
L'entrenament amb baixa disponibilitat en hidrats de carboni i el rendiment en ciclistes en ruta entrenats

Revisió bibliogràfica

Treball Final de Màster d'Alimentació en l'activitat física i l'esport

Autor/a: David Gómez Cazorla

Director/a: Agustí Acosta Gallego

Juny 2020

Resum

Introducció: La nutrició esportiva és un factor clau en el rendiment del ciclista. Les adaptacions a l'entrenament es poden veure afectades tant positiva com negativament per la nutrició i els ciclistes necessiten adaptar els seus plans nutricionals amb les demandes del seu programa d'entrenament i de competicions.

Objectiu: L'objectiu principal d'aquest treball ha estat determinar si les estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats permeten millorar l'eficiència metabòlica en ciclistes en ruta entrenats i si això es veu reflectit en una millora en el rendiment.

Metodologia: S'ha realitzat una revisió bibliogràfica mitjançant l'ús de les bases de dades PubMed i Scopus. Els criteris d'inclusió utilitzats per la recerca van ser: assajos clínics, assajos aleatoris controlats o estudis quasi experimentals; articles posteriors al 2010 i articles en què els participants de l'estudi fossin ciclistes entrenats. Van quedar exclosos els articles que treballaven amb ciclistes no entrenats, amb altres esportistes o que la part pràctica no hagi estat enfocada en el ciclisme.

Resultats: 12 articles han complert amb els criteris d'inclusió i exclusió establerts. S'han obtingut resultats diversos en què, generalment, es troba una millora en l'eficiència metabòlica.

Conclusió: Les estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats permeten, en molts casos, una millora de l'eficiència metabòlica. No obstant, no significa que hi hagi una millora en tots els aspectes del rendiment. S'ha pogut veure que quan les intensitats són elevades, el portar a terme qualsevol estratègia nutricional amb baixa disponibilitat de carbohidrats pot tenir un impacte negatiu.

Paraules clau: Periodització nutricional, ciclisme, estratègies amb baixa disponibilitat de carbohidrats, eficiència metabòlica, oxidació de greixos, rendiment.

Abstract

Introduction: Sports nutrition is a key factor in cyclists' performance. Training adaptations can be affected both positively and negatively because of nutrition and cyclists need to tailor their nutritional plans to the demands of their training programs and competitions.

Objective: The purpose of this study was to determine if strategies using low-carbohydrate availability enhance metabolic efficiency in trained road cyclists and if this resulted in an improvement in performance.

Methodology: A review of scientific literature has been done through PubMed and Scopus databases. The inclusive criteria were: clinical trials, randomised controlled trials and quasi-experimental trials; scientific articles from 2010 and articles where the participants were trained cyclists. Articles where the participants were not trained cyclists or other athletes or the practical phase was not conducted in cycling were excluded.

Results: 12 articles were selected to analyse. There have been different results where, generally, it has been found that there is an improvement of metabolic efficiency.

Conclusion: The nutritional strategies with low carbohydrate availability, in many cases, led to an enhancement of metabolic efficiency. However, it does not mean that it has been an improvement in all performance parameters. It has been reported that with high intensity training sessions, low carbohydrate availability can have a negative impact on cyclists' performance.

Key words: Periodised nutrition, cycling, low carbohydrate strategies, metabolic efficiency, lipids oxidation, performance.

Agraïments

Pels meus pares i el meu germà, els qui em fan créixer dia a dia i els qui em fan creure que puc aconseguir els objectius que em proposi.

I també per tu, Modest, pel projecte que teníem i perquè sé, que des d'allà on siguis, estaries orgullós de mi... com jo ho estic de tu.

Índex

1.	Introducció	7
1.1.	El ciclisme en ruta	7
1.2.	La nutrició en el ciclisme en ruta.....	8
1.2.1.	Els carbohidrats	8
1.2.2.	Els lípids.....	10
1.2.3.	Les proteïnes.....	12
1.3.	Periodització nutricional.....	13
1.3.1.	Entrenament d'Alta Intensitat – <i>Train High</i>	14
1.3.1.1.	Una càrrega alta d'hidrats de carboni	14
1.3.1.2.	Ingerir hidrats de carboni durant l'entrenament o competició	14
1.3.1.3.	Recuperació post-entrenament amb carbohidrats	15
1.3.2.	Entrenament de Baixa/Moderada intensitat – <i>Train Low</i>	15
1.3.2.1.	Entrenar amb baixa disponibilitat de carbohidrats (<i>train low</i>)	16
1.3.2.2.	Entrenar dos cops al dia	17
1.3.2.3.	Entrenar en dejú.....	17
1.3.2.4.	No prendre carbohidrats post-entrenament	18
1.3.2.5.	Dormir baix i entrenar baix (<i>sleep low train low</i>)	18
1.3.2.6.	No prendre carbohidrats durant l'entrenament	19
1.4.	Flexibilitat metabòlica i eficiència metabòlica.....	20
1.5.	Indicadors i eines de valoració de l'eficiència metabòlica	21
1.6.	Justificació	22
2.	Objectius.....	23
2.1.	Objectiu general.....	23
2.2.	Objectius específics	23
3.	Metodologia	24
3.1.	Descripció de la recerca.....	24
3.2.	Estratègia de recerca – Paraules clau.....	24
3.3.	Criteris	24
3.3.1.	Criteris d'inclusió	24
3.3.2.	Criteris d'exclusió.....	25

3.4.	Resultats de la recerca	25
4.	Resultats.....	27
4.1.	Descripció dels estudis	31
5.	Discussió.....	34
5.1.	Dades de la mostra analitzada.....	34
5.2.	Dades de les estratègies nutricionals analitzades	35
5.3.	Característiques dels estudis: Mètode i durada	36
5.4.	Anàlisi de les variables	36
5.4.1.	Oxidació de greixos	37
5.4.2.	Molècules que participen en l'oxidació de greixos	39
5.4.3.	Estudis que han analitzat les dues variables	40
5.4.4.	Estudis que no han analitzat cap de les variables	40
5.5.	Factors de limitació.....	41
6.	Aplicabilitat i noves línies de recerca	43
7.	Conclusions.....	44
8.	Bibliografia	45

1. Introducció

1.1. El ciclisme en ruta

El ciclisme en ruta és un esport d'equip de resistència [1,2]. Es caracteritza per ser un esport majoritàriament aeròbic tot i que també requereix tenir desenvolupat el metabolisme anaeròbic ja que és un factor decisiu a l'hora de decidir qui guanya una cursa [3]. Bon exemple d'això es troba en què hi ha moments de la competició en què el ciclista pot estar per sobre del llindar anaeròbic (moment en què hi ha un augment no lineal en la ventilació) com per exemple en contrarellotges, ports de muntanya o finals d'etapa [2,3].

A nivell professional, pot acaparar volums entre competicions i entrenament de fins a 30.000 km en un any. A més, tenen diverses respostes fisiològiques com una millor eficiència en el sistema respiratori, una bona dependència a la utilització del metabolisme dels greixos i adaptacions neuromusculars [2].

Pel que fa a les competicions a nivell professional, hi ha tres tipus de curses en funció de la seva durada [4]:

- **Curses per etapes de tres setmanes** (Tour de França, Giro d'Itàlia i Volta a Espanya): Considerades les més extremes a nivell de duresa a causa de l'acumulació de dies successius competint. Tenen en torn a 3500km repartits en 21 etapes amb dues jornades de descans entre mig [1,4-6].
- **Curses per etapes d'entre 4 i 10 dies** (Volta a Catalunya, París-Niça...): Tenen el mateix format que les competicions de tres setmanes tot i ser més curtes. Combinen etapes planes, de mitja muntanya, d'alta muntanya i contrarellotges que solen anar dels 10 minuts que pot tenir un pròleg als 60 minuts d'una crono llarga de 50km [1,4,5,7].
- **Curses d'un dia** (la Paris-Roubaix, Milan – San Remo, Campionats del Món...): Poden tenir fins a 290km com és el cas de la *Milan – San Remo* i depenen la cursa que sigui té més o menys quilometratge i una orografia diferent en funció del lloc on s'organitzi [4].

Considerant les característiques que tenen les competicions, els corredors han d'adaptar els seus programes d'entrenament a les demandes que tenen

aquestes. Veient-ho des del punt de vista de la nutrició, les adaptacions a l'entrenament es poden veure afectades tant positiva com negativament i, per tant, esdevé un factor rellevant en el rendiment del ciclista [8,9].

1.2. La nutrició en el ciclisme en ruta

El camp de la nutrició esportiva cada cop guanya més importància en el món del ciclisme i s'arriba a un punt en què es perioditza la dieta (modificant les quantitats de cada macronutrient) en funció de cada corredor i del tipus de cursa o entrenament que realitzarà [10].

Els macronutrients que es fan servir com a font d'energia principal són els carbohidrats (CH) i els lípids; sense oblidar les proteïnes que també actuen però en menor quantitat [8].

1.2.1. Els carbohidrats

Els carbohidrats són biomolècules formades per carboni, hidrogen i oxigen (CH_2O) [11]. Són un dels nutrients més importants per a tot tipus d'atletes ja que és un dels principals combustibles pels músculs durant l'exercici [12].

Formen part, generalment, del 50-55% del total de calories de la dieta (podent formar un percentatge més alt de fins el 60-70%) i s'emmagatzemen dins l'organisme en forma de glucogen. La capacitat d'emmagatzematge és d'entre 300 i 400 g en els músculs i entre 80 i 100g en el fetge i s'oxida en forma de glucosa a la sang (via glucolítica) [11].

En funció del nombre de biomolècules que té els podem classificar en [11]:

- **Monosacàrids:** S'hi troben la **glucosa**, **fructosa** (sucres naturals de la fruita) i **galactosa**. La primera és l'única que pot ser oxidada en el múscul; la segona i la tercera s'han de convertir en glucosa per tal de ser oxidades, respectivament.
- **Disacàrids:** Són combinacions de dos monosacàrids dels quals els més coneguts són la **sacarosa** (que prové dels sucres de taula o la mel), la **maltosa** (es troba en alguns cereals i la cervesa) i la **lactosa** (el sucre natural de la llet).

- **Oligosacàrids:** Tenen entre tres i nou monosacàrids i es poden trobar en la majoria de vegetals com fruites i verdures.
- **Polisacàrids:** Coneguts també com hidrats de carboni complexos, poden tenir entre 10 i 20 (maltodextrina) o milers monosacàrids (midons, glucogen i fibra) que són essencialment les formes en què s'emmagatzemen els carbohidrats. Estan principalment en els cereals, la pasta, l'arròs, el pa, etc.

Juntament amb aquesta classificació es troben dos conceptes que avaluen la qualitat d'aquests carbohidrats [12,13]:

- **Índex glucèmic:** Valor que s'assigna a un aliment que incrementa els nivells de concentració glucosa i insulina en sang. El valor de referència el dona la glucosa i és de 100. Els aliments poden tenir un índex glucèmic **baix** (com la poma o les llenties), **mitjà** (com el meló o la pinya) o **alt** (com la patata o el pa blanc). Com es pot apreciar, no es pot associar l'índex glucèmic amb sucres simples ja que hidrats de carboni complexos com la patata tenen un índex glucèmic alt.
- **Càrrega glucèmica:** Té en compte l'índex glucèmic juntament amb la quantitat d'hidrats de carboni que té l'aliment. Per exemple, la síndria té un índex glucèmic alt però una càrrega glucèmica relativament baixa ja que conté poca quantitat d'hidrats de carboni.

