
Entrenament amb baixa disponibilitat d'hidrats de carboni

PID_00266863

Noelia Bonfanti Hardt

Temps mínim de dedicació recomanat: 2 hores



Noelia Bonfanti Hardt

L'encàrrec i la creació d'aquest recurs d'aprenentatge UOC han estat coordinats per la professora: Laura Esquius (2019)

Primera edició: setembre 2019
© Noelia Bonfanti Hardt
Tots els drets reservats
© d'aquesta edició, FUOC, 2019
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona
Realització editorial: FUOC

Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars del copyright.

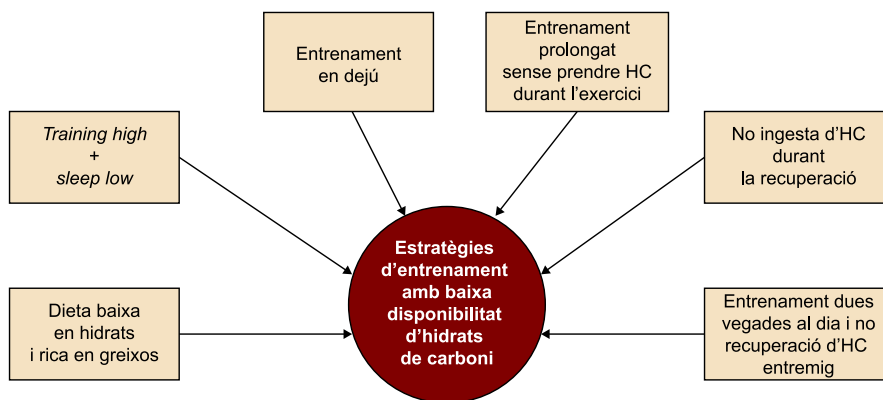
Índex

Introducció	5
1. Dieta rica en greixos i baixa en carbohidrats (<i>low carb high fat diet</i>)	7
2. La dieta cetogènica	9
2.1. L'evidència científica	10
2.2. Possibles riscos per a la salut?	12
3. Entrenament en dejú	13
4. Protocol <i>training high - sleeping low</i>	16
5. Altres possibles estratègies d'entrenament <i>low-carb</i>	18
5.1. Entrenament perllongat sense ingerir hidrats de carboni durant l'exercici	18
5.2. No prendre hidrats de carboni durant el procés de recuperació	18
Bibliografia	19

Introducció

Aquest material centrarà el seu estudi en totes les estratègies caracteritzades per reduir la disponibilitat d'energia provinent dels hidrats de carboni durant la realització d'un esforç físic, que poden ser agrupades amb el nom d'«entrenament amb baixa disponibilitat d'hidrats de carboni». En general, la seva posada en pràctica en el món de l'entrenament esportiu persegueix la meta final de millorar el rendiment en competició. No obstant això, també se'n poden seleccionar algunes amb l'objectiu de provocar la pèrdua de greix corporal, especialment durant la preparació de competicions importants (per exemple, la pretemporada en esports d'equip o la tornada a l'entrenament després de períodes vacacionals o de recuperació de lesions esportives). En la figura 1 s'observen les diferents estratègies que poden posar-se en pràctica per tirar endavant aquest model d'entrenament.

Figura 1. Diferents estratègies d'entrenament amb baixa disponibilitat d'hidrats de carboni



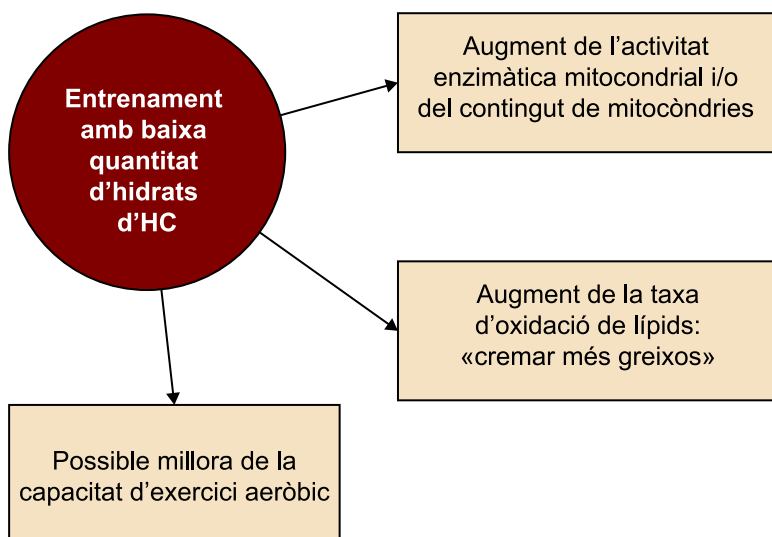
Font: adaptat de www.mysportscience.com

Sigui quin sigui el cas, totes les estratègies inclouen fer una o diverses sessions d'entrenament en condicions de reduïda disponibilitat de carbohidrats amb la finalitat de promoure adaptacions de l'organisme a l'entrenament fet en absència d'aquest substrat energètic. En general, amb els diferents protocols s'ha observat una resposta augmentada a l'entrenament, regulada probablement per una major activació d'enzims quinases clau en la senyalització cel·lular (per exemple, AMPK i p38MAPK), factors de transcripció (per exemple, p53 i PPAR δ) i coactivadors de la transcripció (per exemple, PGC-1 α).

