



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Ciències

Memòria del Treball de Fi de Grau

Nitrat i beta-alanina: dos suplementos nutricionals per incloure a la llista d'ajuts ergogènics efectius i permesos pels esportistes?

Alberto Felipe Toral López

Grau de Bioquímica

Any acadèmic 2016-17

41536728-Q

Treball tutelat per Pedro José Tauler Riera

Departament de Biologia Fonamental i Ciències de la Salut.

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	X		X	

Paraules clau del treball:

Ajut, ergogènic, β -alanina, nitrat, suplementació, exercici, fatiga, rendiment.

INDEX

1. RESUM	4
2. INTRODUCCIÓ	5
2.1. Concepte d'ajut ergogènic	5
2.2. Classificació ergogènica	7
3. OBJECTIUS	8
4. METODOLOGIA	8
5. SUPLEMENTACIÓ AMB β -ALANINA	9
5.1. Mecanisme d'actuació	11
5.2. Protocols de suplementació utilitzats	15
5.3. Descripció d'estudis que demostrin l'efectivitat	16
6. SUPLEMENTACIÓ AMB NITRAT	18
6.1. Mecanisme d'actuació	20
6.2. Protocols de suplementació utilitzats	21
6.3. Descripció d'estudis que demostrin l'efectivitat	23
7. CONCLUSIONS	28
8. BIBLIOGRAFÍA	29

Nitrat i beta-alanina: dos suplementos nutricionales per incloure a la llista d'ajuts ergogènics efectius i permesos pels esportistes?

Alberto Felipe Toral López. Universitat de les Illes Balears.

Resum

Els esportistes sempre han cercat la forma de millorar el seu rendiment utilitzant diferents ajuts ergogènics. Aquests es defineixen com tota substància, procediment o material que millora el rendiment. El desenvolupament d'un nou suplement dietètic per als esports sovint depèn de la identificació d'una molècula (generalment en el múscul), que té un paper crític i limitant en el subministrament d'energia durant l'exercici i que pot ser influenciada per la intervenció nutricional. En els últims anys, el nombre de suplementos nutricionals amb suposades propietats ergogèniques que es troben al mercat s'ha elevat molt donant-se a conèixer la β -alanina i el nitrat. L'efecte de la suplementació amb β -alanina seria un augment de la capacitat amortidora del pH a nivell intracel·lular. Per tant, podria actuar retardant l'aparició de la fatiga deguda a l'acidosis generada per exercicis intensos. Per altra part, el nitrat, que faria la seva acció una vegada transformat a NO (òxid nítric), té un efecte que no acaba d'estar clar, ja que pareix que el resultat de la seva acció és un menor consum d'oxigen per a una mateixa intensitat. Aquests dos nous suplementos són candidats a formar part de la llista d'ajuts ergogènics efectius i permesos pels esportistes degut a les seves propietats beneficioses per al rendiment esportiu.

Paraules clau: Ajut, ergogènic, β -alanina, nitrat, suplementació, exercici, fatiga, rendiment.

Abstract

Athletes have always looked for ways to improve their performance by using different ergogenic aids. These are defined as any substance, procedure or material that improves performance. The development of a new dietary supplement for sports often depends on the identification of a molecule (usually in the muscle), which plays a critical and limiting role in the energy supply system during exercise and which can be influenced by nutritional intervention. In recent years, the number of nutritional supplements with supposed ergogenic properties found on the market has risen sharply by making known β -alanine and nitrate. The effect of supplementation with β -alanine would be an increase in the buffer capacity of the pH at the intracellular level. Therefore, it could act by slowing down the onset of fatigue due to acidosis generated by intense exercise. On the other hand, nitrate, which would do its action once transformed into NO (nitric oxide), has an effect that has not been clear since it appears that the result of its action is a lower oxygen consumption for the same intensity. These two new supplements are candidates to be part of the list of effective ergogenic aids and allowed by athletes due to their beneficial properties for sports performance.

Key words: ergogenic aid, β -alanine, nitrate, supplementation, exercise, fatigue, performance.