Un cop se saben els tipus de carbohidrats que hi ha i d'on s'obtenen, cal saber la quantitat que s'ha d'ingerir per tenir més o menys disponibilitat d'aquests. Així doncs, podem parlar de càrregues o ingestes que poden ser [14,15]:

- **Lleugeres:** Entre 3 i 5 g de CH/kg de pes/dia. Per a entrenaments de baixa intensitat o de tècnica. Altres estudis en suggereixen d'entre 1-3 g/kg de pes/dia [16,17].
- **Moderades:** entre 5 i 7 g de CH/kg de pes/dia. Per a entrenaments de intensitat moderada.
- **Altes:** Entre 6 i 10g de CH/kg de pes/dia. Seria la més recomanada en ciclisme per rendir òptimament en els entrenaments de moderada i alta intensitat (treball en torn al llindar anaeròbic i per sobre) i competicions.

- **Molt altes:** Entre 8 i 12g de CH/kg de pes/dia. Per exercicis d'ultra-resistència i d'intensitats moderades i d'alta intensitat. Tot i així, diversos estudis estableixen que una càrrega alta (entre 6 i 10g de CH/kg de pes/dia) seria l'adient [17,18].

Sabent les quantitats que s'han de prendre, el que toca saber és els *timings* de quan fer-ho. Posant com a exemple un dia de competició, la ingesta prèvia a aquesta hauria de ser d'entre 1 i 4 g de CH/kg de pes entre 1 i 4 hores abans de començar [14]. Tot i així es considera que entre 2-2.5 g de CH/kg de pes seria el més recomanable per evitar problemes gastrointestinals [10]. Aquest àpat es recomana que sigui baix en greixos i fibra i que porti aliments amb un baix índex glucèmic per alliberar la glucosa en sang de forma més sostinguda [14,15].

Aquesta alta disponibilitat d'hidrats de carboni també s'ha de mantenir durant la competició per poder mantenir un bon rendiment. Si aquesta competició té menys de 45 minuts (com és el cas de les contrarellotges) no serà necessària la ingesta de carbohidrats. Si és des d'1 a 2.5 hores, es recomana una ingesta d'entre 30-60g/hora i a partir de 2.5 hores es recomanen uns 90 g de CH/hora combinant fonts de glucosa + fructosa ja que permetrà ingerir més quantitat de carbohidrats [14,15,19].

1.2.2. Els lípids

Els lípids són biomolècules que, igual que els hidrats de carboni, contenen carboni, hidrogen i oxigen, aquest últim amb una menor quantitat en relació als altres (una estructura comú és la de l'àcid palmític: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$). S'emmagatzemen principalment dins els teixits corporals subcutanis en forma de triglicèrids (compostos per dos components: el glicerol i tres àcids grassos) i des d'aquí s'oxiden (via oxidativa) i es transporten a l'òrgan que els utilitza. Existeixen diferents tipus de lípids o àcids grassos que es poden classificar de la següent manera en funció del nombre d'enllaços de carboni que tenen [11,12]:

- **Àcids grassos saturats:** No tenen cap doble enllaç en la cadena de carbonis, són sòlids. Es relacionen amb un impacte negatiu en el sistema cardiovascular.

- **Àcids grassos insaturats:** Poden tenir un doble enllaç en la cadena de carbonis (àcids grassos mono-insaturats) o dos o més dobles enllaços (àcids grassos poliinsaturats) i són líquids a temperatura ambient.

Es troben també altres classes de lípids com els **fosfolípids** o el **colesterol** que formen part d'estructures membranoses i les **lipoproteïnes** (n'hi ha tres tipus en funció de la seva densitat¹: vLDL, LDL i HDL). Diversos tipus de lípids utilitzen aquestes lipoproteïnes per transportar-los a la sang ja que molts d'aquests són insolubles en aigua [11,12].

Els lípids tenen diverses funcions com la de protegir òrgans vitals, transportar les vitamines liposolubles (A, D, E i K) o formar part de les membranes de les cèl·lules. Tanmateix, esdevé una font d'energia important en esports de resistència com és el cas del ciclisme i, l'increment de la proporció de greixos en la dieta, és una estratègia dietètica cada cop més utilitzada en l'esport, ja que permet reservar els dipòsits de glucogen [11,12].

Aquest increment del qual es parla es pot realitzar seguint dos tipus de dietes:

- **Dieta cetogènica (LCHF-KD)²:** El total calòric de lípids en la dieta és d'un 75-80% i el percentatge restant és d'un 15-20% de proteïna i un 5% de carbohidrats (en termes absoluts són màxim uns 40-50 grams/dia) [16,20].
- **Dieta rica en greixos i baixa en hidrats (LCHF-NKD)³:** El total calòric de lípids en la dieta se situa en torn al 60-65% i hi ha una aportació més alta de carbohidrats en comparació amb la dieta cetogènica [16]. Es suggereix una ingesta de 1-3 g de CH/kg de pes/dia [16,17] tot i que altres estudis l'estableixen entre 3 i 5 g CH/kg de pes/dia [14,15]. La quantitat de proteïna hauria de ser un 15-20% del total de la dieta i per tal d'assegurar una adequada reparació muscular i no catabolitzar, es recomana una major ingesta proteica, en torn 2.0 g/kg de pes/dia o inclús més [15,21].

¹ Abreviació de l'Anglès; vLDL: Very Low Density Lipoprotein; LDL: Low Density Lipoprotein; HDL: High Density Lipoprotein.

² Abreviació de l'anglès Low Carbohydrate High Fat Ketogenic Diet.

³ Abreviació de l'anglès Low Carbohydrate High Fat Diet Non Ketogenic Diet.

1.2.3. Les proteïnes

Les proteïnes són el tercer macronutrient que també té la capacitat, en menor mesura, de produir energia tal com fan els carbohidrats i els lípids. A diferència dels altres dos macronutrients, no hi ha dipòsits de proteïnes dins l'organisme i tenen la presència d'un grup amino (NH₂) dins la seva cadena [12].

Les proteïnes formen part de l'estructura de totes les cèl·lules de l'organisme, de la seva membrana, del citoplasma i dels orgànuls. De la mateixa forma, els músculs, la pell i els cabells estan formats per cadenes llargues de proteïnes; una dieta deficient en aquestes podria ocasionar el trencament d'aquestes estructures desembocant amb una pèrdua de massa muscular, elasticitat de la pell, etc. A més, moltes proteïnes són enzims que catalitzen moltes reaccions metabòliques [11].

Aquest macronutrient està format per petits blocs anomenats **aminoàcids** i quan aquests s'ajunten es coneixen com a **pèptids**; la majoria de proteïnes estan formades de polipèptids que poden combinar fins a 300 aminoàcids [11]. Existeixen 20 aminoàcids diferents dels quals es classifiquen en [11,22]:

- **Essencials:** N'hi ha 9; són aquells que el nostre cos no els pot sintetitzar i que provenen de la dieta. Es necessiten per maximitzar la síntesi proteica muscular. Són: Histidina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Fenilalanina, Treonina, Triptòfan i Valina.
- **No essencials:** N'hi ha 11; són aquells que el nostre cos pot sintetitzar. En períodes d'entrenament durs, la seva síntesi es pot veure limitada. Són: Alanina, Arginina, Asparagina, Àcid Aspàrtic, Àcid Glutàmic, Glutamina, Glicina, Prolina, Cisteïna, Serina i Tirosina.

S'ha de considerar que no totes les proteïnes estan completes o no tenen la mateixa qualitat, és a dir, no tenen tots els aminoàcids essencials en les proporcions correctes per estimular la síntesi de noves proteïnes. Per aquesta raó, les proteïnes que sí tenen tots els aminoàcids en les proporcions adequades es consideren proteïnes de qualitat [12].

Existeix un indicador que ho mesura anomenat PDCAAS⁴ que, com més pròxim a 1, més qualitat té la proteïna. Les que provenen dels animals, en especial els làctics, els ous i la majoria de carns es consideren proteïnes de qualitat; per altra banda, les proteïnes que provenen de plantes o vegetals solen tenir deficiència en algun aminoàcid i per tant no es poden considerar d'alta qualitat [12,22].

En quant a la ingesta diària de proteïnes es suggereix que sigui d'entre 1.2 i 2.0 g/kg de pes/dia per tal d'afavorir a les adaptacions metabòliques i reparar el teixit muscular. Aquesta ingesta pot acostar-se al límit superior o inclús superar-lo en períodes d'entrenament intens o en dietes hipocalòriques per evitar la pèrdua de massa muscular [15].

El consum de proteïna s'ha de repartir al llarg dels àpats que es fan durant el dia parant especial atenció just després dels entrenaments [15]. Es recomana consumir entre 0.25-0.3 g de P/kg de pes o entre 20 i 25g juntament amb 6 grams d'aminoàcids essencials per reparar el teixit muscular i estimular la síntesi de múscul [15,23].

Una proteïna que es recomana pel post-entrenament és la provinent del sèrum de la llet (*whey*), ja que té un elevat contingut en leucina (aminoàcid essencial vinculat amb la hipertròfia muscular i l'estimulació de la síntesi proteica muscular) i una alta absorció intestinal. Dita ingesta es pot acompanyar amb carbohidrats per tal de resintetitzar el glucogen muscular, un aspecte a tenir en compte en els ciclistes [15,22,23].

1.3. Periodització nutricional

Al principi de l'apartat 1.2. s'ha introduït el terme "perioditzar la dieta" a partir de la modificació de quantitats de cada macronutrient. Aquest tipus de periodització (conegut també com a periodització nutricional) es tracta de modificar les quantitats de carbohidrats i lípids en funció de l'entrenament que es farà [16].

⁴ PDCAAS de l'anglès Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score.

En referència a això, es troba el paradigma "d'entrenar baix i competir alt" (entrenar amb una baixa disponibilitat de carbohidrats i competir o realitzar sessions d'entrenament d'alta intensitat amb una alta disponibilitat) [24].

Considerant els períodes d'entrenament que hi ha en una temporada n'hi ha que poden completar-se amb una baixa disponibilitat de carbohidrats, fet que ajudarà a activar vies metabòliques que regulen les adaptacions musculars, entre d'altres beneficis que es descriuran pròximament. Per altra banda, a l'hora de competir o de realitzar sessions d'entrenaments específiques o amb intensitat, una alta càrrega d'hidrats serà necessària per un òptim rendiment i una bona recuperació post-entrenament [24].

1.3.1. Entrenament d'Alta Intensitat – *Train High*

En competicions o entrenaments d'alta intensitat en ciclisme (per exemple amb intervals per sobre del llindar anaeròbic) es necessitarà l'ús de glucosa i per tant, una alta disponibilitat de carbohidrats ja que és el combustible principal [16,24]. S'han de tenir diversos aspectes en compte a l'hora d'assegurar aquesta alta disponibilitat en carbohidrats:

1.3.1.1. Una càrrega alta d'hidrats de carboni

D'entre 6 i 10g de CH/kg de pes/dia com s'ha mencionat prèviament, ja que és el combustible principal. A més, en competicions i períodes de càrrega alts d'entrenament, una alta disponibilitat d'hidrats de carboni millora el rendiment i la recuperació [25].

1.3.1.2. Ingerir hidrats de carboni durant l'entrenament o competició

Tal com s'ha explicat prèviament, es recomana entre 30-60g de CH si s'entrena d'1 a 2.5h i per sessions de més de 2.5 hores es recomanen uns 90 g de CH/hora combinant fonts de glucosa + fructosa ja que permetrà ingerir més quantitat de carbohidrats [14,15,19].

Aquesta ingesta d'hidrats de carboni durant la competició pot ser més alta també. En un estudi realitzat amb corredors d'*ultra-trail* es va experimentar

amb 120g de CH/hora amb millores significatives en el rendiment [19]. S'ha de tenir en compte que a més ingesta de carbohidrats, millor rendiment [15].

Un altre clar exemple, va estar protagonitzat per Chris Froome en l'etapa 19 del Giro d'Itàlia, en un pla específic dissenyat pel seu equip (Team Sky) per assegurar una òptima disponibilitat d'hidrats de carboni al llarg de l'etapa. El corredor anglès va ingerir 18,9 g de CH/kg de pes en aquella etapa i hi havia moments en què el rati de consum era de més de 120g de CH per cada 20 minuts [16,26].