És important tenir clar que aquests protocols, quan s'utilitzen per a cercar una millora del rendiment, són aplicables especialment en esports de resistència, els quals esgoten les reserves d'hidrats de carboni durant la competició i utilitzen l'oxidació de greixos en gran proporció com a combustible energètic. En cas que es posin en pràctica per reduir la massa grassa, podrien ser aplicats en qualsevol esportista en etapes de preparació o pretemporada, però tenint en compte que el rendiment específic i la intensitat d'aquestes sessions d'entrenament seran reduïts probablement de manera significativa. No obstant això, en tots els casos les reserves d'hidrats de carboni s'hauran de reposar immediatament abans d'una competició important.

La figura 2 mostra un resum dels principals canvis que poden produir-se en subjectes que segueixen aquestes modalitats d'entrenament d'una competició important.

Figura 2. Principals canvis produïts per entrenar en reduïda disponibilitat d'hidrats de carboni



Font: adaptat de Hawley, 2011

A continuació es descriuran les diferents estratègies que s'han provat en diversos estudis i situacions, identificant-ne les principals característiques i el probable protocol d'execució.

1. Dieta rica en greixos i baixa en carbohidrats (*low carb high fat diet*)

Els esportistes tenen necessitats nutricionals específiques per al seu esport, que difereixen en quantitat i distribució respecte a la població normal. Entre aquests requeriments augmentats, un consum elevat d'hidrats de carboni és fonamental, atès que aquests són el combustible energètic per excel·lència per a practicar gairebé totes les disciplines i obtenir el màxim rendiment esportiu.

Per tant, no s'hauria de seguir, amb independència de quin sigui l'objectiu, un protocol d'alimentació similar al que es podria planificar per a la població general. Per això, en primer lloc és molt important diferenciar el protocol de pèrdua de greix que implica un baix consum de carbohidrats, però elevat de greixos, de l'estratègia que es descriu aquí, la qual persegueix objectius de rendiment esportiu. D'aquesta manera, mentre que el primer es pot fer de manera perllongada amb pacients amb sobrepès-obesitat, la segona es podria utilitzar en esportistes durant breus períodes de preparació allunyats de la competició combinant-la amb altres períodes d'adequat consum de carbohidrats.

Aquesta combinació de sessions d'entrenament amb diferent disponibilitat de nutrients es coneix amb la denominació de periodització nutricional, que es basa a combinar períodes d'entrenament que requereixen una elevada disponibilitat de carbohidrats amb altres períodes que requereixen una reduïda disponibilitat d'aquest nutrient, perseguint canvis metabòlics que millorin a llarg termini el rendiment en competició.

L'objectiu d'aquests protocols en el món de l'esport és incrementar la utilització de greix durant l'exercici, aspecte que podria millorar el rendiment en individus entrenats, reduint l'ús del glucogen muscular com a font d'energia. En aquest sentit, l'estudi de Stellingwerff i altres (2006) ha permès observar que una dieta rica en greixos en període d'entrenament durant cinc dies, seguida d'un dia de recuperació de les reserves d'hidrats de carboni, augmenta la taxa d'oxidació de greixos de tot l'organisme i disminueix la taxa d'oxidació dels hidrats de carboni durant una sessió d'exercici aeròbic. El mecanisme responsable d'aquest canvi encara no es coneix del tot, però involucraria una regulació positiva dels enzims clau participants en les vies del metabolisme dels greixos i una regulació negativa dels enzims del metabolisme dels hidrats de carboni, sempre en múscul esquelètic.

Nota

S'ha de tenir en compte que la disponibilitat reduïda va ser avaluada en diferents estudis durant un curt termini i amb una aportació de 2,5 g d'hidrats de carboni / kg de pes, que, traduïts a un pes corporal mitjà de 75 kg, indica un consum de gairebé 190 g d'hidrats de carboni o menys del 25% de l'energia total aportada per aquest nutrient. Aquest aspecte la diferència notòriament no solament d'una dieta cetogènica (consum inferior a 50 g de carbohidrats al dia) sinó també de la quantitat indicada en una dieta baixa en carbohidrats per a la població general (120-130 g). D'altra banda, l'aportació de greixos és major que el 60% de l'energia, i es pot aconseguir fins i tot el 70% de les quilocalories totals de la dieta com a greix.

L'increment de la capacitat oxidativa dels greixos produït en el múscul després de tan sols cinc dies d'entrenament en una reduïda disponibilitat d'hidrats de carboni persisteix fins i tot després de recuperar de manera aguda les reserves d'hidrats de carboni (ingesta d'hidrats de carboni durant l'exercici o supercompensació del glucogen). És a dir, que l'organisme es tornaria menys dependent del glucogen muscular, de manera que seria capaç d'utilitzar més greixos com a font energètica per a contreure's a temps o amb una intensitat en els quals abans solament era capaç de fer-ho mitjançant l'ús de carbohidrats. És important tenir en compte que aquest resultat solament seria un benefici en els esports de llarga durada en els quals el sistema aeròbic estigui involucrat i les grasses siguin una font d'energia significativa. No obstant això, no s'han registrat canvis beneficiosos en el rendiment en protocols de resistència i ultraresistència.

A més, alguns estudis han detectat una deterioració del rendiment quan la intensitat de l'exercici s'ha d'eleva, la qual cosa seria conseqüència d'una regulació negativa del metabolisme oxidatiu dels carbohidrats.

És per això que actualment es considera la posada en pràctica d'aquesta dieta durant breus períodes de temps (per exemple, 5 dies), perioditzant la ingesta d'hidrats de carboni al llarg de tot un cicle d'entrenament d'acord amb les necessitats que exigeixi cada tipus d'entrenament i la seva durada. Al seu torn, és important tenir clar l'objectiu de cada sessió i prioritzar la ingesta d'hidrats de carboni quan es requereixi obtenir el màxim rendiment possible en aquest entrenament, però, en canvi, plantejar el baix consum d'hidrats quan es facin sessions que pretenguin amplificar la resposta adaptativa del múscul augmentant la capacitat oxidativa dels greixos. Encara queda molt per investigar sobre això, però cada vegada queda més clar que la periodització nutricional per ingerir hidrats de carboni durant els entrenaments sembla el protocol adequat per a optimitzar el rendiment esportiu en la competició.

