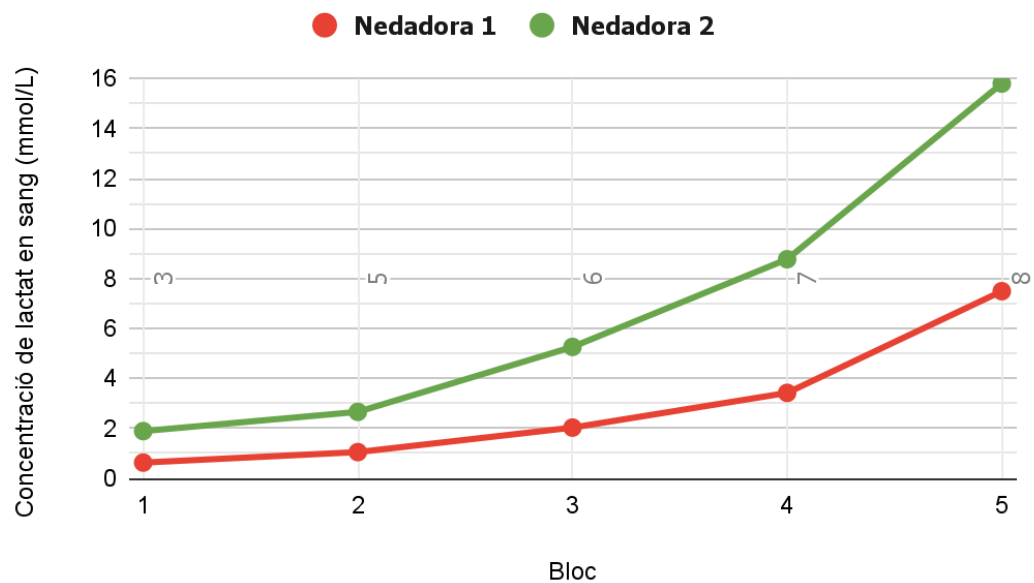


Gràfic 1: S'observa que el temps entre les dues nedadores és igual o molt similar amb una variació més gran a l'última sèrie.

Els valors de lactat en sang de cada nedadora

	Lactat en sang (mmol/L)	
BLOC	Nedadora 1	Nedadora 2
En repòs	0,72	1,73
1	0,63	1,89
2	1,05	2,66
3	2,03	5,26
4	3,42	8,77
5	7,49	15,80

Increment de lactat en funció del bloc

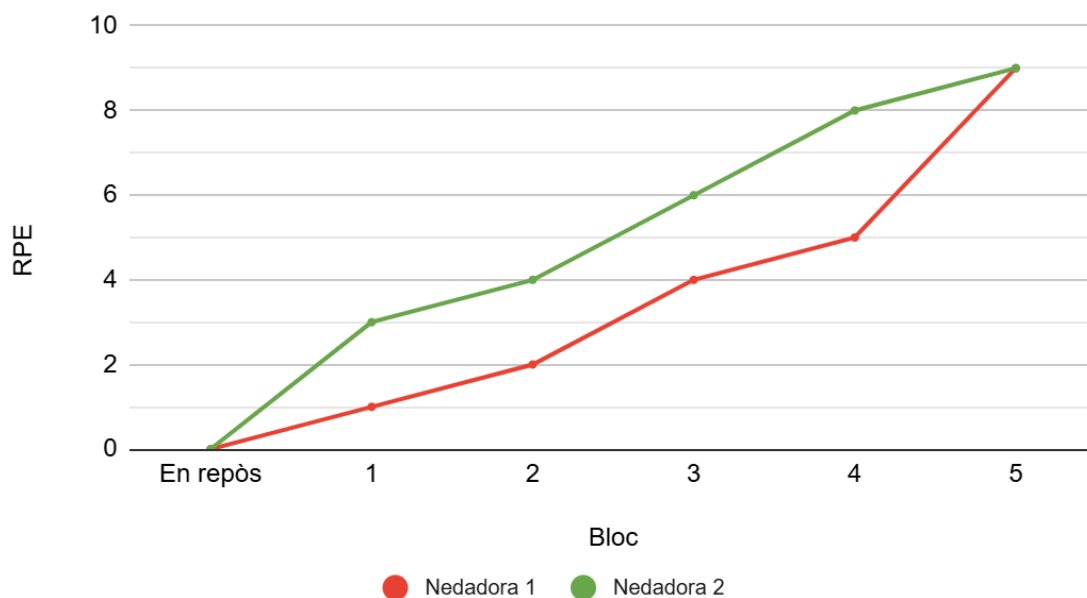


Gràfic 2: Es pot veure que les dues gràfiques del lactat són molt similars i tenen una tendència parabòlica, però els valors que pren cadascuna són diferents.