INTRODUCCIÓ

Concepte d'ajut ergogènic

Des que els éssers humans van començar a participar en competicions esportives, la nutrició ha estat considerada com un component integral per a l'esportista. A l'antiga Grècia, de Miló de Crotona, lluitador dels Jocs Olímpics, es deia que prenia diàriament 5 Kg de carn, 2 Kg de pa i 7 litres de vi. Per intentar millorar els rècords, els grecs van augmentar el consum de carn utilitzant la més adequada per a cada especialitat: carn de cabra per saltadors, de bou per a corredors o de porc per lluitadors i gladiadors. Per sort, la nutrició ha avançat molt i s'ha pogut comprovar científicament que els nutrients es metabolitzen donant energia per a la contracció muscular fent evident que les manipulacions de la dieta podien tenir influències tant positives com negatives sobre el rendiment esportiu.¹

Els esportistes sempre han cercat la forma de millorar el seu rendiment utilitzant diferents ajuts ergogènics. Aquests es defineixen com tota substància, procediment o material que millora el rendiment.² El terme ergogènesi significa producció d'energia. Si una determinada manipulació millora el rendiment a través de la producció d'energia, s'anomena ergogènica i si ho redueix ergolítica. No obstant això, cal deixar constància en aquest punt que el terme ajut ergogènic s'empra generalment en un context més ampli que el de les pures manipulacions nutricionals i farmacològiques. S'han arribat a identificar almenys cinc categories de les anomenats ajuts ergogènics:

- Ajudes mecàniques encaminades en les característiques dels materials utilitzats com ara sabatilles, malles o cinturons.
- Ajudes psicològiques que es basen en tècniques i estratègies d'entrenament psicològic com la hipnosi o la psicoteràpia (control d'estrés, ansietat...).
- Ajudes fisiològiques mitjançant substàncies que milloren el funcionament de l'organisme com el dopatge sanguini.
- Ajudes farmacològiques introduïnt substàncies químiques dins el cos per millorar respostes del cos com la cafeïna o la efedrina.
- Ajudes nutricionals mitjançant suplementes com la sobrecàrrega de carbohidrats o creatina. A partir de la dieta es poden aconseguir grans millores en el rendiment.

Probablement, els ajuts ergogènics nutricionals i farmacològics són els més coneguts, entre d'altres motius perquè aquests darrers, els farmacològics, inclouen les substàncies prohibides o dopants. Encara que s'han anat proposant, com a efectius, multitud d'ajuts ergogènics

nutricionals i farmacològics permesos, realment es considera que només n'hi ha quatre amb efectivitat totalment demostrada de forma científica. Aquests són els suplementes d'hidrats de carboni, la cafeïna, la creatina i el bicarbonat. Les evidències recollides en quan a millora del rendiment de dos dels productes que s'han proposat, han fet que aquests dos productes es considerin com a seriosos candidats a ser inclosos a la reduïda llista d'ajuts ergogènics nutricionals o farmacològics permesos i efectius. Aquests dos productes són la β -alanina i el nitrat. L'efecte de la suplementació amb β -alanina seria un augment de la capacitat amortidora de pH a nivell intracel·lular. Per tant, podria actuar retardant l'aparició de la fatiga deguda a l'acidosi generada per exercicis intensos. Per altra part, el nitrat, que faria la seva acció una vegada transformat a NO (òxid nítric), té un efecte que no acaba d'estar clar, ja que pareix que el resultat de la seva acció és una major efectivitat en l'obtenció aeròbia d'ATP.

En aquest sentit, en els últims anys, el nombre de suplementes nutricionals amb suposades propietats ergogèniques que es troben al mercat s'ha elevat molt, donant-se a conèixer el terme "nutricèutics" o "nutracèutics" on s'inclouen aquests productes. Molts atletes utilitzen ajudes ergogèniques que els han subministrat companys o entrenadors assumint la seva utilitat, esperant augments del rendiment, sense considerar possibles efectes perjudicials. La llista d'ajudes suposadament ergogèniques és molt àmplia, però el nombre de substàncies amb propietats realment ergogèniques és molt més curt. De fet, algunes poden ser realment ergolítiques, anunciant-se com el contrari. Es fa necessari determinar si les ajudes ergogèniques funcionen realment com a tals, a més d'avaluar el seu possible efecte sobre la salut de l'esportista. Si generalitzam, pel que fa a la majoria de les ajudes ergogèniques nutricionals s'han realitzat pocs estudis seriosos i cal una justificació bioquímica i fisiològica que doni una base científica a l'ús o no d'una determinada ajuda ergogènica. El disseny d'aquests estudis és complex i té una sèrie de requeriments que rarament es compleixen¹.