Tot i així, se sap que en esports de resistència pot portar problemes gastrointestinals ja que el flux sanguini al sistema digestiu es pot veure reduït en un 80% ja que hi ha una redistribució sanguínia a altres òrgans del cos [19,27].

Hi ha evidències però, que per tal de tolerar aquesta quantitat d'hidrats de carboni en competició és possible realitzar-ho a partir d'un **entrenament del sistema digestiu** [13]. Es pot millorar en dos nivells; a nivell estomacal on principalment es busca un ràpid buidat gàstric i a nivell intestinal on es busca un increment en la densitat del transportador SGLT1 (de l'anglès *Sodium-dependent glucose 1*) per permetre una major absorció i oxidació de carbohidrats durant l'exercici [19,27]. Quan aquestes adaptacions es porten a terme, les possibilitats de tenir problemes gastrointestinals disminueixen [27].

1.3.1.3. Recuperació post-entrenament amb carbohidrats

Ingerir carbohidrats just després de l'entrenament. Es recomana ingerir entre 1.0 i 1.2g/kg de pes/hora en les primeres 4 hores per tal de restablir els dipòsits de glucogen [15,16].

1.3.2. Entrenament de Baixa/Moderada intensitat – *Train Low*

Els entrenaments que són d'intensitat moderada-baixa (rodatges suaus i entrenaments per sota del llindar de lactat), no es necessitarà el combustible

provinent dels hidrats sinó que els greixos seran la font d'energia principal [16,25].

Per tant, els dies en què hi hagi sessions d'entrenaments suaus es podrà optar per tenir una baixa disponibilitat d'hidrats de carboni ja que d'aquesta forma s'obtenen adaptacions moleculars i metabòliques que afavoreixen una millor capacitat oxidativa i per tant, una major eficiència [16,18].

En altres paraules, seria acostumar al cos a utilitzar els greixos com a combustible principal; les intensitats en què s'haurien de treballar estarien, generalment, al voltant del 65% de la freqüència cardíaca ja que és on se sol trobar el punt més alt d'oxidació de greixos. De totes formes, aquest pic màxim d'oxidació de greixos varia molt en funció de cada esportista; el que sí queda clar és que l'oxidació de greixos serà més baixa a mesura que augmenta la intensitat i serà nul·la en intensitats màximes [28].

Es troben diversos mètodes o estratègies nutricionals per afavorir l'entrenament amb baixa disponibilitat de hidrats que es descriuen a continuació.

1.3.2.1. Entrenar amb baixa disponibilitat de carbohidrats (*train low*)⁵

Entrenar amb els dipòsits baixos de glucogen havent realitzat una càrrega baixa d'hidrats i realitzar un entrenament de volum a intensitat moderada. Aquesta càrrega baixa d'hidrats es pot fer seguint una dieta cetogènica o una dieta rica en greixos i baixa en carbohidrats (descrites en l'apartat 1.2.2.) [9,16].

Qualsevol d'aquestes dues dietes (dieta cetogènica i dieta baixa en carbohidrats) busquen una millora de la capacitat oxidativa de greixos i una major eficiència metabòlica, tot i que hi ha una gran controvèrsia a l'hora d'analitzar els avantatges i inconvenients pel que fa a la dieta cetogènica amb el rendiment [18,20].

⁵ Aquest concepte és general, engloba totes les estratègies d'entrenament amb baixa disponibilitat de carbohidrats (entrenament dos cops al dia, en dejú, etc.) [9]. En aquest treball, quan es parla d'entrenar amb baixa disponibilitat de carbohidrats o *train low* es refereix a entrenar amb els dipòsits baixos de glucogen.

Amb la dieta cetogènica es troben evidències d'una reducció de pes corporal i teixit adipós i un augment de l'oxidació d'àcids grassos. No obstant, es tracta d'una dieta molt restrictiva (es restringeix molt el consum de carbohidrats); pot provocar un augment de la síntesis de serotonina (un neurotransmissor que es relaciona amb el cansament), oxidació més alta d'aminoàcids, augment de cossos cetònics i concentració més alta d'amoni amb la conseqüent sensació de fatiga general [20].

1.3.2.2. Entrenar dos cops al dia

La primera sessió, que pot ser amb intervals d'alta intensitat, utilitzarà els dipòsits de glucogen i posteriorment es limitarà el consum de carbohidrats en la recuperació per realitzar la segona sessió amb els dipòsits de glucogen baixos [9,24].

Aquesta estratègia d'entrenament ocasiona que el cos incrementi el temps total d'entrenament (en funció de la durada del segon entrenament) amb una baixa disponibilitat de carbohidrats ja que es limita el seu consum entre totes dues sessions [24].

Una disponibilitat reduïda de glucogen muscular abans i després de l'entrenament augmenta l'expressió de gens que regulen la utilització de diferents substrats i la biogènesis mitocondrial. També, s'hi vinculen altres millores ja mencionades com un increment de la capacitat oxidativa, utilització d'àcids grassos i millora del rendiment [24].

1.3.2.3. Entrenar en dejú

Entrenar just després de llevar-se sense consumir cap aliment, ja que l'última ingesta serà el sopar del dia anterior (realitzat normalment entre les 20 i 22h). Tanmateix, entrenar amb més de 6 hores des de l'última ingesta de carbohidrats s'aconsegueixen beneficis similars [9,16]. El glucogen muscular pot ser el mateix en estat de dejú o havent consumit aliments previs a l'entrenament, tot i que el glucogen hepàtic serà més baix quan realitzem aquesta estratègia nutricional [9,24].

Per entrenar en dejú es recomanarien sessions de mínim 45-60 minuts d'intensitat suau-moderada per tal de promocionar l'oxidació d'àcids grassos [24].

Està demostrat que entrenar en dejú resulta més efectiu a l'hora d'incrementar la capacitat d'oxidació muscular i enzimàtica que entrenar havent menjat [9,24].

Entrenant sota aquesta estratègia nutricional s'ha demostrat una millora en la regulació d'AMPK, uns complexos enzimàtics que augmenten l'expressió de processos involucrats amb el transport d'àcids grassos i glucogen muscular. A més, el consum de 20g de proteïna *whey* (provinent del sèrum de la llet) abans i durant aquest tipus d'entrenaments millora el balanç net de proteïnes tot mantenint la mobilització dels àcids grassos [16,24].

1.3.2.4 No prendre carbohidrats post-entrenament

Consumir molt poca quantitat o res de carbohidrats just després de l'entrenament per retardar la restauració dels dipòsits de glucogen [9,16].

Hi ha controvèrsia a l'hora de saber si és un mètode que funciona. Com a beneficis, està demostrat que la restricció de carbohidrats post-exercici activa el complex enzimàtic p38 MAPK, que involucra la senyalització de gens relacionats amb una millora de l'adaptació metabòlica a l'exercici [9].

Per altra banda, hi ha diferents estudis que demostren que no hi ha una millora en aquestes adaptacions i inclús un impacte negatiu en la funció immune de l'organisme i en la massa òssia [9,16].

1.3.2.5. Dormir baix i entrenar baix (*sleep low train low*)

Es pot relacionar amb l'anterior estratègia nutricional descrita; es fa un entrenament d'alta intensitat amb una elevada disponibilitat de carbohidrats al vespre (*train high*) i posteriorment es restringeix el consum de carbohidrats i es va a dormir baix de CH (*sleep low*) [16]. A l'endemà, es realitza un entrenament en dejú o sense haver consumit carbohidrats (*train low*) durant aquest període [24].

El temps total amb els dipòsits buits de glucogen pot estar entre 12 i 14 hores en funció del temps d'entrenament i de descans a la nit [24]. En l'entrenament del matí següent, s'ha demostrat una resposta positiva de marcadors genètics relacionats amb l'oxidació de lípids comparat amb si es consumeix un àpat normal a la nit [9]. Cal considerar també que la ingesta de proteïnes pot ajudar a processos adaptatius a l'exercici [16].

1.3.2.6. No prendre carbohidrats durant l'entrenament

Els beneficis d'ingerir carbohidrats durant l'exercici són àmpliament coneguts però si es vol treballar amb una baixa disponibilitat d'aquests per ajudar a diverses adaptacions metabòliques, s'ha de restringir el seu ús. Tal com diu el nom d'aquesta estratègia nutricional, es tracta d'entrenar sense consumir carbohidrats de forma exògena [9].

La ingesta de carbohidrats pot afectar negativament l'expressió de gens rellevant implicats a les adaptacions metabòliques (per exemple a l'oxidació de lípids) [9].

A continuació, en la *figura 1* es pot observar un esquema que resumeix les estratègies nutricionals segons la intensitat de l'entrenament i la seva respectiva disponibilitat de carbohidrats.

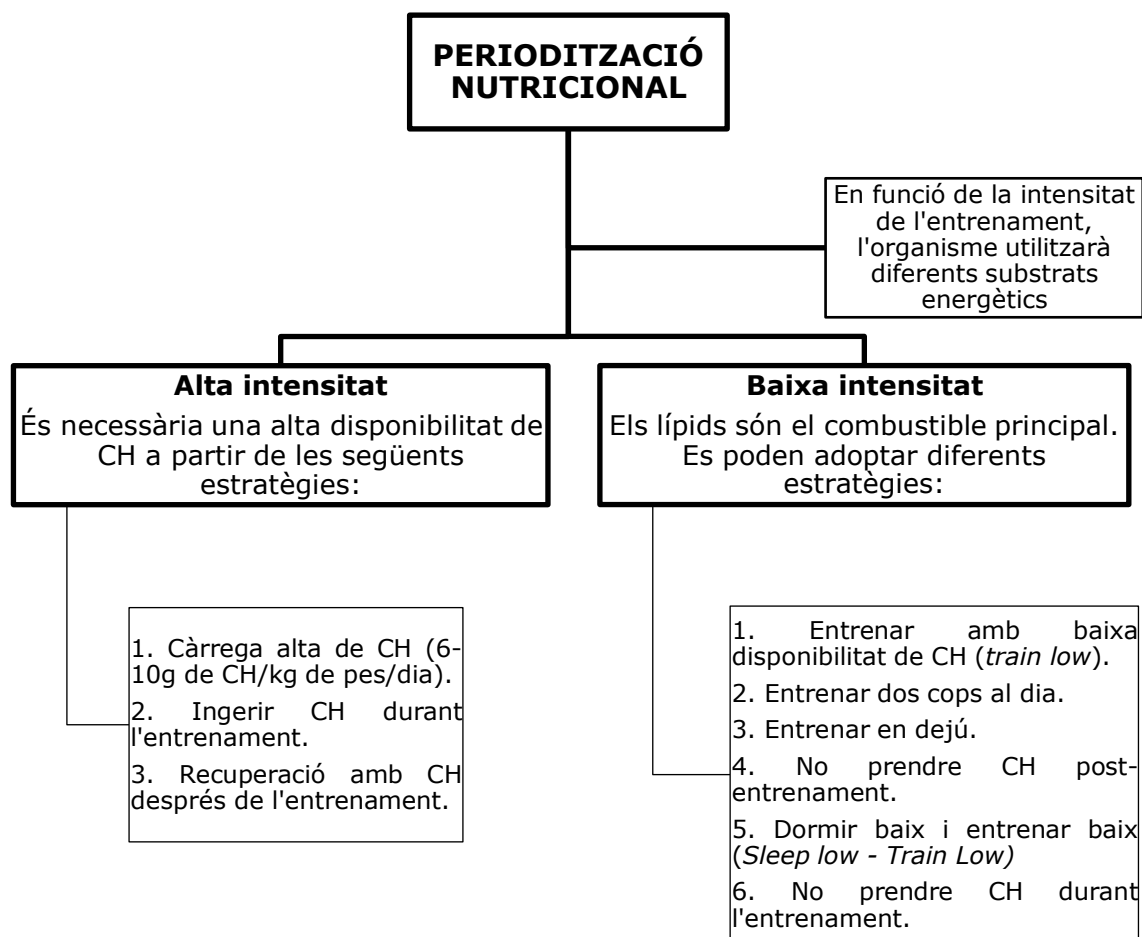


Figura 1: Esquema de la periodització nutricional
Font: Pròpia

1.4. Flexibilitat metabòlica i eficiència metabòlica

Amb la periodització nutricional s'hi pot relacionar el concepte de **flexibilitat metabòlica**, és a dir, la capacitat d'utilitzar un substrat o un altre en funció de la intensitat de l'exercici [10]. En altres paraules, ens ve a dir que quan es treballa a intensitats baixes-moderades el cos d'un ciclista ha de saber utilitzar l'energia que prové dels greixos i estalviar el glucogen [9,10].