Percepció subjectiva de l'esforç de les dues nedadores

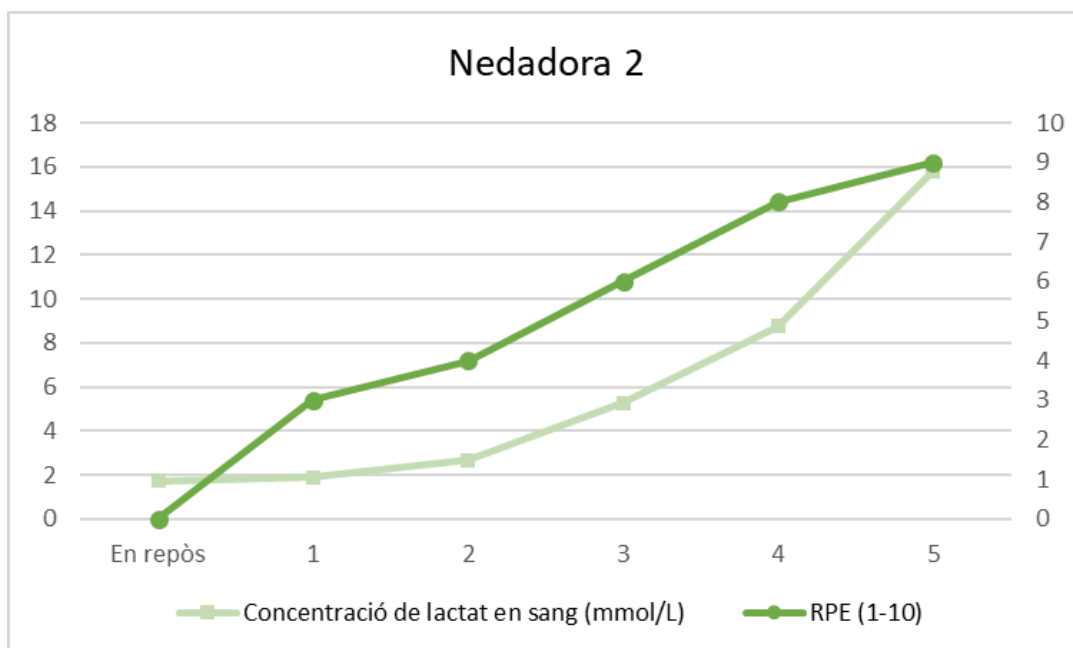
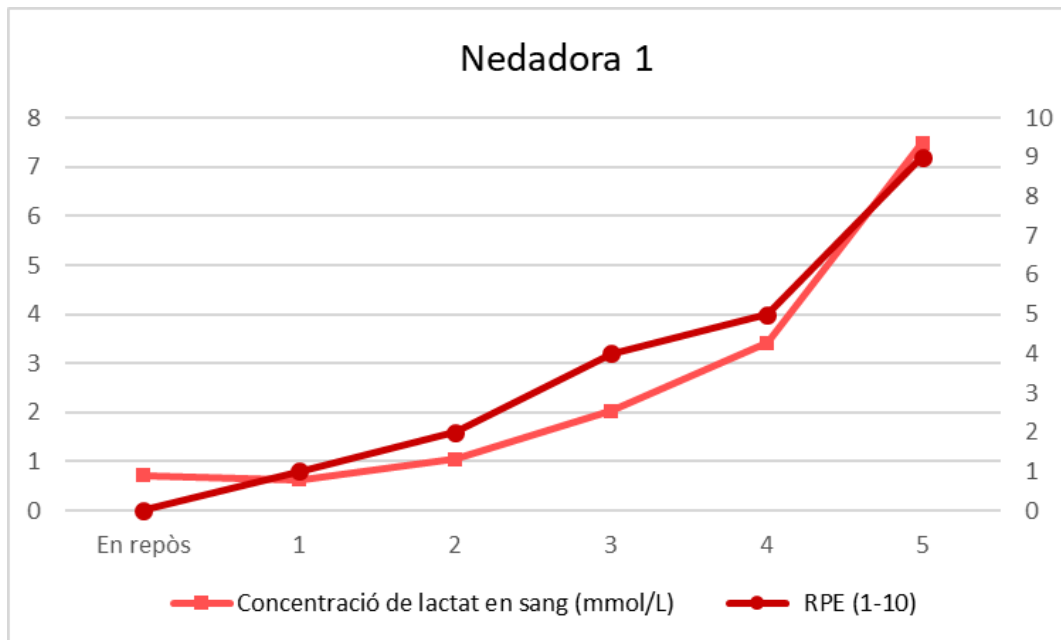
	RPE (1-10)	
BLOC	Nedadora 1	Nedadora 2
En repòs	0	0
1	1	3
2	2	4
3	4	6
4	5	8
5	9	9