Des d'un punt de vista fisiològic no hi ha cap barrera que defineixi els límits entre el que pot considerar-se ajuda ergogènica permesa i el que és considerat com dopatge. La capacitat d'un determinat mètode o producte d'incrementar el rendiment esportiu en la competició res té a veure amb que estigui permès o prohibit. No obstant això, sol ser norma general que, quan es coneix que un determinat producte permet treure avantatge en la competició esportiva, aquest sigui prohibit. Les raons que impulsen les organitzacions esportives a establir aquesta prohibició són essencialment dues: en primer lloc, l'ús de substàncies o mètodes prohibits suposa que una competència deslleial que, de practicar-se de forma incontrolada, arribaria a transformar la competició esportiva en una simple competència entre els mètodes més

eficaços; en segon lloc, l'ús de les pràctiques prohibides (i no prohibides) no està exempt de riscos per a l'esportista, que es pot veure afectat a curt, a mitjà o llarg termini.

Classificació ergogènica ³

L'Institut Australià d'Esport (IAD) brinda als atletes un Programa de Suplements (2012) perquè tinguin informació i facin ús racional dels suplements i dels aliments formulats especialment per a ells com part dels seus plans de nutrició.

El sistema de classificació ABCD proporciona una eina simple d'educació per classificar els aliments esportius i ingredients dels suplements d'acord amb l'evidència científica d'experts en medicina i nutrició esportiva, que els permetrà contribuir de manera segura i pràctica als objectius de rendiment d'un atleta. Determina si un producte és segur, legal i eficaç per millorar el rendiment esportiu.

El IAD classifica als suplements en quatre grups en funció de la seva eficàcia i seguretat:

Grup A - Suplements aprovats

Aquests suplements han estat avaluats científicament i comprovat el seu benefici quan s'utilitzen d'acord amb un protocol específic en una situació esportiva específica.

Grup B - Suplements encara sota consideració

Aquests suplements encara no tenen la prova substancial dels efectes sobre el rendiment esportiu. Compten només amb dades preliminars que suggereixen possibles beneficis per al rendiment o són massa nous com per haver rebut suficient atenció científica. La β -alanina i el nitrat es troben englobats en aquest grup.

Grup C - Suplements amb limitades proves d'efectes beneficiosos

Aquesta categoria inclou la majoria dels suplements i productes esportius promoguts per als esportistes. Aquests suplements, tot i gaudir d'un patró cíclic de la popularitat i ús generalitzat, no han provat que proporcionin una millora significativa de rendiment esportiu. Tot i que no es pot afirmar categòricament que no tenen efecte benèfic, l'evidència científica actual indica que la probabilitat de beneficis és molt petita o que els beneficis que es produeixen són massa petits per ser recomanable la seva utilització.

Grup D - Suplements que no han de ser utilitzats pels atletes

Aquests suplements estan prohibits o podrien estar contaminant altres suplements no prohibits posant a l'esportista en risc de ser penalitzat pel control antidopatge.

El desenvolupament d'un nou suplement dietètic per als esports sovint depèn de la identificació d'una molècula (generalment en el múscul), que té un paper crític i limitant en el sistema de subministrament d'energia durant l'exercici i que pot ser influenciada per la intervenció nutricional.

OBJECTIUS

L'objectiu general d'aquest treball és dur a terme una revisió bibliogràfica d'aquests dos nous suplementos i comprovar si existeixen suficients evidències per incloure la β -alanina i el nitrat a la llista d'ajuts ergogènics efectius i permesos pels esportistes. Per això, es descriuran les bases bioquímiques que explicarien la millora del rendiment, protocols de suplementació utilitzats i la efectivitat de les substàncies. S'han de considerar dos casos diferents ja que la β -alanina forma part del grup d'ajuts ergogènics que augmenten la capacitat amortidora del pH (grup que ja s'ha demostrat efectiu), mentre que el nitrat no entraria dins cap grup considerat efectiu.

METODOLOGIA

Per a recopilar la informació bibliogràfica del treball es varen utilitzar diferents bases de dades amb la fi de recopilar articles científics de revisió o investigació que serveixin per complir els objectius marcats en aquest treball. La base de dades més consultada ha estat PubMed. Les paraules clau i l'estratègia de recerca va ser “ β -alanine AND supplementation AND exercise OR performance” amb un resultat de 58 articles disponibles, i “nitrate AND supplementation AND exercise OR performance” amb 51 articles.