2. La dieta cetogènica

La dieta cetogènica és un tipus de dieta **molt baixa en hidrats de carboni** i molt rica en greixos, **normocalòrica**, que permet aconseguir un estat de cetosi en l'organisme.

Aquests metabòlits poden ser utilitzats com a substrats energètics i, per tant, ser capaços de regenerar l'ATP, la qual cosa ocorre fisiològicament durant el dejuni. Per tant, mitjançant la dieta cetogènica, es persegueix estimular les accions metabòliques pròpies de l'estat de dejuni forçant el cos a utilitzar el greix com a font d'energia. Aquest increment en la utilització dels greixos en reemplaçament dels hidrats de carboni, sumat al fet que l'oxidació d'aquests és molt més veloç i irregular en comparació dels greixos i les proteïnes (que s'oxiden lentament i de manera constant, sense acceleració), podria resultar en una major estabilitat fisiològica i un menor desig d'ingesta d'aliments (disminució de l'apetit), conduint a una pèrdua de greix.

Encara que la metodologia utilitzada en les diferents recerques científiques presenta algunes variacions, la dieta cetogènica clàssica utilitzada per a la pèrdua de greix (hi ha altres tipus desenvolupats per curar els pacients epilèptics) és una dieta molt rica en greixos (pot aconseguir prop del 90% de l'energia ingerida depenent del requeriment calòric), aportats en la seva majoria per triglicèrids de cadena llarga, amb molt baix contingut d'hidrats de carboni i una adequada quantitat de proteïnes. En les primeres etapes d'aquest tractament, es consumeixen prop de 50 g d'hidrats de carboni per dia (i això representa el 10% d'una dieta tipus de 2.000 kcal) deixant «lliure» la ingesta de greixos i proteïnes, sense control de les quilocalories. Tal com es pot observar, difereix significativament del protocol explicat en l'apartat anterior (*low-carb high-fat*) per a una població esportista. Encara més, també es diferencia de la dieta baixa en hidrats i rica en greixos aplicada a la població amb sobrepès-obesitat, ja que aquesta dieta permet consumir fins a 120-130 g d'aquest nutrient al dia, de manera que s'evita la cetogènesi.

Els canvis metabòlics que ocorren ingerint una dieta cetogènica, encara que no es limiten solament a aquests, inclouen l'estat de cetosi, la disminució de la glucosa sanguínia i l'elevació dels nivells d'àcids grassos circulants. A més, els cossos cetònics producte de la betaoxidació dels greixos representen principis energètics alternatius per a la seva oxidació en el cicle de Krebs, la qual cosa incrementa la funció mitocondrial.

La cetosi

És el terme mèdic que s'utilitza per a definir un estat en què el cos utilitza els greixos en lloc dels hidrats de carboni com a combustible energètic de l'organisme oxidant els àcids grassos mitjançant la betaoxidació i donant lloc a la formació dels diferents cossos cetònics: acetoacetat, β -hidroxibutíric i acetona.

Nota

Aquesta dieta provocaria les adaptacions esmentades en l'apartat anterior referent al protocol *low-carb high-fat*, però amb l'agregat de la producció dels cossos cetònics esmentats abans.

2.1. L'evidència científica

El tòpic de l'ús de la dieta cetogènica en el món de l'esport està dins d'un debat científic actual molt controvertit. La cerca bibliogràfica d'estudis científics permet trobar alguns treballs específics en esports amb categories de pes, com l'elaborat per Paoli i altres (2012), i Rhyu i Cho (2014), que proclamen, en les seves conclusions, l'ús d'aquesta dieta per a perdre pes corporal sense afectar per això el rendiment. És a dir, que es proposa usar aquesta dieta per a obtenir el pes corporal desitjat abans d'una competició, evitant les pràctiques comunes de deshidratació que moltes vegades posen en risc aquest tipus d'esportistes. No obstant això, els resultats han de ser considerats de manera aïllada, parant esment a la metodologia utilitzada i les conclusions obtingudes.

Estudi de Paoli i altres

L'estudi elaborat per Paoli i altres (2012) es va dur a terme amb gimnastes que van portar una dieta cetogènica en comparació d'altres gimnastes que van seguir un protocol de dieta occidental. Els autors van concloure que la pràctica de la dieta cetogènica durant un període de trenta dies va reduir el greix corporal sense afectar la massa muscular ni produir alteracions en la força, en comparació de la dieta clàssica.

No obstant això, diverses qüestions han de ser tingudes en compte en analitzar aquest estudi:

- 1) En primer lloc, no es pot generalitzar una pràctica que va ser provada tan sols en vuit gimnastes. Aquest nombre de subjectes no permet treure conclusions respecte a la població de gimnastes en general.
- 2) En segon lloc, la dieta «occidental» no va rebre cap tipus de control, de manera que podia ser fins i tot hipercalòrica, i per aquest motiu no representava un paràmetre de control vàlid.
- 3) Finalment, solament es valora una prova de rendiment de la força, però no hi ha dades respecte als resultats de competició ni al rendiment de l'entrenament global.

Estudi de Rhyu i Cho

L'estudi de Rhyu i Cho (2014) va ser dut a terme amb karatekes practicants de taekwondo. Els autors van prescriure una dieta cetogènica durant tres setmanes i van avaluar-ne la influència en la pèrdua de pes, el rendiment relacionat amb l'estat aeròbic i certs marcadors de la inflamació, en comparació d'una dieta no cetogènica.