Comparativa de la RPE de cada nedadora



Gràfic 3: Es pot observar que la percepció d'un major esforç és progressiva en tots dos casos i té una tendència lineal tot i que els valors també són diferents.

Comparativa de les dues variables estudiades



Gràfics 4 i 5: S'hi veu la comparació entre la percepció de l'esforç i la concentració de lactat en sang de cada nedadora.

4.3. Anàlisi dels resultats

Per fer aquesta anàlisi, primer es descriuran els resultats individualment i després se'n farà la comparativa.

En primer lloc, es farà esment dels resultats obtinguts per la nedadora 1. Com es pot observar en el gràfic 2, presenta una evolució dels nivells de lactat molt moderada durant els 4 primers blocs i és en l'últim quan aquesta evolució es dispara indicant el llindar anaeròbic de la nedadora. D'altra banda, posant atenció al gràfic 3, la percepció de l'esforç augmenta correlativament amb la intensitat dels blocs i la progressió és gairebé lineal. També hi ha un augment més dràstic en l'últim bloc, fet que remarca la coincidència amb el límit fisiològic.

En segon lloc, s'analitzaran els resultats de la nedadora 2. Com mostra el gràfic 2, la progressió de la concentració de lactat en sang també és moderada durant els tres primers blocs, després es veu com hi ha un canvi i augmenta considerablement durant el quart bloc i finalment en l'últim es dispara més notablement, indicant en aquest punt el llindar anaeròbic. Per altra part, com es pot veure al gràfic 3 la percepció de l'esforç és progressiva i gairebé lineal sense cap canvi de tendència brusc al final.

Tenint en compte el que s'ha explicat, a continuació es remarquen les semblances entre les dues nedadores: una progressió moderada dels nivells de lactat en sang durant les primeres sèries i un punt d'inflexió a l'última i una percepció de l'esforç que augmenta de manera interrelacionada amb la intensitat dels blocs. Tanmateix, el que també és molt notable són les diferències en els valors de cada paràmetre. La nedadora 1 presenta en tots els casos valors més baixos de concentració de lactat que l'altra participant. A més, també cal destacar que a l'última sèrie on el lactat es dispara, el pendent de la gràfica de la nedadora 2 és més inclinat que el de la nedadora 1. Així mateix, també presenta valors més baixos en la percepció de l'esforç, exceptuant l'última sèrie que els

valors són iguals. Aquest fet suggereix que la nedadora 1 és capaç de metabolitzar el lactat de manera més eficient i té una tolerància a l'esforç major que la nedadora 2, ja que realitzant el mateix temps, la primera sent que l'esforç que realitza és més suau.

5. Conclusions

5.1. Conclusions generals

Després de fer l'anàlisi dels resultats es pot valorar si s'han assolit els objectius i si la hipòtesi es confirma o es refuta.

L'objectiu del treball era investigar la relació que hi ha entre els nivells de lactat en sang i la percepció subjectiva de l'esforç. Després de fer l'anàlisi dels resultats es pot establir que la relació és directa, però també que depèn de factors individuals. Les diferències en l'especialització de les nadadores influeixen en aquesta relació: la nedadora de llarga distància tendeix a acumular menys lactat i percebre menys esforç en les primeres sèries, gràcies al fet que el seu metabolisme aeròbic és més eficient; mentre que la de mitjana distància experimenta un augment més pronunciat des del principi, a causa que depèn més del metabolisme anaeròbic. Aquest fet evidencia que la relació entre lactat i percepció d'esforç no és genèrica i requereix una anàlisi personalitzada.