En primer lloc, es va realitzar una lectura exhaustiva de dues revisions per a la β -alanina (Blancquaert et al. 2015⁴ i Dominguez et al. 2014⁵) i de dues més per al nitrat (Jones et al. 2014⁶ i Jones et al. 2013⁷) que varen aportar una idea general de l'estat d'evidència de les diferents suplementacions, a més, de servir de base per trobar més articles.

Els criteris de selecció/exclusió van ser:

- Estudis en humans i en anglès o espanyol.
- Assajos aleatoritzats i controlats o revisions sistemàtiques
- Estudis de suplementacion amb β -alanina i nitrat enfocats cap al rendiment.

SUPLEMENTACIÓ AMB β -ALANINA

La β -alanina és un aminoàcid no essencial sintetitzat en el fetge com a producte final de la degradació d'uracil i timina. La captació intracel·lular d'aquesta molècula es basa en el mateix transportador per a substàncies que tenen una estructura similar (Figura 1). Pot ingerir-se a través de la dieta en fonts d'origen animal o mitjançant suplementes.⁸ L'estudi de la β -alanina ha cobrat un gran interès a causa de la seva relació directa amb la síntesi de carnosina degut al seu rol de factor limitant en la síntesi d'aquesta molècula⁵. Tal com es pot veure a la Figura 2 la carnosina és un dipèptid, compost pels aminoàcids β -alanina i L-histidina sent l'enzim carnosina sintasa (CS) l'encarregada d'intervenir en els processos de síntesis.⁹

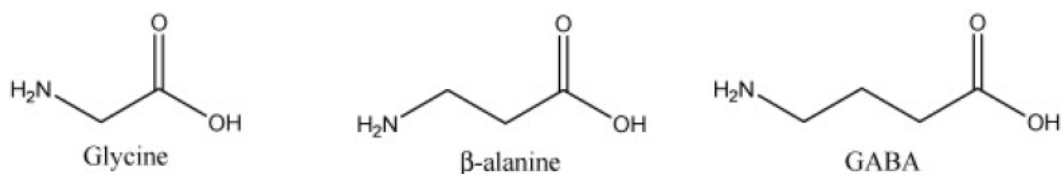


Figura 1. Similituds estructurals entre la glicina, GABA i la β -alanina. *Extret de Caruso et al. 2012.*¹⁰

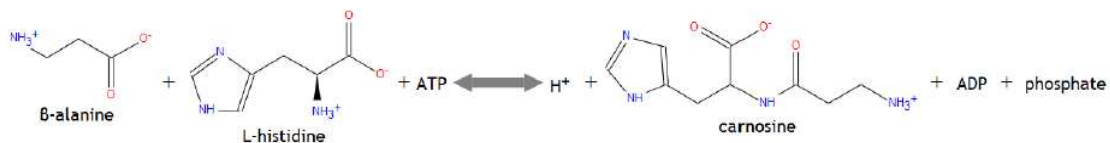


Figura 2. Formació intramuscular de la carnosina. *Extret de Caruso et al. 2012.*

Aquesta reacció està regulada per la velocitat i magnitud de l'absorció de dins de les fibres musculars, l'activitat de l'enzim i de la síntesi hepàtica de l'aminoàcid i el seu transport cap al múscul esquelètic. La formació es produeix principalment en les cèl·lules musculars ja que el nivells sèrics del dipèptid són insignificants a causa de les accions catalítiques de la carnosinasa.

Tot i que la major part de carnosina es troba en el múscul esquelètic, també, hi ha petites quantitats en el sistema nerviós central, fonamentalment en el lòbul olfatiu. L'organisme no és capaç d'absorbir directament la carnosina des del torrent sanguini i, atès que les concentracions de β -alanina en el múscul són relativament petites en comparació amb les d'histidina i carnosina sintasa, i que la síntesi endògena de β -alanina es limita a una petita producció en un grup de cèl·lules hepàtiques, s'ha proposat que la síntesi de carnosina en el múscul esquelètic ve limitada per la disponibilitat de β -alanina de la dieta. La hidròlisi

enzimàtica de la carnosina és catalitzada per la carnosinasa de la qual existeixen dues isoformes en el cos humà: CN1 (present en el sèrum) i CN2 (present en els teixits)⁵.