Quan s'incrementa la intensitat de l'exercici però, el cos requerirà el metabolisme anaeròbic i per tant l'ús de vies glucolítiques (l'ús de greixos serà pràcticament nul); és per això que el ciclista haurà de poder utilitzar les reserves de glucogen com més tard millor. Com més eficient sigui el ciclista, més capacitat tindrà de retardar l'entrada del glucogen per quan realment ho necessiti. Aquesta eficiència es pot treballar en funció de la intensitat i durada

de l'entrenament i amb la aplicació de diverses estratègies nutricionals com les esmentades en l'anterior apartat [10].

El ciclista que és més "flexible" metabòlicament, més oportunitats tindrà d'arribar amb energia a la part final d'una competició, és a dir, tindrà millor rendiment i millor resultat (tot i que el resultat sempre dependrà d'altres factors). Aquest, és un aspecte que cada cop es cuida amb més èmfasi dins dels equips ciclistes professionals que compten amb un equip de entrenadors i nutricionistes que treballen conjuntament per optimitzar el rendiment dels seus corredors [10].

1.5. Indicadors i eines de valoració de l'eficiència metabòlica

Es troben diversos indicadors a l'hora de saber si el ciclista és més o menys eficient metabòlicament. Aquests indicadors es mesuren a partir d'eines de valoració com els analitzadors de gasos on s'analitza el consum d'oxigen (VO_2) i de diòxid de carboni (VCO_2) per saber **l'oxidació de greixos** (en $g \cdot min^{-1}$), un indicador clau a l'hora d'analitzar l'eficiència metabòlica [29].

En funció de l'estudi, s'utilitzen diversos tipus de tests de laboratori (eines de valoració) que es realitzen en un ergòmetre: tests incrementals on la potència puja progressivament fins que el ciclista no pot més, tests de diverses distàncies (10, 20, 30km...), etc. Cada estudi tria les variables que vol mesurar depenent de l'objectiu que tenen; en general, serveixen per mesurar el consum màxim d'oxigen (VO_{2max}), el VCO_2 , la potència aeròbica màxima (PAM), la Ratio d'intercanvi Respiratori (RER), la ventilació per minut (VE), entre d'altres. Aquests, són paràmetres vàlids a l'hora de valorar si hi ha hagut millores en el rendiment del ciclista [29,30].

Es troben també altres indicadors de mesura com les molècules que participen en la regulació de l'oxidació de greixos i que, en situacions de baixa disponibilitat de glucogen s'activen [24]. Es poden analitzar gràcies a biòpsies musculars on s'extreuen mostres de teixit [31]. Les que més es destaquen i s'analitzen posteriorment són:

- **PGC1 α** (abreviació de l'anglès **proliferator-activated receptor gamma co-activator 1-alpha**): Un regulador de la biogènesi

mitocondrial, de la respiració, de transcripció de diversos gens i altres processos metabòlics vinculats amb les vies oxidatives [32,33].

- **AMPK (abreviació de l'anglès *AMP-Activated protein kinase*):** Són uns complexos enzimàtics involucrats en el transport d'àcids grassos i glucogen muscular [24].
- **p38MAPK (abreviació de l'anglès *p38 mitogen-activated protein kinase*):** Estan involucrats en la senyalització de gens relacionats amb una millora de l'adaptació metabòlica a l'exercici [9].

1.6. Justificació

La nutrició és un camp que cada cop guanya més importància dins l'esport i, especialment en el ciclisme, esdevé un factor clau a l'hora de cobrir les demandes fisiològiques que té l'organisme en funció de la intensitat i el volum d'entrenament.

Tal com s'ha descrit, principalment per la intensitat, es poden utilitzar dues vies metabòliques: la glucolítica (oxidació de glucogen en entrenaments d'alta intensitat) i l'oxidativa (oxidació d'àcids grassos en entrenaments de baixa-moderada intensitat). Hi ha diverses estratègies nutricionals amb cada via metabòlica de les quals s'ha d'estudiat les millores adaptatives que existeixen.

Aquesta revisió bibliogràfica queda enfocada en les diverses estratègies nutricionals sota una disponibilitat baixa en hidrats de carboni (o *low carb* en anglès). S'estudia quines adaptacions metabòliques hi ha i si realment té un impacte positiu en el rendiment.

Aquestes adaptacions poden variar segons el nivell físic del ciclista; és per això, que aquesta revisió se centra en ciclistes masculins en ruta entrenats.

2. Objectius

2.1. Objectiu general

L'objectiu general d'aquesta revisió és el següent:

Determinar si les estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats permeten millorar l'eficiència metabòlica en ciclistes en ruta entrenats i si això es veu reflectit en una millora en el rendiment.

2.2. Objectius específics

Els objectius específics d'aquest Treball Final de Màster són els següents:

- *Analitzar si hi ha una millor oxidació de greixos (adaptacions metabòliques) quan s'aplica alguna de les estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats en ciclistes en ruta entrenats.*
- *Conèixer si les molècules que participen en l'oxidació de greixos (PGC1 α , AMPK, p38MAPK) s'activen quan s'aplica alguna de les estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats en ciclistes en ruta entrenats.*

3. Metodologia

3.1. Descripció de la recerca

En aquesta revisió bibliogràfica s'examinen assajos clínics que tenen relació entre les dietes *low carb* i les seves estratègies i els beneficis a nivell fisiològic i físic amb ciclistes entrenats.

La recerca es realitzarà a partir de la base de dades *PubMed* i *Scopus*, dos motors de recerca d'articles i revistes científiques.

3.2. Estratègia de recerca – Paraules clau

A partir de les dues bases de dades esmentades (*PubMed* i *Scopus*) s'ha realitzat una recerca d'articles científics a partir de la combinació de paraules clau com, *Sleep-low Carbohydrate*, *Fasted Training*, *Low Carbohydrate Recovery* i *Ketogenic diet*.

Aquestes paraules s'han combinat amb la paraula clau *cycling* i per tant l'algoritme de recerca és: *Cycling AND Sleep-low Carbohydrate OR Fasted Training OR Low Carbohydrate Recovery OR Ketogenic Diet*.

3.3. Criteris

3.3.1. Criteris d'inclusió

Els criteris d'inclusió per a aquesta revisió bibliogràfica han estat els següents:

- Articles que siguin assajos clínics, assajos aleatoris controlats o estudis quasi experimentals.
- Articles en els quals la data de publicació sigui posterior al 2010.
- Articles en què els participants de l'estudi siguin ciclistes entrenats.

3.3.2. Criteris d'exclusió

No formaran part de la revisió bibliogràfica els articles en els quals la part pràctica no hagi estat enfocada en el ciclisme o la mostra practiqui un altre esport.

3.4. Resultats de la recerca

S'han trobat 162 articles relacionats amb les dietes *low carb* i les seves estratègies nutricionals amb ciclistes entrenats a partir de l'estratègia de recerca mencionada en el anteriorment. En la recerca s'ha aplicat el primer filtre d'excloure els articles anteriors a 2010.

Des de la base de dades Scopus s'han trobat 74 articles i des de la base de dades PubMed s'han trobat 88 articles, dels quals s'han eliminat 33 articles que estaven duplicats. Tot seguit, 100 articles han quedat exclosos un cop llegit el títol o el resum de l'estudi, donant el resultat de 29 articles per llegir el text, on 17 d'ells han quedat exclosos per no complir amb els criteris d'inclusió o tenir criteris d'exclusió.

El resultat final ha estat de 12 estudis que seran analitzats en l'apartat de resultats. En el següent diagrama de fluxes (*figura 2*) es pot veure el resultat d'aquesta recerca.