En conseqüència, es pot afirmar que la hipòtesi inicial és parcialment certa. D'una banda, es confirma que l'acumulació de lactat està associada a una major percepció d'esforç. Però, d'altra banda, aquesta relació no és totalment directa ni uniforme. Observant els gràfics 4 i 5, es percep una relació directa però amb una dinàmica diferent. Mentre que l'augment del lactat a partir d'una intensitat determinada segueix una gràfica exponencial, la percepció de l'esforç augmenta de manera més lineal.

Aquesta diferència suggereix que altres factors com la tolerància individual, l'estat d'ànim o fins i tot les expectatives davant d'un esforç determinat

també hi juguen un paper significatiu. D'altra banda, sí que es confirma també que existeixen diferències individuals entre les nedadores, les quals coincideixen amb la seva especialització.

En aquesta mateixa línia, els resultats palesen la importància d'analitzar aquestes diferències individuals entre esportistes. Tot i que dos individus puguin compartir característiques similars, com la mateixa millor marca personal, l'edat, l'alçada, el pes, etc., també es poden mostrar respostes diferents tant a nivell fisiològic com subjectiu, com és el cas de les nedadores estudiades. Aquestes diferències remarquen una altra vegada la necessitat de personalitzar els programes d'entrenament i ajustar-los a les necessitats específiques de cadascú per optimitzar-ne al màxim el rendiment.

D'altra banda, aquests resultats confirmen els tests de lactat com una eina molt valuosa per optimitzar els entrenaments. Observar l'evolució dels nivells d'aquest compost en tests periòdicament pot ajudar a identificar zones d'entrenament i ajustar les càrregues d'aquest per millorar el rendiment a les competicions. A més a més, la percepció subjectiva de l'esforç també s'ha de tenir en compte, ja que ofereix informació individualitzada, incloent-hi factors psicològics sobre les condicions específiques de cada esportista.

Per últim, aquestes conclusions inciten a fer més recerca amb relació als aspectes que influeixen en la relació entre el lactat i la percepció d'esforç, així com en el desenvolupament de plans d'entrenament encara més personalitzats basats en aquestes variables. Una proposta d'investigació seria comparar la producció i acumulació de lactat entre els diferents estils i la seva relació amb la percepció de l'esforç.

5.2. Valoració personal

Pel que fa a la meva experiència personal, he de destacar que aquest treball ha estat un gran repte. Per primera vegada he hagut de començar un projecte d'aquesta importància des de zero i extreure'n unes conclusions rellevants. Sincerament, considero que me n'enduc molts aprenentatges. El primer de tots, la responsabilitat d'organitzar el treball i coordinar totes les persones involucrades en ell. El segon, saber afrontar les adversitats que se m'han presentat en el seu transcurs i haver de cercar alternatives per tirar-lo endavant de totes maneres. Un altre ha sigut la recerca d'informació i el filtratge d'aquesta. I entre molts altres, l'estructuració del treball per tal que aquest tingués la màxima coherència possible.

En resum, crec que ha estat una experiència molt enriquidora perquè no només he après sobre el meu esport des d'una perspectiva científica, sinó que també a nivell personal m'ha servit per madurar i aprendre a contactar amb altres persones i reunir-les per dur a terme un objectiu.

5.2. Dificultats

En primer lloc, la primera dificultat que vaig haver d'afrontar va ser un canvi en l'enfocament del treball. La primera iniciativa era comparar la recuperació entre un grup de remers i un grup de nedadors. Partint d'aquí, es va fer la primera entrevista amb el Dr. Manel González on finalment vam descartar l'opció de fer tests de lactat perquè, a causa de l'alt cost de la prova, ja no disposaven de remeses dels tests. El doctor va proposar una alternativa als tests que era fer servir la variable de la freqüència cardíaca per determinar la recuperació dels esportistes. L'alternativa es va valorar, però finalment es va subestimar per un factor extern: els remers amb els quals es volia dur a terme la prova acabaven la temporada esportiva al juny i a partir d'aquell moment començarien a entrenar la temporada següent al Centre de Tecnificació de Rem de Banyoles, on el contacte amb ells hagués sigut molt més difícil.