En aquest cas, el nombre de subjectes va ser més elevat que en l'estudi de Paoli i altres (2012): els participants eren vint subjectes, encara que tots practicants no d'alt rendiment. Els resultats de l'estudi no van mostrar diferències en la pèrdua de pes ni en el percentatge de massa de greix ni lliure de greix. No obstant això, com que els subjectes que van seguir la dieta cetogènica van acabar un test de 2.000 m de velocitat en menor temps que l'altre grup, i també van experimentar menor sensació de fatiga, els autors van concloure que aquesta dieta podria millorar la capacitat aeròbica dels karatekes i la seva resistència a la fatiga. Lamentablement, un test de carrera de velocitat de 2.000 m no permet treure cap conclusió respecte al rendiment d'un karateka.

Aquest estudi no diu res sobre uns beneficis reals de la dieta cetogènica, ja que la pèrdua de pes buscada va ser en realitat similar en tots dos grups. D'altra banda, una dada que no esmenta l'estudi i que és molt més important en un esport de tan alt component tecnicotàctic, concentració i presa de decisions en oposició amb un rival, és una adequada disponibilitat de glucosa cerebral, ja que la seva disminució afectarà negativament tots els aspectes esmentats.

Però, més enllà d'aquests estudis aïllats, amb un nombre de subjectes reduït i generalitzacions no sustentades pels resultats obtinguts, recentment s'ha dut a terme un gran estudi a Austràlia dirigit per una de les persones referents en el món internacional de la nutrició esportiva: Louis Burke. L'estudi va ser dut a terme amb atletes olímpics australians en la preparatòria dels Jocs Olímpics de Rio 2016 i va ser anomenat Projecte Supernova. Aquesta recerca, desenvolupada amb vint-i-un corredors de marxa olímpica, va comparar una dieta rica en hidrats de carboni enfront d'una dieta cetogènica (75-80% de greixos, 15-20% de proteïnes i menys de 50 g/dia d'hidrats de carboni) en un pla nutricional amb periodització de la disponibilitat dels hidrats de carboni (combinació d'estratègies de baixa disponibilitat amb alta disponibilitat en diferents entrenaments).

Els resultats d'aquest estudi, metodològicament correcte, van mostrar que no hi va haver beneficis de la dieta cetogènica en comparació de les altres dues dietes. A més, el rendiment en una prova d'alta intensitat no va millorar després de tres setmanes amb la dieta cetogènica, mentre que sí que ho va fer en els altres dos grups. Per tant, es pot concloure, almenys fins avui, que si es requereix competir o entrenar a altes intensitats la dieta cetogènica no és una estratègia recomanada amb aquesta finalitat.

Encara que no és l'objectiu de l'estudi d'aquest material, cal fer un breu comentari respecte al seu ús específic per a perdre greix corporal en la població general. En aquest sentit, els principals resultats de tots els estudis portats a terme amb dieta cetogènica per un termini de dotze mesos o més van trobar una major reducció del pes corporal i del teixit adipós que en pacients sotmesos a una dieta hipocalòrica baixa en greixos. A més, la dieta cetogènica va produir una major disminució dels triglicèrids sanguinis i de la pressió arterial que la dieta baixa en greixos. No obstant això, la dieta cetogènica va produir un augment significativament superior de l'LDL-C i una disminució significativament major de l'HDL-C. És important esmentar que pràcticament tots els estudis que van valorar aquesta dieta en població general no van fer referència a la pràctica de cap tipus d'exercici físic o almenys no ho van esmentar en la seva publicació. Per tant, es podria dir que actualment no hi ha evidència científica suficient per a indicar un pla d'entrenament específic concorde a la dieta cetogènica dissenyada amb la finalitat de perdre greix corporal. D'altra banda, la majoria dels estudis científics sobre aquest tema portats a terme re-

marquen una preocupació generalitzada sobre la prescripció d'aquesta dieta en la pràctica diària a causa de la dificultat d'adherir-s'hi els esportistes o fins i tot la població amb sobrepès, que en la majoria dels casos va ser molt baixa.

S'ha de tenir en compte que implica canvis impactants en l'estil de vida del subjecte, el seu estat psicològic i les seves relacions socials, que, per a la majoria de les persones i en gran part del dia, giren entorn del menjar.

2.2. Possibles riscos per a la salut?

Encara no hi ha prou evidència científica disponible que permeti treure conclusions sobre certs marcadors patològics molt importants a controlar en qual-sevol tractament nutricional. Desconèixer els efectes de la dieta sobre aquests marcadors no vol dir que aquests tinguin sí o sí canvis perjudicials per a la persona, però tampoc no permeten al professional estar segur que la pràctica d'una dieta cetogènica no n'augmentarà el risc, ja que hi ha una probabilitat fisiològica que això ocorri. Entre aquests canvis, s'hauria de considerar especialment la possibilitat d'infiltració lipídica al fetge, possibles canvis en la funció endotelial, el desenvolupament d'esdeveniments cardiovasculars com un infart de miocardi, isquèmies, etc., possibles modificacions en la funció renal, major probabilitat de litiasi renal i la dificultat i falta d'evidència per a prescriure exercici físic, com també el control de la glucèmia, entre d'altres. Altres potencials efectes col·laterals d'aquesta dieta estan relacionats amb el rendiment físic durant l'exercici, de manera que és major el risc de deshidratació i hipoglucèmia durant la pràctica.