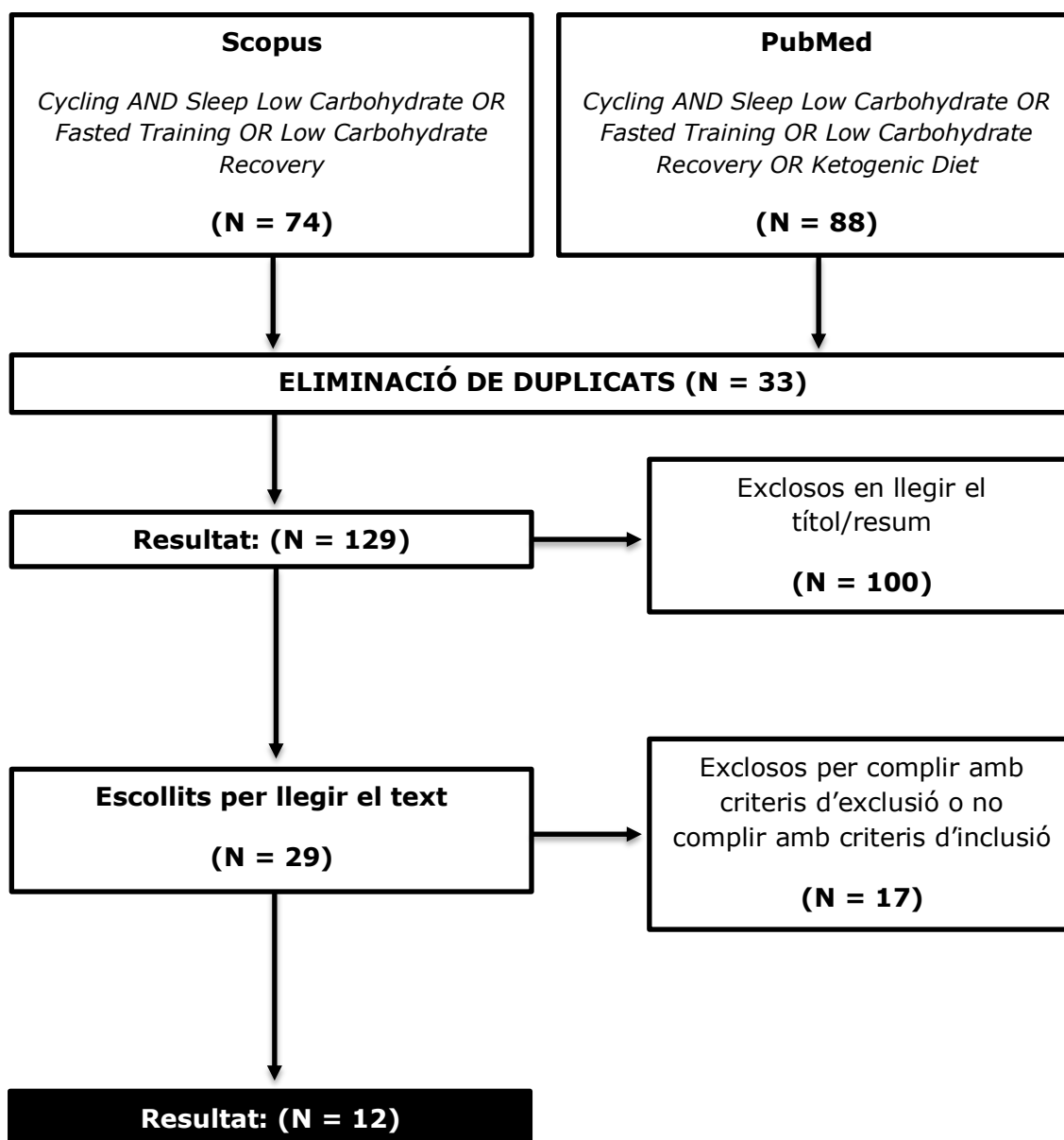


Figura 2: *Diagrama de fluxes de la recerca d'articles*
 Font: Pròpia

4. Resultats

Estudi	Mostra	Objectiu	Estratègia nutricional	Resultats (AM: Adaptacions metabòliques – MR: Millores en el Rendiment)
Podlogar <i>et al.</i> 2020 [34]	10 ciclistes entrenats	Explorar com actua el metabolisme aplicant l'estratègia de dormir baix i entrenar baix.	No prendre CH després de l'entrenament / Dormir baix i entrenar baix (<i>sleep low train low</i>)	<p>AM: L'oxidació d'àcids grassos era més alta en l'EA quan no es consumien CH entre entrenaments o quan es consumia només en l'EA del matí.</p> <p>MR: Independentment de l'estratègia empleada; no hi van haver diferències significatives de rendiment en la contrarellotge de 40'.</p>
Hearris <i>et al.</i> 2019 [35]	8 ciclistes entrenats	Examinar les concentracions de glucogen abans de l'entrenament amb la capacitat d'exercici i la modulació de vies de senyalització que es lliguen amb una millora positiva de la biogènesis mitocondrial.	No prendre CH després de l'entrenament / Dormir baix i entrenar baix (<i>sleep low train low</i>)	<p>AM: Sota aquesta estratègia nutricional, els nivells de glucogen quedaven per sota de 300 mmol/kg, fet que feia que no hi hagués un augment de la resposta en la senyalització de les cèl·lules musculars.</p> <p>MR: En baixa disponibilitat de CH el rendiment és menor quan es treballa al 80% de la PAM (alta intensitat).</p>
Learsi <i>et al.</i> 2019 [36]	9 ciclistes	Determinar si la ingesta de CH durant l'exercici millora el rendiment en un esforç de 105' + 10km al màxim en estat de dejú o després d'haver menjat.	Entrenament en dejú i entrenament sense consumir CH	<p>AM: L'oxidació d'àcids grassos era més alta en estat de dejú independentment si s'ingerien CH durant la sessió.</p> <p>MR: Millores en el rendiment en test de 10km (es cobria amb menys temps) quan s'ingeria CH independentment de si estava en dejú o havent esmorzat.</p>

Estudi	Mostra	Objectiu	Estratègia nutricional	Resultats (AM: Adaptacions metabòliques – MR: Millores en el Rendiment)
Terada <i>et al.</i> 2019 [37]	20 ciclistes entrenats	Comparar els efectes d'un HIIT consumint CH o realitzant-lo en estat de dejú i veure l'impacte en la capacitat aeròbica i la resistència aeròbica intensiva.	Entrenament en dejú	AM: ND. MR: L'entrenament d'alta intensitat es veia afectat negativament quan s'entrenava en dejú. PAM i treball (kJ) eren més baixos en el grup que entrenava en dejú. Tot i així, l'entrenament en dejú pot tenir un impacte positiu en entrenaments de capacitat aeròbica.
Paris <i>et al.</i> 2019 [38]	8 ciclistes entrenats	Investigar els efectes de dormir amb baixa disponibilitat de HC i entrenar baix durant exercicis d'intensitats màximes i submàximes.	No prendre CH després de l'entrenament / Dormir baix i entrenar baix (<i>sleep low train low</i>)	AM: ND. MR: En condicions de dormir baix i entrenar baix, el test de 5km va ser pitjor que en quan es recuperava del primer entrenament amb beguda de CH.
Riis <i>et al.</i> 2019 [39]	13 ciclistes entrenats	Investigar l'efecte de l'estratègia de dormir i entrenar amb baixa disponibilitat d'HC durant 4 setmanes i veure els canvis en l'oxidació de greixos, l'expressió de gens i proteïnes lligats a l'oxidació de greixos, la capacitat de resistència, etc.	No prendre CH després de l'entrenament / Dormir baix i entrenar baix (<i>sleep low train low</i>)	AM: Increment d'un 36% de l'oxidació de greixos en el grup que entrenava i dormia baix durant l'EA. Sense diferències en tots dos grups en proteïnes vinculades amb la lipòlisis o transport d'àcids grassos. MR: Millora aguda en tots dos grups en un test de 30 minuts (sense diferències entre ells).

Estudi	Mostra	Objectiu	Estratègia nutricional	Resultats (AM: Adaptacions metabòliques – MR: Milllores en el Rendiment)
Marquet <i>et al.</i> 2016 [40]	11 ciclistes entrenats	Examinar l'estratègia de dormir baix i entrenar amb baixa disponibilitat d'HC en una setmana i veure si hi ha efectes positius en el rendiment i millora d'adaptacions metabòliques.	No prendre CH després de l'entrenament / Dormir baix i entrenar baix (<i>sleep low train low</i>)	AM: No hi van haver diferències entre SL i CON en oxidació de CH o L. MR: Millora de rendiment de SL en un test de 20km amb una disminució del temps empleat i increment de la potència mitjana. L'aplicació d'aquesta intervenció d'1 setmana en ciclistes entrenats pot resultar efectiva.
Lane <i>et al.</i> 2015 [41]	7 ciclistes entrenats	Determinar la resposta de l'organisme i muscular a partir de l'estratègia de dormir baix i entrenar amb baixa disponibilitat d'HC.	No prendre CH després de l'entrenament / Dormir baix i entrenar baix (<i>sleep low train low</i>)	AM: Millora en la resposta de diversos marcadors genètics relacionats amb l'oxidació de lípids quan es restringeix el consum de CH després del HIIT. MR: ND.
Zajac <i>et al.</i> 2014 [42]	8 ciclistes entrenats	Veure com una dieta rica en greixos i baixa en CH durant 4 setmanes afecta el rendiment aeròbic i el metabolisme en ciclistes.	Entrenament amb baixa disponibilitat de CH (<i>Train Low</i>)	AM: Els àcids grassos lliures intervenen en la despesa calòrica en exercicis de moderada intensitat. MR: Canvis favorables en la composició corporal i pes.

Estudi	Mostra	Objectiu	Estratègia nutricional	Resultats (AM: Adaptacions metabòliques – MR: Millores en el Rendiment)
Psilander <i>et al.</i> 2012 [43]	10 ciclistes entrenats	Determinar si l'exercici amb baixa disponibilitat de CH millora l'expressió del gen PGC-1 α i altres gens relacionats amb la biogènesis mitocondrial. Investigar el paper de l'estrés oxidatiu i altres vies de senyalització.	No prendre CH després de l'entrenament / Dormir baix i entrenar baix (<i>sleep low train low</i>)	AM: Amb baixos nivells de glucogen s'aconsegueix un increment de l'expressió del gen PGC-1 α . MR: ND
Hulston <i>et al.</i> 2010 [44]	14 ciclistes entrenats	Analitzar el rendiment dels ciclistes amb baixa disponibilitat de glucogen així com les adaptacions musculars i els substrats que s'utilitzen.	Entrenament dos cops al dia	AM: El grup que treballava amb baixa disponibilitat de CH va augmentar l'oxidació de greixos en comparació amb el grup que consumia CH. MR: La intensitat es veia reduïda quan s'entrenava amb baix contingut de glucogen. Hi van haver millores del rendiment en contrarellotge en tots dos grups.
Yeo <i>et al.</i> 2010 [45]	12 ciclistes entrenats	Investigar la resposta aguda de senyalització de diversos gens en un HIIT portat a terme amb una concentració de glucogen baixa o normal.	Entrenament dos cops al dia	AM: El grup que entrenava amb una concentració de glucogen normal (HIGH) tenia nivells de glucogen més alts després de l'entrenament HIIT que el grup que entrenava amb una concentració baixa de glucogen (LOW). La fosforilació d'AMPK després dels entrenaments HIIT va ser més alta en grup LOW i la de p38 MAPK va ser més alta en tots dos grups. MR: ND.

Abreviacions: EA – Entrenament Aeròbic; HIIT - Entrenament intervàlic d'alta intensitat (de l'anglès *High Intensity Interval Training*); LCHF-NKD - Dieta baixa en hidrats no cetogènica (de l'anglès *Low Carbohydrate High Fat Non-Ketogenic Diet*); CH – Carbohidrats; L – Lípids; P – Proteïnes; PAM - Potència Aeròbica Màxima.

4.1. Descripció dels estudis

Podlogar et al. 2020 [34]: La mostra portava a terme 3 sessions experimentals de dos entrenaments cada una. Cada sessió consistia en un HIT realitzat el vespre i el matí següent un EA de 60' seguit d'una contrarellotge d'uns 40'. En la primera sessió no es consumien CH entre entrenaments; en la segona es consumien CH només en el l'EA fet el matí; en la tercera sessió es consumia 1.2g de CH/hora durant les 7h posteriors a l'entrenament de la tarda i durant l'EA fet el matí següent.

Harris et al. 2019 [35]: Els participants feien tres sessions experimentals amb dos entrenaments cada una: a un HIT per buidar els dipòsits de glucogen a la tarda (3pm) i un entrenament HIT el matí següent (8 x 3' al 80% de la PAM amb 1' de recuperació més repeticions d'1' al 80% de la PAM amb 1' de recuperació fins no poder més). Una sessió es feia sense consumir CH entre sessions; una altra es feia consumint una càrrega de CH moderada (3.6g/kg) i en l'altra es consumia una càrrega alta de CH (7.6g/kg).

Learsi et al. 2019 [36]: En un període d'una setmana, la mostra realitzava 5 sessions. La primera era per familiaritzar-se amb el test de 10km i les altres quatre eren: dues en dejú (una ingerint CH durant la sessió i l'altre amb placebo) i dues després d'esmorzar (d'igual forma, una ingerint CH durant la sessió i l'altre amb placebo). Aquestes 4 sessions eren un EA de 105' i un test de 10km posterior a aquest EA.

Terada et al. 2019 [37]: La mostra estava dividida en dos grups: Un entrenava en dejú (FAST) i l'altre no (FED). Tots dos grups van realitzar un pre-test on es feia un test incremental i un test de resistència al 85% del VO₂max. Tot seguit, es feia una intervenció de 4 setmanes amb 3 entrenaments cada una on es feien de 4 a 7 repeticions de 30" al màxim amb 4' de recuperació. El grup FAST realitzava la sessió en dejú i sense consumir

CH mentre que grup FED esmorzava i consumia beguda de CH durant l'exercici.

Paris et al. 2019 [38]: 4 entrenaments en 1 setmana: els dos primers eren un HIT de 6 a 11 x 1' al 105% de la PAM més un EA de 80' al 75-85% de la FCM fet al vespre; el matí següent un escalfament més un esforç al màxim de 5km. Es consumia beguda amb CH entre els dos entrenaments. Els dos següents entrenaments es feia el mateix però sense consumir beguda amb CH entre entrenaments.

Riis et al. 2019 [39]: La mostra es va dividir en dos grups: Grup Sleep low (SL) i grup amb alta disponibilitat de CH (High-CH) i van realitzar un programa de 4 setmanes amb 3 blocs d'entrenaments cada una. Cada bloc era un HIIT fet al vespre (10 x 5' al 90% de la FCM amb 1' de recuperació) i un EA de 75' al 65-75% de la FCM fet el matí següent. SL restringia els CH entre el HIIT i l'EA mentre que High-CH si que consumia CH entre tots dos entrenaments.