Així mateix, es va tractar de buscar una altra opció per fer els tests de lactat i aquesta va ser la segona gran dificultat del treball. Finalment, va ser possible contactar amb el Luís Rodríguez director tècnic de la FCN que em va proposar moltes facilitats per fer les proves. El problema però, va ser que no podíem fer el test amb els remers, ja que al Centre d'Alt Rendiment de Sant Cugat no hi ha l'especialitat de rem . Per aquest motiu, es va haver de fer un canvi en l'enfocament del treball per tractar el tema des d'una altra perspectiva.

Quan el projecte va ser més clar i ja s'havien fet algunes reunions per concretar més detalls, l'inconvenient va ser ajustar una data per fer el test. Aquest s'havia de dur a terme un dia entre setmana al matí (en horari laboral dels metges). Això va suposar que les dues nedadores s'haguessin de saltar les classes, a més a més de buscar un mitjà de transport per arribar fins a Sant Cugat del Vallés des d'Olot i des de Tarragona.

Finalment, una altra gran dificultat ha sigut dur a terme la interpretació dels resultats obtinguts. Tot i haver obtingut dades clares sobre els nivells de lactat i la percepció d'esforç, analitzar la seva relació i extreure'n les conclusions no ha estat senzill. Això s'ha degut, en part, a la variabilitat individual entre les nedadores i als múltiples factors que poden influir en la percepció d'esforç, més enllà dels nivells de lactat. A més, ha requerit molta dedicació per relacionar aquestes dades amb els conceptes científics de fisiologia i psicologia esportiva.

5.3. Propostes de millora

En tot moment, s'ha intentat que el treball fos metòdic i acurat perquè pogués proporcionar la màxima informació rellevant possible. No obstant això, després d'una reflexió i una autocrítica, s'han valorat certs aspectes i es fan alguns suggeriments.

D'una banda, tot i que va intentar-se fer un control rigorós de les variables, se'n podrien haver tingut en compte algunes altres com per exemple.

- La nedadora 2 havia anat a entrenar al matí el dia de la prova i la nedadora 1 no entrenava des de la tarda anterior.
- Tot i que el test es fes en el mateix moment de la temporada, com que les nedadores no entrenen en el mateix club, la càrrega d'entrenaments entre les dues és diferent.
- No es va tenir en consideració el de descans de les nedadores (hores de son).
- Tampoc es va tenir en compte la dieta dels dies anteriors a la prova.

D'altra banda, per obtenir resultats més precisos, hauria sigut interessant incloure rèpliques, és a dir, fer el test amb una mostra més gran, ja que els resultats només s'han obtingut a partir de dues nedadores. En aquest sentit, augmentar la mida de la mostra hauria proporcionat més fiabilitat en els resultats.

Per últim, seria una proposta interessant fer entrevistes a entrenadors que compten amb les dades dels tests de lactat en la planificació dels seus entrenaments per tal d'obtenir més informació sobre la utilitat dels tests. Així com fer entrevistes a entrenadors que fan ús de l'escala de Borg o semblants als seus entrenaments també proporcionaria més dades rellevants sobre les aplicacions d'aquesta eina.

REFERÈNCIES

Webgrafia

1. Barceló Fernández, M. (2024). La acidosis láctica en los deportistas. PubliCE.
<https://g-se.com/es/la-acidosis-lactica-en-los-deportistas-189-sa-f57cfb27113f22>
2. Blanchfield, A. W., Hardy, J., De Morree, H. M., Staiano, W., & Marcora, S. M. (2014). Talking yourself out of exhaustion: the effects of self-talk on endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 46(5), 998-1007.
https://www.academia.edu/download/46677651/Talking_Yourself_Out_of_Exhaustion_The_E20160621-32565-1takr3i.pdf
3. Cabrera, F. I. M., & Barrero, A. M. (2021). La percepción subjetiva del esfuerzo como herramienta de monitorización en fútbol profesional. *riccafd: Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 10(1), 37-48.
<https://revistas.uma.es/index.php/riccafd/article/download/11164/12764/49277>
4. del Moral, L. G., del Moral, J. G., & Jerez, A. R. (1988). Factores que afectan a la lactatemia durante un test de esfuerzo. *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, 5(20), 375-386.
http://femedede.es/documentos/Lactatemia_375_20.pdf
5. Leminszka, M. A., Dieck-Assad, G., Martínez, S. O., & Garza, J. E. (2010). Modelación del nivel de ácido láctico para atletas de alto rendimiento. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 31 (1), 41-56.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322010000100004&lng=es&tlng=es.
6. Martínez, F. C., Solé, A. E., Sanz, J. M. G., Rodríguez, J. R. C., & Bescós, X. S. (1998). Percepció d'esforç (RPE) en una carrera intervàlica. *Apunts. Educació física i esports*, 1(51), 64-69.
<https://raco.cat/index.php/ApuntsEFE/article/view/308213>
7. Mendoza MA. (2008) El origen de la acidez en la glucólisis anaerobia. *Revista de Educación Bioquímica*, 27 (4).111-118.
<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=37201>