Nota

Addicionalment, una dieta cetogènica pot induir alteracions metabòliques, causar acidosis metabòlica, hiperlipoproteïnèmia, deficiència de vitamines i elements traça (especialment zinc, seleni i coure), hiperuricèmia i leucopènia.

3. Entrenament en dejú

L'entrenament en dejú el poden fer tant la població general com l'esportista amb dos objectius principals:

- La pèrdua de greix.
- La millora del rendiment esportiu en competició.

Sempre que es faci de manera controlada i en les condicions òptimes, podria estimular la pèrdua de greix o optimitzar el rendiment esportiu. Hi ha una evidència sòlida que permet afirmar que l'entrenament en dejú activa l'oxidació de lípids, i s'observa una resposta augmentada a l'entrenament, regulada probablement per l'activació de les quinases clau que s'han esmentat en la introducció d'aquest material. Per dir-ho d'una manera col·loquial, es desenvolupa un major nombre de mitocondris, més grans i més funcionals, que fan l'oxidació lipídica més fàcil, veloç i de major magnitud. D'aquesta manera, cada vegada que el subjecte entrena en dejú pot entrenar la capacitat d'utilitzar els greixos com a reemplaçament dels hidrats de carboni, a intensitats a les quals abans solament era capaç d'utilitzar aquests. No obstant això, cal considerar el nivell de càrrega de glucogen muscular previ a l'exercici en dejú, ja que, si hi ha reserves musculars de carbohidrats, l'organisme els utilitzarà tots o n'utilitzarà una part per a provocar la contracció muscular, i els efectes perseguits amb aquest protocol no es podran obtenir o, en tot cas, s'aconseguiran en menor mesura.

De la mateixa manera, la intensitat de l'exercici és primordial, i ha de ser entre baixa i moderada, ja que en dependrà una correcta estimulació de l'oxidació lipídica, que reduirà la demanda de glucosa per a fer les contraccions musculars, la qual cosa permetrà, al seu torn, mantenir la glucèmia estable en controlar-la des d'una gluconeogènesi hepàtica moderada.

Amb l'objectiu de perdre greix corporal, les sessions d'entrenament en dejú es poden començar a fer de manera progressiva, partint d'una a dues vegades per setmana, valorant les percepcions del subjecte, el seu grau de fatiga i la seva capacitat d'exercici. A mesura que el subjecte entrena d'aquesta manera, es poden arribar a fer en dejú totes les sessions d'exercici diàries que es facin al matí, produint cada vegada major activació de l'oxidació de lípids. En esportistes que cerquen millorar el rendiment en competició incremen-

tant l'oxidació de greixos, és important combinar aquestes estratègies amb altres sessions d'entrenament específiques amb una adequada disponibilitat d'hidrats de carboni per a mantenir la capacitat oxidativa de manera òptima.

Sempre s'ha de tenir en compte el nivell d'entrenament del subjecte, ja que no és el mateix que ho faci una persona entrenada que una no entrenada. Per a això, s'ha d'«entrenar» les persones tant físicament com mentalment. Els qui mai no han fet exercici no haurien de començar a fer-lo en dejú perquè esgotaran ràpidament les reserves d'hidrats de carboni (com menys nivell d'entrenament, més utilització de carbohidrats per al mateix exercici). Les persones no entrenades aconseguixen una intensitat d'exercici molt elevada amb activitats considerades normalment de baixa-moderada intensitat. Fins i tot caminant, podran dependre de l'oxidació d'hidrats de carboni, i si el glucogen hepàtic s'ha esgotat durant la nit i la gluconeogènesi no és suficient per a compensar-ne la falta, pot ocórrer una hipoglucèmia.

La pràctica «òptima» d'aquesta estratègia no es coneix encara del tot; pot ser necessari prendre cafeïna, proteïnes i/o col·lutoris bucal amb hidrats de carboni abans i/o durant l'entrenament. Aquestes pràctiques podrien ajudar a atenuar la reduïda intensitat d'exercici que s'observa normalment amb aquest tipus d'entrenament. Al seu torn, la ingesta proteïca també podria prevenir la ruptura que ocorre com a conseqüència de la demanda de substrats gluconeogènics i mantenir també una òptima funció del sistema immune. Per això, es podrà indicar la ingesta de cafeïna (sense llet, sense sucre, sense mel i sense edulcorant) i, si la persona demana consumir algun aliment sòlid, podria ingerir aliments amb proteïnes, sense greixos i sense hidrats de carboni.

S'ha de considerar fer aquesta pràctica en funció del doble objectiu que pot tenir: si es pretén millorar el rendiment esportiu sense necessitat de variar la composició corporal, és ideal per a treballar amb esportistes de resistència com una estratègia més entre les que s'han comentat anteriorment. En canvi, per a produir la pèrdua de greix, pot ser utilitzada en qualsevol esportista procurant que el tipus d'exercici que es faci en dejú estigui entre els indicats.

Aquest tipus d'exercicis de llarga durada i caràcter intervàlic utilitza vies anaeròbiques dependents de la creatina –i la seva regeneració dependent de carbohidrats– i dels carbohidrats, i vies aeròbiques oxidatives també dependents de carbohidrats i, en últim lloc, dels greixos. A més, en entrenar en dejú la glucosa no estarà disponible al cervell com en condicions de postingesta, la qual cosa provocarà fatiga mental i una alteració de les habilitats tecnicotàctiques. Per tant, l'entrenament no estimularà la síntesi d'enzims oxidatius dels lípids ni la funció mitocondrial, però tampoc no complirà els objectius d'entrenament.