Marquet et al. 2016 [40]: La mostra es va dividir en dos grups, Grup Sleep Low (SL) i Grup Control (CON). Van realitzar un pre-test on es feia un test incremental i tot seguit, es feia una intervenció d'1 setmana amb 6 entrenaments. Tots dos grups feien un HIIT al vespre (8 x 5' al 85% de la PAM amb 1' de recuperació activa) i un EA de 60' el matí següent (al 65% de la PAM). SL i CON consumien la mateixa quantitat de CH (6g/kg de pes/dia) però SL els restringia després del HIIT. Finalment, es fa un post-test amb el mateix test incremental.

Lane et al. 2015 [41]: Els participants van realitzar 2 sessions experimentals de 2 entrenaments cada una. La primera sessió era un HIIT (8 x 5' al 82,5% de la PPO amb 1' de recuperació activa) que es feia el vespre del primer dia i la segona un EA de 120' realitzat el matí següent sense menjar entre tots dos entrenaments. La segona sessió es feien els mateixos entrenaments a les mateixes hores però es menjaven CH després del HIIT fet el vespre.

Zajac et al. 2014 [42]: La mostra es va dividir en dos grups: Una part portava a terme una dieta mixta (50% de CH, 30% de L i 20% de P) i l'altra part feia una dieta rica en greixos i baixa en CH (15% CH – 70% L – 15% P).

Tots dos grups feien un test incremental i un de 105' (90' a intensitat submàxima + 15' al llindar de lactat) i durant un període de 4 setmanes els aplicaven la dieta rica en greixos i baixa en CH o una dieta mixta en funció tot mantenint els seus entrenaments. Els mateixos testos es van repetir un cop acabada la intervenció dietètica, 4 setmanes després.

Psilander et al. 2012 [43]: Tots els participants feien 2 sessions amb 2 entrenaments: en el primer es feia per buidar els dipòsits de glucogen (EA de 45' al 75% del seu VO₂max + 8 x 4' al 88% del seu VO₂max amb 4' de recuperació activa) i la segona es feia el matí següent (6 x 10' al 64% seu VO₂max amb 4' de recuperació activa). La primera sessió es feia sense haver ingerit CH entre els dos entrenaments i en la segona sessió sí que s'ingerien CH entre els dos entrenaments.

Hulston et al. 2010 [44]: La mostra es va dividir en dos grups: Grup LOW i Grup HIGH. El grup LOW feia un EA de 90' al 70% del seu VO₂max i una altra sessió HIIT de 8 x 5' al màxim el mateix dia. Grup HIGH feia els mateixos entrenaments però l'EA el feia un dia i el HIIT el portava a terme l'endemà.

Yeo et al. 2010 [45]: La mostra es va dividir en dos grups: Grup LOW i Grup HIGH. Tots dos grups feien un EA de 100' al 70% del seu VO₂max i un HIIT de 8 x 5' al màxim amb 1' de recuperació. El Grup LOW feia l'EA i el HIIT amb 1-2 hores de separació entre entrenaments i el Grup HIGH feia aquests dos entrenaments però en dos dies diferents.

5. Discussió

L'objectiu d'aquesta revisió bibliogràfica ha estat determinar si les estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats permeten millorar l'eficiència metabòlica en ciclistes en ruta entrenats i si això es veu reflectit en una millora en el rendiment. Juntament amb això, els objectius específics eren analitzar si hi havia una millor oxidació de greixos i conèixer si les molècules que participen en l'oxidació de greixos (PGC1 α , AMPK, p38MAPK) s'activen quan s'aplica alguna de les estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats.

Per facilitar la discussió, en primer lloc es comenta la mostra dels estudis analitzats; seguidament les estratègies nutricionals que s'han analitzat i posteriorment, es presenten les característiques dels estudis analitzats (mètodes i durada). Tot seguit, es relacionen els estudis amb l'objectiu general i objectius específics del treball i es comparen amb altres estudis i, finalment, es parla sobre les limitacions que s'han trobat.

5.1. Dades de la mostra analitzada

En relació a les característiques de la mostra, els participants de l'estudi eren homes ciclistes entrenats, tret d'un estudi (Podlogar *et al.* 2020 [34]) que va incloure una dona i nou homes entrenats.

El criteri que s'ha tingut a l'hora de saber si eren ciclistes entrenats ha estat si tenien un VO₂max superior a 52ml·kg⁻¹·min⁻¹, ja que segons un estudi, a partir d'aquest valor es considera que l'esportista té una bona capacitat aeròbica [46]. El VO₂max és el punt en el qual l'oxigen pot ser utilitzat per la respiració cel·lular mentre el ciclista porta a terme un exercici intens i esdevé un valor clau per mesurar la capacitat aeròbica [47,48].

Dos dels dotze estudis analitzats utilitzen una mostra que té un VO₂max inferior (Harris *et al.* [35] i Lears *et al.* [36]) però es va decidir incloure'ls per tal de veure més resultats i poder incloure almenys un estudi de cada estratègia nutricional.

Els estudis analitzats van treballar amb una mostra d'entre 7 i 20 participants, una mostra semblant (entre 7 i 23 participants) en els estudis analitzats en el treball de Impey *et al.* [24].

5.2. Dades de les estratègies nutricionals analitzades

L'anàlisi de resultats inclou almenys un estudi de cada estratègia nutricional amb baixa disponibilitat de carbohidrats. Tot i existir més estudis com demostra Impey *et al.* en el seu treball [24], en aquesta revisió el número d'estudis analitzat és menor ja que està centrat només en ciclistes entrenats; cosa que l'estudi esmentat analitza esportistes de tots els nivells i de diferents esports.

En la introducció s'han desglossat 6 estratègies nutricionals que es poden portar a terme amb baixa disponibilitat de carbohidrats; no obstant, un cop s'han fet els resultats, dues d'aquestes estratègies s'han considerat com una sola ("No prendre carbohidrats post-entrenament i dormir baix – entrenar baix"). Tal com s'ha explicat anteriorment en la introducció, són dues estratègies que es poden portar a terme al mateix temps tal com demostren els estudis analitzats, fet que coincideix amb l'estudi de Burke *et al.* [16].

En la *figura 3* es pot veure el número d'estudis analitzats per cada estratègia nutricional amb baixa disponibilitat de carbohidrats.

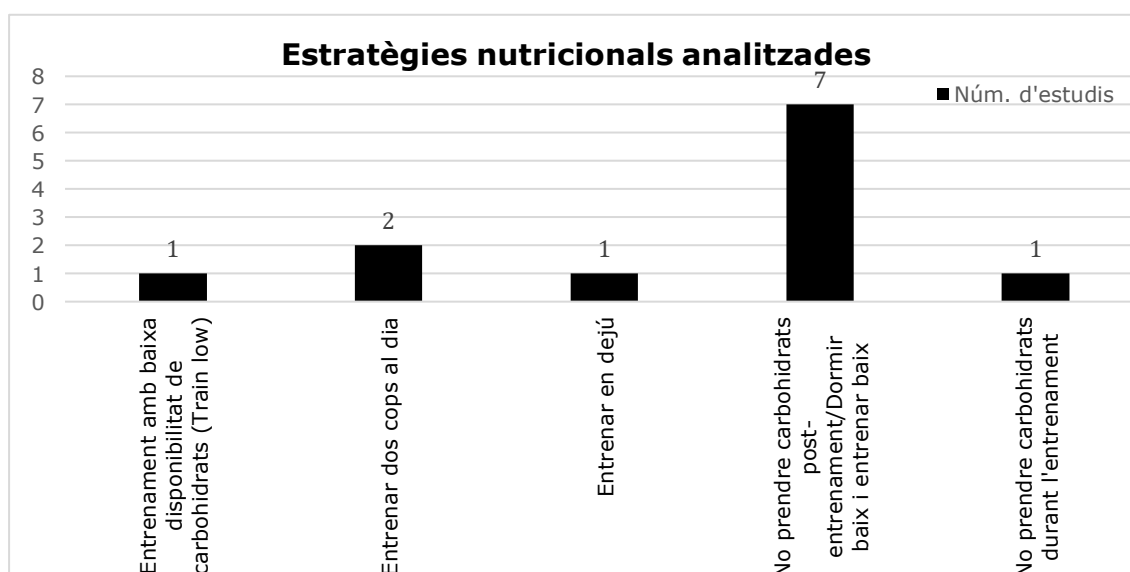


Figura 3: *Estudis analitzats per cada estratègia nutricional amb baixa disponibilitat de carbohidrats*

Font: Pròpia

5.3. Característiques dels estudis: Mètode i durada

Tal com s'ha explicat prèviament en l'apartat 1.5., els tests de laboratori dels estudis analitzats s'han realitzat en ergòmetres, tot i que cada estudi ha utilitzat el seu propi test per analitzar les variables que tenia com a objectiu.

Els tests emprats en els resultats analitzats han estat tests incrementals i tests de resistència tal com han utilitzat diferents estudis prèviament esmentats [29,30]. Altres estudis no han realitzat aquest tipus de tests i simplement han analitzat els entrenaments aeròbics (EA) o d'alta intensitat (HIIT) que portaven a terme els participants de l'estudi per analitzar les respectives variables que tenien com a objectiu.

Diversos estudis analitzats han utilitzat la tècnica de la biòpsia muscular on s'extreien mostres de teixit i s'analitzava l'activació de molècules (PGC1 α , AMPK, p38MAPK) que participen en l'oxidació de greixos.

La durada de les intervencions ha estat molt diferent en cada estudi. Es troben estudis com Terada *et al.* [37] i Zajac *et al.* [42] que intervenien en l'entrenament i nutrició durant 4 setmanes, altres com Marquet *et al.* [40] que intervenien durant 1 setmana i altres com Yeo *et al.* [45] que ho feien en només 1-2 dies.

És per això, que es veuen resultats diferents en cada estudi i que es millora el rendiment en diferents tests.

5.4. Anàlisi de les variables

Les variables que analitza aquesta revisió bibliogràfica són:

- Oxidació de greixos.
- Activació de molècules que participen en l'oxidació de greixos (PGC1 α , AMPK, p38MAPK)

Aquestes variables són, tal com s'ha mencionat al llarg del treball, les que determinen si hi ha hagut una millora en l'eficiència metabòlica i si això s'ha traduït en una millora del rendiment. La diferència entre totes dues variables és que la primera es pot mesurar a partir d'un analitzador de gasos mentre es realitza el test de laboratori com per exemple el cas de Marquet *et al.* [40].

La segona variable se sol mesurar a partir de biòpsies musculars com per exemple ha estat el cas de Hearnis *et al.* [35].

En la *figura 4* es pot visualitzar quants estudis han analitzat cada una de les variables.

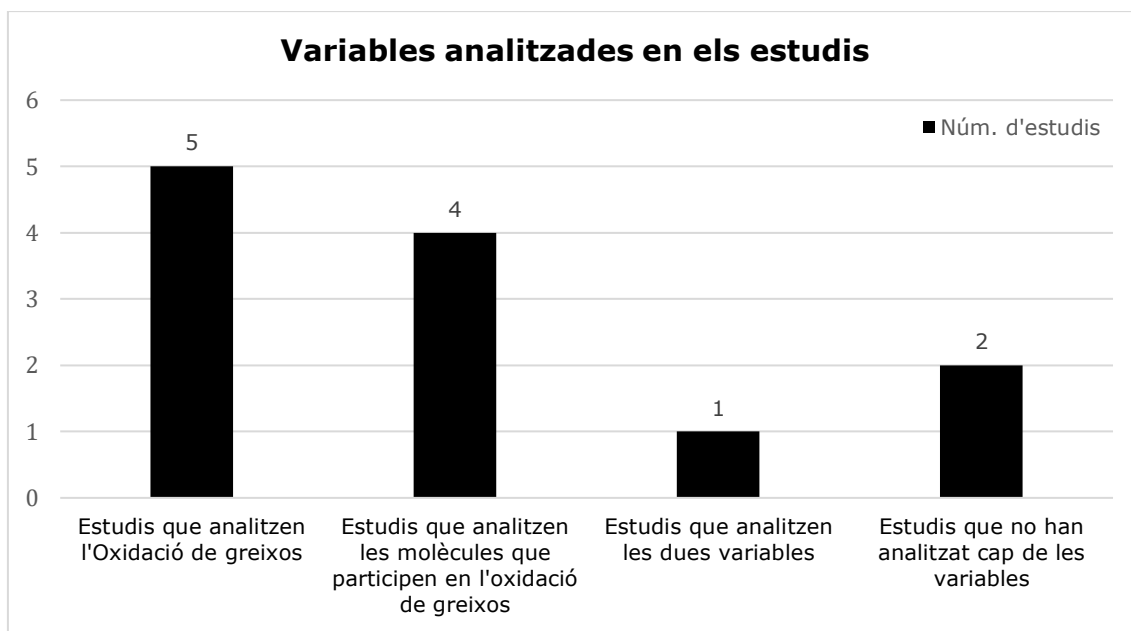


Figura 4: *Estudis analitzats per cada una de les variables*
Font: Pròpia

Tenint en compte en si hi ha hagut modificacions positives o negatives del rendiment dels participants, s'han trobat 9 estudis que si que ho han analitzat i 3 que no. D'aquests 9 estudis, els tests o entrenaments realitzats han estat diferents i s'han obtingut variacions en el rendiment diferents en funció del test que s'ha aplicat.