8. Palacios Portilla, A. S. (2015). Determinación del umbral anaeróbico en nadadores/as principiantes y avanzados de la asociación de natación de Pichincha en el Distrito Metropolitano de Quito, con el fin de establecer zonas de entrenamiento durante el periodo de julio a octubre del 2015.
<https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/4f6620e8-5f86-4a97-b626-417e3d0ef5ff/content>
9. Palomino Gamboa i Oscar Antonio. (2007). Correlación de las concentraciones de lactato sanguíneo y medición de la frecuencia cardiaca para determinar el umbral anaeróbico por medio de un test escalonado en patinadores de resistencia de la ciudad de pamplona. Universidad Pablo de Olavide.
<https://investiga.upo.es/documentos/5eb124b029995246d441aab3>
10. Rodríguez N, Iván, & Gatica S, Darwin. (2016). Percepción de esfuerzo durante el ejercicio: ¿Es válida su medición en la población infantil? Revista chilena de enfermedades respiratorias, 32(1), 25-33.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482016000100005>
11. Sánchez, A. Ácido láctico y rendimiento físico. (2014). Spin cero, 23.
<https://1968.com.ve/wp-content/uploads/2016/01/Acido-Lactico-y-Rendimiento-Fisico>
12. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Deportes, campus Ensenada. (2015). Libro de memorias en extenso. 1a Edició. 205-212, 250-256.
<https://www.bib.irb.hr:8443/786625/download/786625.Memoria2015.pdf>
1. Quadern d'Apunts de Biologia - Juan José de Haro:
<https://bio2.tiddlyhost.com/#Metabolisme>
2. Wikipèdia - Àcido láctico:
https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_l%C3%A1ctico
3. Khan Academy - Glucólisis:
<https://es.khanacademy.org/science/biology/cellular-respiration-and-fermentation/glycolysis/a/glycolysis>

Bibliografía

1. Dr. Olivé Vilás, R., La natación: antecedentes, fisiología, lesiones más frecuentes y medidas preventivas. *Saludinámica* (nº5), 13-32.
2. Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2022). Physiology of sport and exercise. *Human kinetics* (8). 144-161.

ANNEXOS

1. Annex 1: Imatge dels resultats de les preses de lactat

Mètode: Lange		Esport		NATACTO						
L-Pro, Scout		Prova		8 x 200						
		BASAL	0'	0'	0'	0'	1'	1'	3'	5'
1	Júlia Coll	0.72	0.63	1.05	2.03	3.42	2.60	6.43	7.21	7.49
2	Maria Huerta	1.73	1.89	2.66	5.26	7.36	8.77	14.1	15.9	15.8

La imatge mostra la taula on es van anotar els resultats de cada presa de lactat.

Font: Pròpia

2. Annex 2: Resultats del test

Nedadora 1						
Bloc	Sèrie	Lactat (mmol/L)	RPE (1-10)	Temps (m:s.ds)	Fb (bpm)	FC (ppm)
	Repòs	0,72	0			68
1	1			2:33.8	32,3	134
	2			2:33.4	31,80	140
	3	0,63	1	2:32.8	31,7	137
2	4			2:31.0	32,6	137
	5	1,05	2	2:28.3	33,9	144
3	6	2,03	4	2:22.8	37,7	*
4	7	3,42	5	2:20.0	42,2	*
5	8	7,49	9	2:12.7	45,7	161

Taula dels resultats de la nedadora 1 amb totes les variables que es van registrar.