Nota

No s'ha de fer per a sessions l'objectiu de les quals sigui la màxima producció d'estímul específics des de l'entrenament. Un error molt comú dels esportistes és fer entrenaments específics del seu esport en dejú amb la finalitat d'abaixar pes. Per exemple, jugadors de futbol, bàsquet o rugbi que juguen partits en entrenaments sense haver esmorzat.

Quins entrenaments es poden fer en dejú?

Es poden fer sessions d'entrenament d'intensitat constant entre baixa i moderada de manera contínua. Es recomana començar per períodes curts de prova fins a aconseguir un màxim d'1 h de durada. Es pot incrementar la intensitat de l'exercici de manera progressiva a mesura que el subjecte adquireixi major capacitat d'entrenament, ja que l'oxidació de lípids es podria anar estimulants a les intensitats a què abans solament s'oxidaven hidrats de carboni. En subjectes entrenats prèviament, o que ja fan pel seu compte exercicis en dejú d'1 h de durada aproximadament, es podria arribar a estendre la pràctica fins a un màxim de 2 h considerant i avaluant cada cas en particular. No sembla que de moment hi hagi un màxim establert, encara que no es recomana superar 2 h per a evitar la hipoglucèmia i/o una excessiva oxidació proteïca, almenys fins que la ciència no fonamenti el contrari.

Quins entrenaments no es poden fer en dejú?

No s'han de fer exercicis que demanin energia de manera accelerada, la qual ha de provenir de l'oxidació d'hidrats de carboni, sia per via aeròbica o anaeròbica. Per exemple, s'han d'evitar exercicis intervàlics d'alta intensitat, com tots els de tipus d'HIIT (*high intensity intervallic training*) i qualsevol altre exercici que s'hagi de fer a alta intensitat durant un període perllongat. També s'ha d'evitar entrenaments de força per a perdre pes no planificats i l'entrenament funcional. I tampoc no s'han de practicar esports d'equip o de raqueta, els quals es caracteritzen per un patró d'exercici d'alta intensitat en forma intermitent, que depèn gairebé exclusivament dels hidrats de carboni com a substrat energètic.

Han de ser en dejú total o puc prendre algun aliment?

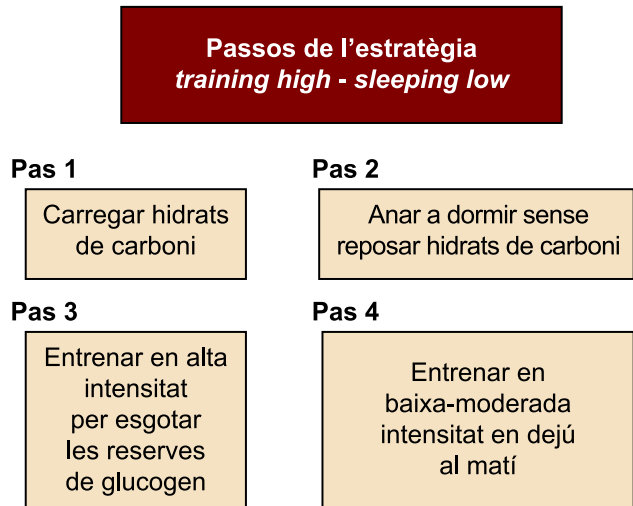
Tan sols 20 g d'hidrats de carboni (no d'aliment!), com per exemple un plàtan de 100 g, semblen limitar l'oxidació de greixos i desvien la ruta metabòlica cap a l'obtenció d'energia des dels hidrats de carboni, ja que la presència d'aquests en sang limita l'alliberament d'àcids grassos des del teixit adipós.

Per tant, aquí no es recomana prendre cap aliment ric en hidrats de carboni i sobretot cap aliment de sabor dolç, encara que sigui un edulcorant no nutritiu, per a evitar un possible estímul de la insulina sense presència de carbohidrats, la qual cosa en alguns subjectes podria afavorir una hipoglucèmia reactiva durant l'exercici.

4. Protocol *training high - sleeping low*

Aquest protocol es pot traduir en català per «entrenar amb una elevada disponibilitat d'hidrats de carboni i anar a dormir sense recuperar el glucogen».

Originàriament, en l'estudi de Hansen i altres (2005) s'havia plantejat fer dues sessions d'entrenament al mateix dia, solament la segona de les quals es feia amb una baixa disponibilitat d'hidrats de carboni. En fer això, va sorgir el problema que la intensitat d'entrenament màxima de cada subjecte en la segona sessió es reduïa notablement perquè era començada amb baixa disponibilitat d'hidrats, en comparació de quan es recuperava correctament el glucogen muscular entre sessions. Com que aquest resultat era molt negatiu per a la preparació dels esportistes (especialment els d'elit), ja que els treballs d'alta intensitat són un component crític de qualsevol planificació d'entrenament, es va plantejar el protocol actual, que comença per una sessió d'entrenament d'alta intensitat portada a terme a la tarda, amb alta disponibilitat de glucogen (quan el subjecte ha ingerit carbohidrats durant els àpats previs). En finalitzar, l'esportista ha d'anar a dormir sense reposar carbohidrats (ha de fer tots els àpats posteriors sense aportar aquest nutrient). Al matí següent ha de fer una segona sessió d'entrenament d'intensitat baixa-moderada en dejú. En finalitzar, ha de tornar a menjar hidrats per a començar el procés de recuperació fins a l'entrenament següent. Aquest protocol es va desenvolupar amb la finalitat de perllongar la durada de la baixa disponibilitat d'hidrats de carboni i millorar i perllongar el temps d'activació transcripcional de gens metabòlics i les seves proteïnes blanc, de manera que permetia conservar al mateix temps l'estímul de l'entrenament als músculs exercitats. En retardar la ingesta d'hidrats de carboni fins a l'endemà, s'amplia el temps que l'esportista passa sense recuperar el glucogen. Aquesta situació sembla millorar el procés d'adaptació a l'exercici induït per la dieta, de manera que es retarda la resíntesi de glucogen muscular i s'activen diferents vies de senyalització metabòlica implicades en la biogènesi mitocondrial i el metabolisme dels lípids. La figura 3 mostra un resum gràfic dels passos a seguir en aquesta estratègia.