Tot seguit, s'avalua per cada variable si hi ha hagut alguna modificació:

5.4.1. Oxidació de greixos

Considerant la primera de les variables (l'oxidació de greixos), s'han trobat 5 estudis que ho han analitzat i, cada un, ha portat a terme diferents estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats. D'aquests 5 estudis, quatre [34,36,42,44] van concloure que existia una millor oxidació de greixos quan es portava a terme una estratègia nutricional amb baixa

disponibilitat de carbohidrats i un [40] no va trobar diferències entre el grup que intervenia i el grup control.

Això demostra que per tal d'aconseguir una millor oxidació de greixos i per tant, una millor eficiència metabòlica, es poden portar a terme estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats.

Pel que fa a si hi ha hagut una millora significativa del rendiment, es troben resultats bastant diferents ja que també han utilitzat tests de laboratori diferents.

Per una banda, en tres estudis, Learsi *et al.* [36] (utilitzava l'estratègia d'entrenar en dejú i sense consumir CH), Marquet *et al.* [40] (utilitzava l'estratègia de no consumir CH post-entrenament i dormir baix i entrenar baix) i Zajac *et al.* [42] (utilitzava l'estratègia d'entrenar amb baixa disponibilitat de CH) es van trobar millores en el rendiment:

- En el primer estudi [36], van veure que en un esforç de 10km (en torn a 18-20 minuts) el temps empleat pels participants que entrenaven en dejú consumint CH era menor que els participants que entrenaven en dejú sense consumir CH. Aquest esforç de 10km venia precedit d'un entrenament de 105 minuts i, es tracta d'un aspecte que coincideix amb el que s'havia exposat en la introducció, on per trobar beneficis en el rendiment i promocionar l'oxidació de lípids es recomanen sessions de mínim 45-60 minuts [24].
- En el segon estudi [40], igual que en el primer, van descobrir que un esforç de 20km (en torn a 30 i 36 minuts) es realitzava en un temps menor amb el grup que realitzava l'estratègia d'entrenar baix i dormir baix que el que no ho feia.
- El tercer estudi [42] va concloure que hi havia canvis favorables en la composició corporal i el pes. Portar a terme una dieta rica en greixos durant 4 setmanes afavoria la resistència aeròbica quan es feien volums alts d'entrenament a intensitats baixes que, normalment, es realitzen al principi d'una temporada. Aquest estudi concorda amb un estudi realitzat amb corredors de peu, on argumenten que una ingesta rica en greixos afavoreix l'entrenament de resistència [49]. A més, és important considerar que hi ha moments de la temporada en què es

pot entrenar amb baixa disponibilitat de carbohidrats, quan les intensitats són suaus o moderades, visió que coincideix amb l'estudi de Impey, *et al.* [24].

Per altra banda, els altres dos estudis, Podlogar *et al.* [34] (utilitzava l'estratègia de no consumir CH post-entrenament i dormir baix i entrenar baix) i Hulston *et al.* [44] (entrenar dos cops al dia), no van trobar millores significatives en el rendiment. Cal tenir en compte que els tests d'aquests dos estudis duraven més de 40', fet que suggereix que podrien no existir beneficis a partir d'aquest temps, ja que possiblement l'organisme necessitaria l'aportació de glucosa.

5.4.2. Molècules que participen en l'oxidació de greixos

Tenint en compte la segona de les variables (les molècules que participen en l'oxidació de greixos), s'han trobat 4 estudis que ho han analitzat portant a terme també diferents estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats.

3 d'aquests 4 estudis [41,43,45] van trobar un increment de l'expressió de molècules com PGC1 α , AMPK, p38MAPK lligades a la millora en l'oxidació de greixos.

- Dos d'aquests, (Lane *et al.* i Psilander *et al.* [41,43]), que van utilitzar l'estratègia de no consumir CH després de l'entrenament i dormir baix i entrenar baix, van trobar que quan es limita el consum de CH després de l'exercici s'obtenen nivells baixos de glucogen i s'aconsegueix un increment de l'expressió d'aquestes molècules. Aquesta idea coincideix amb l'esmentat anteriorment en la introducció, en què la restricció de CH després de l'exercici activa el complex enzimàtic p38MAPK que involucra la senyalització de gens relacionats amb una millora de l'adaptació metabòlica a l'exercici [9]. També va millorar l'expressió de PGC1 α i no es van trobar dades amb cap impacte negatiu pel que fa a la funció immune de l'organisme o massa òssia com alguns autors han argumentat en els seus estudis [9,16]
- L'altre estudi, Yeo *et al.* [45] va utilitzar l'estratègia d'entrenar dos cops al dia van concloure que el grup que va intervenir va millorar la

fosforilació d'AMPK, fet que s'ha vist que també ocorre en entrenaments de dejú [9].

Pel que fa a si hi ha hagut millores en el rendiment, els estudis mencionats no aporten dades.

Hi va haver un estudi, Hearn et al. [35], que va utilitzar l'estratègia de no consumir CH després de l'entrenament i dormir baix i entrenar baix, va evidenciar que concentracions inferiors a 300 mmol/kg feia que no hi hagués un augment de la senyalització de les cèl·lules musculars. A més, es va trobar que sota aquesta baixa disponibilitat de carbohidrats, el rendiment és menor quan es treballa al 80% de la PAM. Cal considerar però, que la mostra amb què va experimentar no tenia un nivell físic tan alt com els altres estudis ja que els participants tenien un $VO_2\text{max}$ de $48 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, inferior a la referència mencionada en l'apartat 5.1.

5.4.3. Estudis que han analitzat les dues variables

Un estudi, Riis et al. [39] va analitzar totes dues variables. Sota l'estratègia de no consumir CH després de l'entrenament i dormir baix i entrenar baix va trobar una millora d'un 36% en l'oxidació de greixos en el grup que intervenia. Aquesta troballa també s'ha evidenciat en l'altre estudi realitzat sota el mateix tipus d'estratègia nutricional i que també analitzava si hi havia una millor oxidació de greixos [40].

No es van trobar diferències significatives entre el grup que va intervenir i el grup control pel que fa a les proteïnes i molècules associades amb el transport d'àcids grassos i la lipòlisis ni diferències de millora en el rendiment.

5.4.4. Estudis que no han analitzat cap de les variables

Dos estudis, Terada et al. [37] i Paris et al. [38], no han reportat dades sobre si hi ha alguna modificació en l'oxidació de greixos o en les molècules que participen en aquesta oxidació de greixos. De totes formes, van quedar inclosos dins els resultats ja que complien amb els criteris.

El primer estudi [37] es va realitzar sota l'estratègia d'entrenament en dejú i es va detectar que l'entrenament d'alta intensitat es veia afectat

negativament. Tot i així, pot tenir un impacte positiu en entrenaments de capacitat aeròbica (intensitat suau-moderada) i, tal com s'ha comentat en l'estudi de Learsi *et al.* [36], tot i fer un entrenament en dejú es poden consumir CH durant l'entrenament i mantenir l'oxidació de lípids.

En el segon estudi [38], realitzat amb l'estratègia de no consumir CH després de l'entrenament i dormir baix i entrenar baix, un test de 5km va ser pitjor quan es portava a terme aquesta estratègia que quan no es portava. Com que és un test de curta durada i molt intens, el cos necessita tibar dels carbohidrats, ja que a més intensitat, l'ús de greixos serà pràcticament nul i es dependrà més dels carbohidrats [28].

És un fet que ha succeït en l'anterior estudi esmentat [37] i també en el treball de Hearris *et al.* [35] on portar a terme estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats té un impacte negatiu amb l'entrenament d'alta intensitat. En altres esports de resistència com el *trail*, tot i utilitzar una estratègia nutricional diferent (entrenar amb baixa disponibilitat de carbohidrats), un estudi realitzat amb corredors elit de trail va trobar com el rendiment en simulacions de competició es veia disminuït [50].

5.5. Factors de limitació

Aquesta revisió bibliogràfica presenta diverses limitacions. La primera d'elles i més evident ha estat que cada estudi ha utilitzat indicadors, tests de laboratori (eines de valoració), metodologies i durades diferents. Això ha dificultat la comparació i valoració de millores ja que s'han extret resultats diferents sense poder-los comparar entre sí.

La segona limitació que s'ha trobat era que hi ha hagut dificultat en trobar estudis que es portessin a terme amb ciclistes entrenats. Dos dels estudis analitzats van experimentar amb participants d'un nivell físic normal i han estat inclosos ja que es mancava d'una estratègia nutricional amb baixa disponibilitat de carbohidrats.

La tercera que, pot anar lligada amb la segona limitació, ha estat que s'han trobat diverses estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats amb diversos articles i altres que no. Per exemple, en l'estratègia de no consumir CH després de l'entrenament i dormir baix i

entrenar baix s'han trobat 7 articles per analitzar i en l'estratègia d'entrenar amb baixa disponibilitat de CH (*train low*) tan sols 1.

La quarta i última limitació es troba en què es desconeix a quin nivell s'ha millorat l'eficiència metabòlica (en els casos que s'ha millorat). Hi ha la possibilitat de que l'organisme hagi realitzat una resposta aguda al tipus d'estratègia nutricional però no es pot conèixer la resposta crònica. Per tant, queda en dubte en si els beneficis que ha obtingut l'organisme amb l'aplicació d'aquestes estratègies nutricionals perduren en el temps.

6. Aplicabilitat i noves línies de recerca

En relació a la aplicabilitat que es pot extreure d'aquesta revisió bibliogràfica, es pot destacar que les estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats serien aplicables en moments de la temporada en què les intensitats són suaus o moderades.

Aquest fet, sol coincidir en moments de pre-temporada on els ciclistes construeixen la seva base, és a dir, moment en què més es treballa la capacitat aeròbica (intensitat suau-moderada) i "s'ensenya" al cos a utilitzar l'oxigen de la forma més eficient possible [51].

En conjunt amb això, seria interessant realitzar intervencions de més llarga durada amb ciclistes entrenats per tal d'estudiar si els beneficis que s'aconsegueixen es mantenen durant el transcurs de la temporada.

7. Conclusions

Després d'analitzar els estudis de la present revisió bibliogràfica i compararlos amb articles científics rellevants, es pot concloure que s'ha aconseguit respondre a l'objectiu principal:

- Les estratègies nutricionals amb baixa disponibilitat de carbohidrats permeten, en molts casos, una millora de l'oxidació de greixos i un augment en l'activació de molècules que participen en aquesta oxidació.
- Aquest fet, es tradueix en una millora de l'eficiència metabòlica, és a dir, el ciclista podrà utilitzar durant més temps el combustible provinent dels greixos i preservar les reserves de glucogen per quan realment les necessiti.
- No obstant, una millora de l'eficiència metabòlica no significa que hi hagi una millora en tots els aspectes del rendiment. Quan les intensitats són elevades, el portar a terme qualsevol estratègia nutricional amb baixa disponibilitat de carbohidrats pot tenir un impacte negatiu.