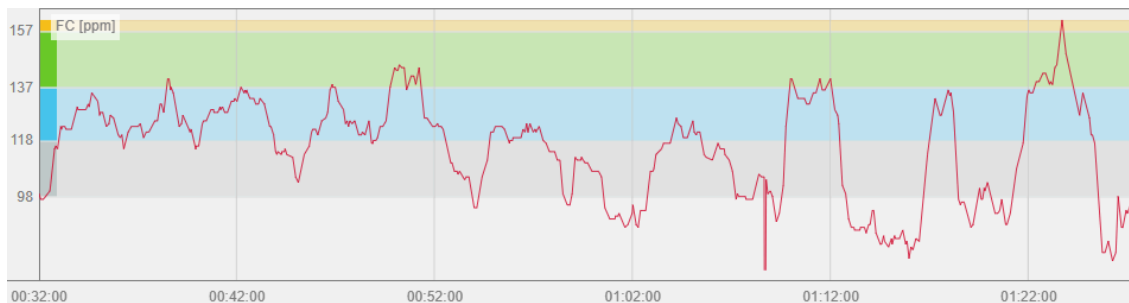
*El pulsòmetre de la nedadora 1 va fallar durant les sèries 6 i 7 i per això no hi ha dades anotades en les caselles corresponents.

Nedadora 2						
Bloc	Sèrie	Lactat (mmol/L)	RPE (1-10)	Temps (m:s.ds)	Fb (bpm)	FC (ppm)
	Repòs	1,73	0			87
1	1			2:33.8	33,50	157
	2			2:33.4	35,10	161
	3	1,89	3	2:32.8	34,70	161
2	4			2:31.0	35,30	164
	5	2,66	4	2:28.3	35,30	170
3	6	5,26	6	2:22.8	38,60	179
4	7	8,77	8	2:19.7	40,80	180
5	8	15,8	9	2:15.2	46,60	174

Taula dels resultats de la nedadora 2 amb totes les variables que es van registrar.

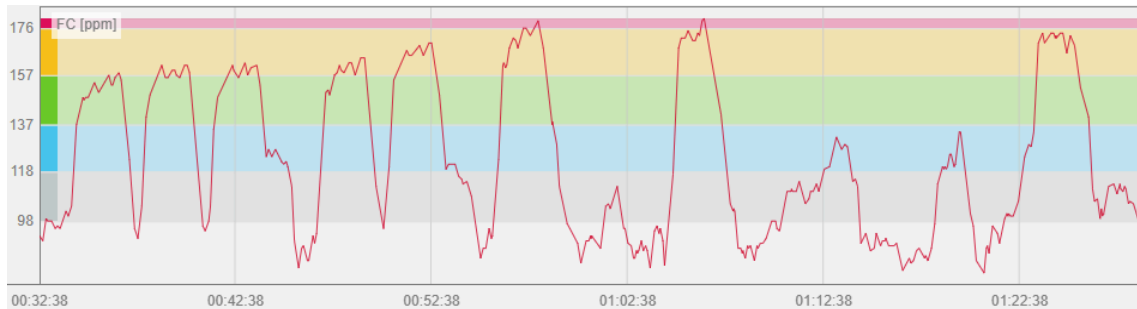
Freqüència cardíaca

Nedadora 1:



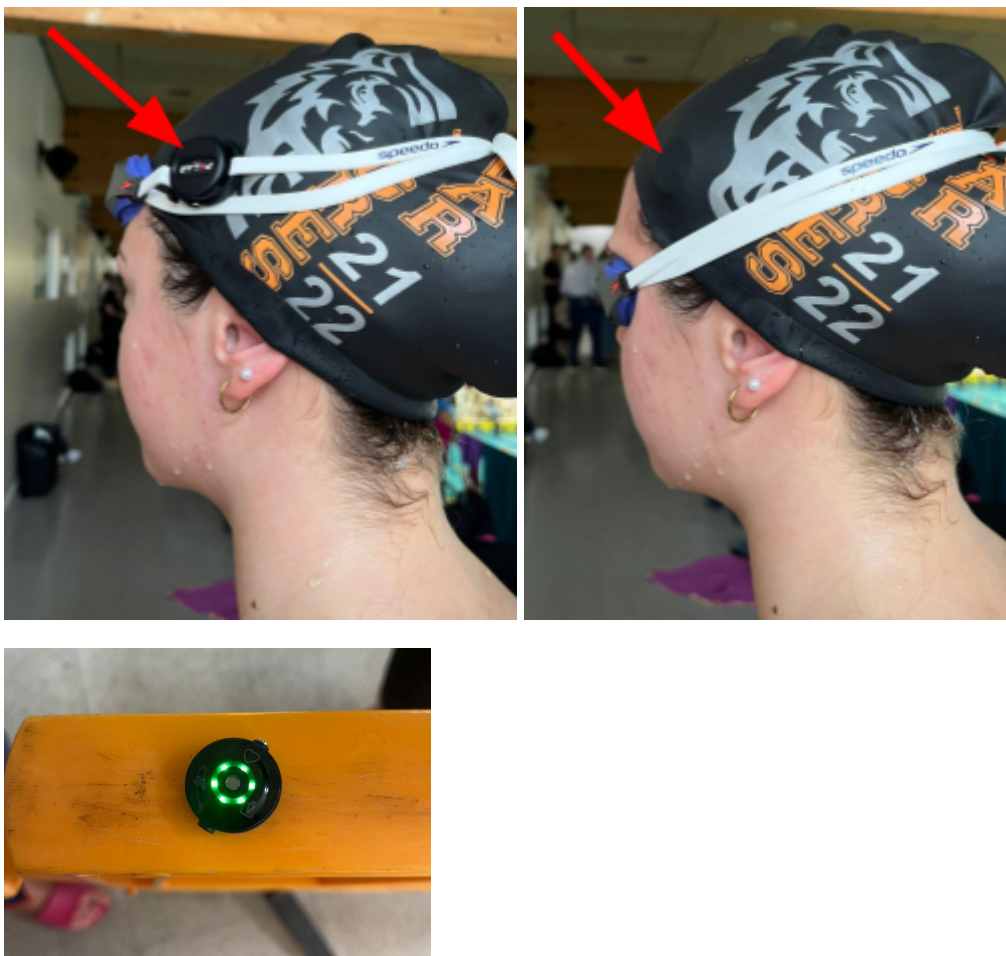
Gràfic que mostra el registre del pulsòmetre de la nedadora 1 durant el test. Com es pot observar, des d'aproximadament el minut 54 (eix de les abscisses) fins a 1 hora i 9 minuts del registre, els resultats mostren una freqüència cardíaca més lenta que en les altres sèries a causa que en aquell moment el contacte entre la nedadora i el pulsòmetre va fallar.

Nedadora 2:



Gràfic que mostra el registre del pulsòmetre de la nedadora 2 durant el test. S'observa clarament el començament de cada sèrie amb l'augment de la freqüència cardíaca i l'acabament amb la disminució d'aquesta.

3. Annex 3: Imatges del material utilitzat pel test



Imatges il·lustratives de la col·locació del pulsòmetre per sota del gorro i la seva mida.

Font: pròpia

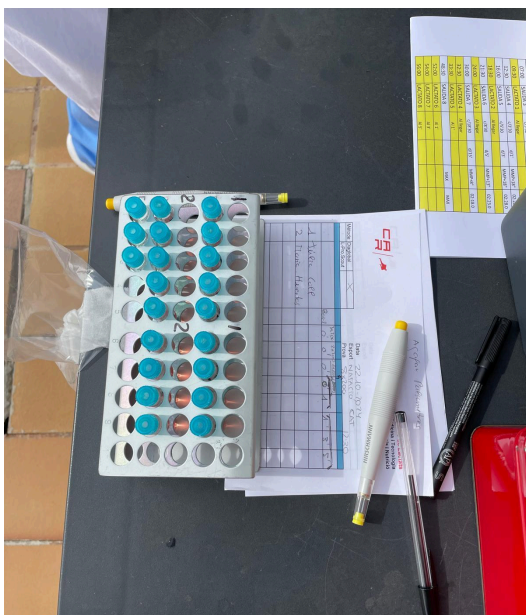


Més imatges del model utilitzat: *Pulsòmetre Polar OH1+*

Font: <https://www.polar.com/en/sensors/oh1-optical-heart-rate-sensor>



Piscina de 50m exterior de les instal·lacions del Centre d'Alt Rendiment de Sant Cugat
Font: Pròpia



Imatges del material utilitzat i de les mostres de sang amb els reactius.
Font: Pròpia