Figura 3. Resum de l'estratègia *training high - sleeping low*

Font: elaboració pròpia

5. Altres possibles estratègies d'entrenament *low-carb*

5.1. Entrenament perllongat sense ingerir hidrats de carboni durant l'exercici

Es tracta de fer entrenaments de durada perllongada, durant diverses hores, sense ingerir cap font d'hidrats de carboni durant l'exercici. En iniciar l'exercici, les reserves de glucogen muscular i hepàtic han d'estar en un estat complet fisiològicament. No obstant això, a mesura que l'exercici avança i aquestes reserves no es recuperen durant l'esforç, acaben esgotant-se, i això fa més complicat mantenir la mateixa intensitat de l'exercici. Aquesta situació ocasiona un estrès addicional, la qual cosa provoca una dependència de l'oxidació de greixos. Això pot induir també les adaptacions buscades amb els altres protocols baixos en hidrats de carboni, la qual cosa millora la capacitat de l'organisme d'oxidar els greixos. No obstant això, la intensitat de l'exercici es reduirà i, en conseqüència, el rendiment es deteriorarà respecte a una sessió amb reposició de carbohidrats.

Per això, aquest mètode s'hauria d'utilitzar solament quan la qualitat de la sessió d'entrenament no és un objectiu principal.

5.2. No prendre hidrats de carboni durant el procés de recuperació

Els esportistes normalment són aconsellats perquè prenguin carbohidrats immediatament després de l'exercici per potenciar la recuperació de les reserves de glucogen muscular i hepàtic, la qual cosa permet accelerar i millorar el procés de recuperació postexercici. No obstant això, es podria evitar el consum d'aquest nutrient durant una a dues hores després d'un esforç físic que n'hagi implicat l'ús, i permetre d'aquesta manera una major capacitat d'oxidació lipídica de manera posterior a l'exercici, ja que el metabolisme es manté augmentat en les primeres hores de repòs després d'un esforç i, com que no es consumeixen hidrats en aquest moment, però se n'han buidat les reserves durant l'esforç, l'organisme estarà obligat a oxidar els lípids. S'ha de tenir en compte que aquesta estratègia pot ser utilitzada solament quan no calgui una recuperació ràpida, i podria ser indicada en els subjectes que fan sessions d'exercici específiques per a perdre greix corporal.

Bibliografia

Accurso, A.; Bernstein, R. K.; Dahlqvist, A.; Draznin, B.; Feinman, R. D.; Fine, E. J.; Vernon, M. C. i altres (abril 2008). «Dietary carbohydrate restriction in type 2 diabetes mellitus and metabolic syndrome: time for a critical appraisal». *Nutrition & Metabolism* (núm. 5, pàg. 9).

Astrup, A.; Meinert Larsen, T.; Harper A. (2004). «Atkins and other low-carbohydrate diets: hoax or an effective tool for weight loss?». *Lancet* (núm. 364, pàg. 897-899).

Bartlett, J. D.; Hawley, J. A.; Morton, J. P. (2015). «Carbohydrate availability and exercise training adaptation: too much of a good thing?». *European journal of sport science* (vol. 1, núm. 15, pàg. 3-12).

Bueno, N. B.; De Melo, I. S. V.; De Oliveira, S. L.; Da Rocha Ataíde, T. (2013). «Very-low-carbohydrate ketogenic diet v. low-fat diet for long-term weight loss: a meta-analysis of randomised controlled trials». *The British Journal of Nutrition* (vol. 7, núm. 110, pàg. 1178-1787).

Burke, L. M. (2015). «Re-Examining High-Fat Diets for Sports Performance: Did We Call the "Nail in the Coffin" Too Soon?». *Sports Medicine* (núm. 45, supl. 1, pàg. 33-49). Auckland, NZ. <<http://doi.org/10.1007/s40279-015-0393-9>>

Burke, L. M.; Ross, M. L.; Garvican Lewis, L. A.; Welvaert, M.; Heikura, I. A.; Forbes, S. G.; Hawley, J. A. i altres (2017). «Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers». *The Journal of physiology* (vol. 9, núm. 595, pàg. 2785-2807).

Carey, A. L.; Staudacher, H. M.; Cummings, N. K.; Stepto, N. K.; Nikolopoulos, V.; Burke, L. M.; Hawley, J. A. (2001). «Effects of fat adaptation and carbohydrate restoration on prolonged endurance exercise». *Journal of Applied Physiology* (vol. 1, núm. 91, pàg. 115-122).

Chang, C. K.; Borer, K.; Lin, P. J. (2017). «Low-Carbohydrate - High-Fat Diet: Can it Help Exercise Performance?». *Journal of human kinetics* (vol. 1, núm. 56, pàg. 81-92).

Hansen, A. K.; Fischer, C. P.; Plomgaard, P.; Anderson, J. L.; Saltin, B.; Pedersen, B. K. (2005). «Skeletal muscle adaptation: training twice every second day vs. training once daily». *J Appl Physiol* (núm. 98, pàg. 93-99).

Hargreaves, M. (2005). «Metabolic Factors in Fatigue». *Sports Science Exchange* (núm. 98, vol. 3, pàg. 18).