L'estudi també extreu altres conclusions com ara:

- L'estratègia nutricional de no consumir CH després de l'entrenament i dormir baix i entrenar baix és possiblement la més adient per aconseguir beneficis en l'eficiència metabòlica.
- Els moments per portar a terme aquestes estratègies de baixa disponibilitat de carbohidrats podrien ser en moments en què es treballen volums alts i intensitats suaus o moderades.
- Per tal de millorar l'oxidació de greixos i un increment en l'activació de molècules que hi participen en aquesta, la concentració mínima de glucogen hauria de ser superior a 300 mmol/kg.

8. Bibliografía

1. Mujika I, Padilla S. Physiological and Performance Characteristics of Male Professional Road Cyclists. *Sport Med.* 2001;31(7):479-87.
2. Lucía A, Hoyos J, Chicharro JL. Physiology of Professional Road Cycling. *Sport Med.* 2001;31(5):325-37.
3. Hunter A, Coggan A. Entrenar y correr con potenciómetro. Badalona: Paidotribo; 2016.
4. Union Cycliste Internationale. Road Calendar [Internet]. 2020. Disponible a: <https://www.uci.org/road/events/uci-worldtour>
5. Ebert TR, Martin DT, Stephens B, Withers RT. Power output during a pro men's road-cycling tour. *Int J Sports Physiol Perform.* 2006;1(4):324-35.
6. Padilla S, Mujika I, Santisteban J, Impellizzeri FM, Goiriena JJ. Exercise intensity and load during uphill cycling in professional 3-week races. *Eur J Appl Physiol.* 2008;102(4):431-8.
7. Storen O, Ulevag K, Larsen MH, Stoa EM, Helgerud J. Physiological Determinants of the Cycling Time Trial. *J Strength Cond Res.* 2013;27(9):2366-73.
8. Cristina Olivos O, Ada Cuevas M, Verónica Álvarez V, Carlos Jorquera A. Nutrición Para el Entrenamiento y la Competición. *Rev Médica Clínica Las Condes.* 2012;23(3):253-61.
9. Jeukendrup AE. Periodized Nutrition for Athletes. *Sport Med.* 2017;47(1):51-63.
10. Pelotón AC de. ¿Por qué es tan importante la nutrición en el ciclismo? [Internet]. 2019 [citad 26 març 2020]. Disponible a: <https://alacoladelpeloton.es/2019/09/20/por-que-es-tan-importante-la-nutricion-en-el-ciclismo-1-zona-de-avituallamiento/>
11. Gleeson M, Jeukendrup AE. Nutrients and Recommended Intakes. En: *Sport Nutrition.* 3a ed. Human Kinetics; 2018. p. 1-30.
12. Kerksick CM, Kulovitz M. Requirements of Energy, Carbohydrates, Proteins and Fats for Athletes. *Nutrition and Enhanced Sports*

- Performance: Muscle Building, Endurance, and Strength. Elsevier Inc.; 2013. 355-366 p.
13. Jeukendrup A, Gleeson M. Carbohydrate. En: Sport Nutrition-3rd Edition. 3a edició. Champaign: Human Kinetics; 2018.
 14. Burke LM, Hawley JA, Wong SHS, Jeukendrup AE. Carbohydrates for training and competition. J Sports Sci. 2011;29(S1):S17-27.
 15. Position of Dietitians of Canada, the Academy of Nutrition and Dietetics and the American College of Sports Medicine. Nutr Athl Perform. 2016;1-47.
 16. Burke LM, Hawley JA, Jeukendrup A, Morton JP, Stellingwerff T, Maughan RJ. Toward a common understanding of diet-exercise strategies to manipulate fuel availability for training and competition preparation in endurance sport. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;28(5):451-63.
 17. Viribay A. El semáforo nutricional en el deporte [Internet]. 2019 [citad 23 març 2020]. Disponible a: <https://glut4science.com/publicaciones/entrenamiento-nutricional/semaforo-nutricional-en-el-deporte/14>
 18. Viribay A. Métodos de Periodización Nutricional en el Deporte [Internet]. 2019 [citad 23 març 2020]. Disponible a: <https://glut4science.com/publicaciones/entrenamiento-nutricional/metodos-periodizacion-nutricional-deporte/50>
 19. Viribay A. Entrenamiento del sistema digestivo - Aitor Viribay. 2020;
 20. Vargas S, Romance R, Petro JL, Bonilla DA, Galancho I, Espinar S, et al. Efficacy of ketogenic diet on body composition during resistance training in trained men: A randomized controlled trial. J Int Soc Sports Nutr. 2018;15(1):1-9.
 21. Viribay A. Proteínas en la Periodización Nutricional [Internet]. 2019 [citad 25 març 2020]. Disponible a: <https://glut4science.com/publicaciones/entrenamiento-nutricional/proteinas-en-la-periodizacion-nutricional-como-y-cuanto/18>

22. Phillips SM, Van Loon LJC. Dietary protein for athletes: From requirements to optimum adaptation. *J Sports Sci.* 2011;29(sup1):S29-38.
23. Van Loon LJC. Dietary Protein as a Trigger for Metabolic Adaptation. *Sport Nutr.* 2013;19:147-55.
24. Impey SG, Hearn MA, Hammond KM, Bartlett JD, Louis J, Close GL, et al. Fuel for the Work Required: A Theoretical Framework for Carbohydrate Periodization and the Glycogen Threshold Hypothesis. *Sport Med.* 2018;48(5):1031-48.
25. Morton JP, Fell JM. Nutritional Strategies for the Tour De France. *Aspetar Sport Med J.* 2016;446-52.
26. Tom Fordyce. Chris Froome: Team Sky's unprecedented release of data reveals how British rider won Giro d'Italia [Internet]. 2018 [citat 17 abril 2020]. Disponible a: <https://www.bbc.com/sport/cycling/44694122>
27. Jeukendrup AE. Training the Gut for Athletes. *Sport Med.* 2017;47(s1):101-10.
28. Jeukendrup A. What is FatMax [Internet]. 2015 [citat 24 març 2019]. Disponible a: <https://www.mysportscience.com/single-post/2015/03/18/What-is-Fatmax?>
29. Marquet L, Brisswalter J, Louis J, Burke LM. Enhanced Endurance Performance by Periodization of CHO Intake: «Sleep Low» Strategy. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(4):663-72.
30. Waterworth SP, Spencer CC, Porter AL, Morton JP. Perception of Carbohydrate Availability Augments High-Intensity Intermittent Exercise Capacity Under Sleep-Low , Train-Low Conditions. 2020;1-7.
31. Jensen L, Gejl KD, Ørtenblad N, Nielsen JL, Bech RD, Nygaard T, et al. Carbohydrate restricted recovery from long term endurance exercise does not affect gene responses involved in mitochondrial biogenesis in highly trained athletes. *Physiol Rep.* 2015;3(2):1-13.
32. Austin S, St-pierre J. PGC1 a and mitochondrial metabolism – emerging concepts and relevance in ageing and neurodegenerative disorders. *J*

- Cell Sci. 2012;125:4963-71.
33. Ahumada F. PGC1 α [Internet]. 2014. Disponible a: <https://g-se.com/pgc1a-bp-P57cfb26e75419>
 34. Podlogar T, Free B, Wallis GA. High rates of fat oxidation are maintained after the sleep low approach despite delayed carbohydrate feeding during exercise despite delayed carbohydrate feeding during exercise. *Eur J Sport Sci.* 2020;1-11.
 35. Hearn MA, Hammond KM, Seaborne RA, Stocks B, Shepherd SO, Philp XA, et al. Graded reductions in preexercise muscle glycogen impair exercise capacity but do not augment skeletal muscle cell signaling: implications for CHO periodization. *J Appl Physiol.* 2019;126(6):1587-97.
 36. Learsi S, Ghiarone T, Silva-Cavalcante MD, Andrade-Souza V., Ataíde-Silva T, Bertuzzi SR, et al. Cycling TT performance is improved by carbohydrate ingestion during exercise regardless of a fed or fasted state. *Scand J Med Sci Sport.* 2019;29(5):651-62.
 37. Terada T, Toghi Eshghi SR, Liubaoerjijin Y, Kennedy M, Myette-Côté É, Fletcher K, et al. Overnight fasting compromises exercise intensity and volume during sprint interval training but improves high-intensity aerobic endurance. *J Sports Med Phys Fitness.* 2019;59(3):357-65.
 38. Paris HL, Fulton TJ, Wilhite DP, Baranauskas MN, Chapman RF, Mickleborough TD, et al. "Train-High Sleep-Low" Dietary Periodization Does Not Alter Ventilatory Strategies During Cycling Exercise "Train-High Sleep-Low" Dietary Periodization Does Not Alter Ventilatory. *J Am Coll Nutr.* 2019;1-9.
 39. Riis S, Møller AB, Dollerup O, Høffner L, Jessen N, Madsen K. Acute and sustained effects of a periodized carbohydrate intake using the sleep-low model in endurance-trained males. *Scand J Med Sci Sport.* 2019;29(12):1866-80.
 40. Marquet LA, Hausswirth C, Molle O, Hawley JA, Burke LM, Tiollier E, et al. Periodization of carbohydrate intake: Short-term effect on performance. *Nutrients.* 2016;8(12):1-13.

41. Lane SC, Camera DM, Lassiter DG, Areta JL, Bird SR, Yeo WK, et al. Effects of sleeping with reduced carbohydrate availability on acute training responses. *J Appl Physiol*. 2015;119(6):643-55.
42. Zajac A, Poprzecki S, Maszczyk A, Czuba M, Michalczyk M, Zydek G. The effects of a ketogenic diet on exercise metabolism and physical performance in off-road cyclists. *Nutrients*. 2014;6(7):2493-508.
43. Psilander N, Frank P, Flockhart M, Sahlin K. Exercise with low glycogen increases PGC-1 α gene expression in human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(4):951-63.
44. Hulston CJ, Venables MC, Mann CH, Martin C, Philp A, Baar K, et al. Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(11):2046-55.
45. Yeo WK, McGee SL, Carey AL, Paton CD, Garnham AP, Hargreaves M, et al. Acute signalling responses to intense endurance training commenced with low or normal muscle glycogen: Experimental Physiology-Research Paper. *Exp Physiol*. 2010;95(2):351-8.
46. Sajjadh AB, Shaw D. Development of norms of maximal oxygen uptake (VO₂ max.) as an indicator of aerobic fitness of high altitude male youth of Kashmir. *Int J Physiol*. 2017;2(2):1037-40.
47. Midgley AW, McNaughton LR, Carroll S. Verification phase as a useful tool in the determination of the maximal oxygen uptake of distance runners. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2006;31(5):541-8.
48. Denham J, Scott-Hamilton J, Hagstrom AD, Gray AJ. Cycling Power Outputs Predict Functional Threshold Power And Maximum Oxygen Uptake. *J Strength Cond Res*. 2017;(11):1-28.
49. Murakami I, Sakuragi T, Uemura H, Menda H, Shindo M, Tanaka H. Significant Effect of a Pre-Exercise High-Fat Meal after a 3-Day High-Carbohydrate Diet on Endurance Performance. *Nutrients*. 2012;4:626-36.
50. Burke LM, Ross ML, Garvican-lewis LA, Welvaert M, Heikura IA, Forbes SG, et al. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race

walkers. 2017;9:2785-807.

51. Bradbury M. Two Winter Cycling Workouts For Building an Aerobic Base [Internet]. 2017 [citat 15 juny 2020]. Disponible a: <https://www.trainingpeaks.com/blog/two-winter-cycling-workouts-for-building-an-aerobic-base/>