En humans, la concentració de carnosina en el múscul esquelètic sec es de 5-8 mmol/L, quantitat comparable a les reserves d'ATP, carnitina o taurina. A més, la carnosina és l'únic dipèptid que conte histidina (HCD) trobat en el múscul humà. Els factors que afecten a la concentració intramuscular de la carnosina són els següents: l'entorn hormonal, tipus de fibra, nutrició, sexe, edat, i estat esportiu¹¹.

La suplementació amb β -alanina està englobada en el grup B, segons la classificació que realitza l'Institut Australià de l'Esport pel que fa al grau d'efectivitat i seguretat dels suplementes esportius. El nombre d'estudis i l'augment en la utilització d'aquest suplement cobren cada dia més importància, a causa de la possible influència de la carnosina sobre diferents funcions fisiològiques (Figura 3).

- Regulació del pH.
- Activació de la miosina ATPasa.
- Sensibilització del calci en les fibres musculars.
- Neurotransmissor.

Cal destacar que la més important és la relacionada amb la regulació del pH. Així, encara que el principal tamponador dels protons sigui el bicarbonat, la carnosina, al costat de la fosfocreatina actua com un important tampó a nivell intracel·lular.

A nivell muscular, a més de l'efecte tampó, se li ha atribuït una altra important funció relacionada amb la activació de la miosina ATPasa que exerceix un paper fonamental en el manteniment de les reserves d'ATP. A més, provoca un efecte positiu a l'hora d'incrementar la sensibilitat del calci en les fibres musculars, augmentant la força alhora que redueix la taxa de fatiga durant l'activitat muscular, fruit de les millores en els processos d'excitació-contracció. Per altra banda també podria actuar com a neurotransmissor ja que la seva presència en el sistema nerviós central ha fet que es proposi com a medidora en els processos d'aprenentatge, a més de poder limitar possibles casos de neurotoxicitat.

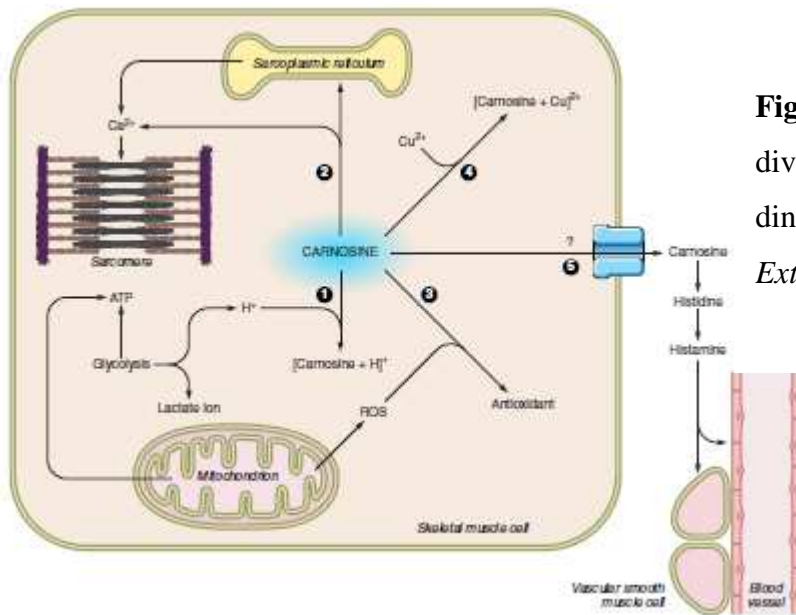


Figura 3. Esquema general de les diverses funcions de la carnosina dins les cèl·lules musculars. *Extret de Boldyrev et al. 2013.*³⁸

Mecanisme d'actuació de la β -alanina com a millora de la capacitat tamponadora

Les modalitats esportives d'elevada intensitat que presenten una duració compresa entre els 30 segons y 5 minuts es caracteritzen perquè la glucòlisis anaeròbica és la principal font d'energia. L'ús d'aquesta via metabòlica té l'avantatge de ser una font ràpida de provisió d'energia, es caracteritza per una acumulació de protons que donarà lloc a una disminució del pH intramuscular. Aquesta acumulació de protons serà major a mesura que incrementi la contribució de la glucòlisis anaeròbica com a sistema primari d'energia, observant-se en exercicis d'elevada intensitat, els valors de pH més baixos en aquelles modalitat amb una duració de 4'.⁵