Hartman, A. L.; Vining, P. G. (2007). «Clinical aspects of ketogenic diet (Critical review)». *Epilepsia* (vol. 1, núm. 48, pàg. 31-42).

Hawley, J. A.; Maughan, R. J.; Hargreaves, M. (2015). «Exercise metabolism: Historical perspective». *Cell Metab* (núm. 22, pàg. 12-17).

Hawley, J. A.; Tipton, K. D.; Millard-Stafford, M. L. (2006). «Promoting training adaptations through nutritional interventions». *Journal of Sports Sciences* (vol. 7, núm. 24, pàg. 709-721).

Hawley, J. A.; Lecky, J. J. (2015). «Carbohydrate dependence during prolonged, intense endurance exercise». *Sports Med* (vol. 1, núm. 45, pàg. S5-S12).

Hulston, C. J.; Venables, M. C.; Mann, C. H.; Martin, C.; Philp, A.; Baar, K.; Jeukendrup, A. E. (2010). «Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists». *Medicine and science in sports and exercise* (vol. 11, núm. 42, pàg. 2046-2055).

Kossoff, E. H.; Hartman, A. L. (2012). «Ketogenic diets: new advances for metabolism-based therapies». *Curr Opin Neurol*. (vol. 2, núm. 25, pàg. 173-178).

Kossoff, E. H. (2008). «International consensus statement on clinical implementation of the ketogenic diet: agreement, flexibility, and controversy». *Epilepsia* (núm. 49, supl. 8, pàg. 11-13).

Lambruschini, N.; Gutiérrez A. (2012). *Dieta cetogénica. Aspectos clínicos. Aplicación dietética*. Madrid: Spanish Publishers Associates, SL.

McArdle, W. D.; Katch, F. I.; Katch, V. L. (2015). *Fisiología del Ejercicio: Nutrición, Rendimiento y Salud*. Barcelona: Wolters Kluwer - Lippincott Williams & Wilkins.

Paoli, A.; Grimaldi, K.; D'Agostino, D.; Cenci, L.; Moro, T.; Bianco, A.; Palma, A. (2012). «Ketogenic diet does not affect strength performance in elite artistic gymnasts». *Journal of the International Society of Sports Nutrition* (vol. 1, núm. 9, pàg. 34).

Pethick, D. W.; Lindsay, D. B. (1982). «Metabolism of ketone bodies in pregnant sheep». *Br J Nutr.* (núm. 48, pàg. 549-563).

Rhyu, H.-S.; Cho, S.-Y. (2014). «The effect of weight loss by ketogenic diet on the body composition, performance-related physical fitness factors and cytokines of Taekwondo athletes». *Journal of Exercise Rehabilitation* (vol. 5, núm. 10, pàg. 326-331).

Rhyu, H.-S.; Cho, S.-Y.; Roh, H.-T. (2014). «The effects of ketogenic diet on oxidative stress and antioxidative capacity markers of Taekwondo athletes». *Journal of Exercise Rehabilitation* (vol. 6, núm. 10, pàg. 362-366).

Sackner-Bernstein, J.; Kanter, D.; Kaul, S. (2015). «Dietary Intervention for Overweight and Obese Adults: Comparison of Low-Carbohydrate and Low-Fat Diets. A Meta-Analysis». *PLoS One* (vol. 10, núm. 10, e0139817).

Schoenfeld, B. J.; Aragon, A. A.; Wilborn, C. D.; Krieger, J. W.; Sonmez, G. T. (2014). «Body composition changes associated with fasted versus non-fasted aerobic exercise». *Journal of the International Society of Sports Nutrition* (vol. 1, núm. 11, pàg. 54).

Sinha, S. R.; Kossoff, E. H. (2005). «The ketogenic diet». *The Neurologist* (vol. 3, núm. 11, pàg. 161-170).

Spriet, L. L. (2011). «Metabolic regulation of fat use during exercise and in recovery». *A: Sports Nutrition: More Than Just Calories-Triggers for Adaptation* (vol. 69, pàg. 39-58). Karger Publishers.

Stellingwerff, T.; Cox, G. R. (gener 2014). «Systematic review: Carbohydrate supplementation on exercise performance or capacity of varying durations». *Appl Physiol Nutr Metab* (núm. 14, pàg. 1-14).

Stellingwerff, T.; Spriet, L. L.; Watt, M. J.; Kimber, N. E.; Hargreaves, M.; Hawley, J. A.; Burke, L. M. (2006). «Decreased PDH activation and glycogenolysis during exercise following fat adaptation with carbohydrate restoration». *Am J Physiol Endocrinol Metab* (núm. 290, pàg. E380-E388).

Volek, J. S.; Noakes, T.; Phinney, S. D. (2015). «Rethinking fat as a fuel for endurance exercise». *European Journal of Sport Science* (vol. 1, núm. 15, pàg. 13-20).

Winnick, J. J.; Davis, J. M.; Welsh, R. S.; Carmichael, M. D.; Murphy, E. A.; Blackmon, J. A. (2005). «Carbohydrates feedings during team sport exercise preserve physical and CNS function». *Medicine and Science in Sports and Exercise* (vol. 2, núm. 37, pàg. 306-315).

Yeo, W. K.; Paton, C. D.; Garnham, A. P.; Burke, L. M.; Carey, A. L.; Hawley, J. A. (2008). «Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens». *J Appl Physiol* (núm. 105, pàg. 1462-1470).

Zajac, A.; Poprzecki, S.; Maszczyk, A.; Czuba, M.; Michalczyk, M.; Zydek, G. (2014). «The effects of a ketogenic diet on exercise metabolism and physical performance in off-road cyclists». *Nutrie*.