A nivell intracel·lular, l'acumulació de protons anirà acompanyada d'una inhibició de la fosfofructoquinasa, el que afecta a la capacitat de síntesis de fosfocreatina, una inhibició de la glucòlisis, que disminuirà la taxa glucolítica i un efecte negatiu sobre la contracció muscular ja que altera la captació i recaptació de calci per part del reticle endoplasmàtic provocant un mal funcionament de la maquinària contràctil.¹²

Aquestes situacions d'acidosi donen lloc a disminucions de l'activitat electromiogràfica que produeixen fatiga muscular entesa com la disminució de força durant l'exercici físic intens. Per això, s'ha proposat que totes aquelles mesures encaminades a prevenir situacions d'acidosi extremes poden ser beneficioses degut a la disminució dels símptomes de fatiga que caracteritzen aquesta situació d'instabilitat metabòlica. En aquest nivell, la suplementació

amb β -alanina pot tenir una gran importància degut a que s'ha quantificat la contribució de la carnosina sobre la capacitat tampó i oscil·la entre un 7% i un 10% però es pot arribar fins a un 15-25% després de seguir un protocol de suplementació¹². Així, durant l'exercici, encara que el principal tamponador dels protons generats sigui el bicarbonat, s'han de tenir amb compte una sèrie d'ions localitzats en el sarcolema que actuen facilitant la sortida de protons, així com els tampons intracel·lulars com la carnosina.

La producció de lactat representa la generació del 94% dels protons produïts en múscul esquelètic durant l'exercici d'alta intensitat, causant una disminució en el pH intracel·lular de 7 a 6.¹³ Per ser eficaç, un tampó ha d'estar present en altes concentracions i ha de tenir un pKa dins de l'interval de pH fisiològic (6,0-7,0). La carnosina muscular satisfà a tots dos; es produeix en el rang milimolar, mentre que l'anell d'imidazol dels residus d'histidina presenta un pKa de ~6,04. Altres tampons musculars inclouen proteïnes, fosfats inorgànics i orgànics, i bicarbonat present en les cèl·lules en el començament de la contracció. La contribució de les proteïnes es limita al seu contingut d'histidina. La PCr, una de les reserves metabòliques de fosfat més importants té un pKa de 4,58, i per tant, no contribueix directament a l'efecte tamponador. No obstant això, amb l'inici de l'exercici, la disminució de la reserva de PCr, acompanyada de l'augment en la concentració de fosfats inorgànics i orgànics, elevarà la capacitat d'amortiment fisicoquímica del múscul.

La combinació de la β -alanina amb l'histidina eleva el pKa de l'anell imidazol a ~6,8 millorant la seva eficàcia en el tamponament. Aquesta unió també fa que la histidina inert participi en la proteogènesis, permetent acumular-se a les cèl·lules musculars en concentracions elevades. Això proporciona un mitjà més eficient per variar la capacitat d'amortiment fisicoquímica intracel·lular que per l'alteració del contingut de proteïna, on l'histidina és només 1 dels 20 aminoàcids.¹⁴ La ergogenicitat de la β -alanina s'ha atribuït a una major capacitat de tamponament del múscul.

Durant un exercici d'elevada intensitat, els protons comencen a acumular-se donant lloc a una disminució del pH intramuscular i això pot influir en el rendiment muscular. Quant major és la dependència de la glucòlisis com a sistema d'energia primari, major és la producció d'àcid làctic i protons lo que condueix a una disminució addicional de pH intramuscular que es vincula amb la fatiga muscular.

Tot i que el tamponament del pH intracel·lular es va proposar originalment per a ser "la raó de ser" de la carnosina muscular, se li han atribuït altres funcions importants. Els efectes de la

Protocols de suplementació utilitzats

La suplementació es duu a terme mitjançant pastilles o en pols. A la llarga s'han utilitzats molts de tipus de protocols entre els que es poden destacar els que s'observen a la següent taula.

Suplementació			
Dosi (g/dia)	Duració (setmanes)	Múscul	Carnosina
3.2	4	<i>Vastus lateralis</i>	+42%
5.2	4	<i>Vastus lateralis</i>	+64%
5.2	4	<i>Vastus lateralis</i>	+59%
5.9	10	<i>Vastus lateralis</i>	+80%
4.8	4	<i>Soleus</i>	+47%
4.8	4	<i>Gastrocnemius</i>	+37%
4.8	6	<i>Soleus</i>	+39%
4.8	6	<i>Gastrocnemius</i>	+23%
4.8	6	<i>Tibialis anterior</i>	+27%
5	7	<i>Soleus</i>	+45%
5	7	<i>Gastrocnemius</i>	+28%
3.2	2	<i>Gastrocnemius</i>	+10%
3.2	2	<i>Tibialis anterior</i>	+17%
3.2	12	<i>Gastrocnemius</i>	+85%
3.2	5	<i>Vastus lateralis</i>	+25%

Figura 5. La Taula presenta un resum dels estudis recents que examinen els efectes de la suplementació amb β -alanina sobre les concentracions de carnosina. *Adaptat de Saunders et al. 2015.*¹⁶

La suplementació amb β -alanina ha demostrat que augmenta el contingut de carnosina muscular fins i tot en menys de 2 setmanes i, per tant, es pot considerar un mètode adequat per augmentar el nivell intracel·lular de carnosina en humans.

A partir d'aquestes dades i dels obtinguts en altres estudis, s'han suggerit dos protocols de suplementació que provoquen un augment dels nivells de carnosina igual o superiors al 40%.¹⁷

- El de dosi màxima, implica la presa de quantitats de β -alanina de 4-6g diaris durant un període mínim d'un mes.
- El de càrrega, que provoca un augment de la carnosina lleugerament inferior, suggereix un protocol de suplementació de 3,2g diaris durant un mes i, a continuació, una ingesta diària de 1,6g durant un període mínim d'un mes addicional.

A l'hora de programar la suplementació s'ha de considerar que després de finalitzar el protocol, l'eliminació de la carnosina del múscul és molt lenta, estimant-se que després de l'increment del 50% es tarda unes 14-15 setmanes a tornar als nivells previs de la suplementació. S'ha demostrat que la ingesta de quantitats superiors a 800mg per dosi poden generar efectes secundaris com parestèsia moderada, vasodilatació cutània, enrogiment de la pell durant els 60-120' posteriors a la presa. Per evitar aquests efectes, la dosi diària s'ha de dividir en diverses preses inferiors a 800mg. De forma alternativa, algunes cases comercials han dissenyat uns comprimits de β -alanina d'alliberació lenta⁴.

DESCRIPCIÓ D'ESTUDIS QUE DEMOSTRIN L'EFECTIVITAT

La primera evidència del potencial ergogènic de la β -alanina va ser de Hill¹⁸, qui va demostrar que la suplementació amb β -alanina pot millorar la capacitat d'un exercici d'elevada intensitat en un 13-16% durant una prova de cicloergometre a una intensitat o potència del 110 % del VO_{2max} després de 4 i 10 setmanes de suplementació. En la figura 7 s'il·lustra que l'augment en el rendiment està estretament relacionat amb l'augment de carnosina.

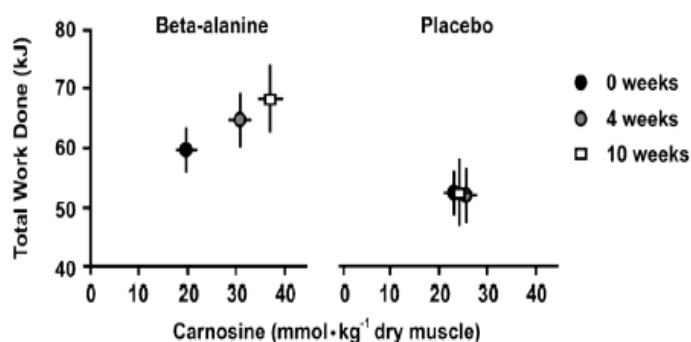


Figura 6. Contingut de carnosina i treball total realitzat després d'una suplementació amb β -alanina.

Extret de Hill et al. 2007.

Des de llavors, molts estudis han explorat els efectes de la β -alanina en un nombre de tipus d'exercici i poblacions objectiu. Una bona meta-anàlisi dels resultats de rendiment d'aquests estudis ha estat recentment proporcionada per Hobson¹⁹. En aquest estudi es distingeixen tres tipus d'exercicis: exercicis que van durar < 60 segons, els esforços entre el 60 i 240 segons, i els esforços de més de 240 segons. Ells van concloure que els esforços que van durar menys de 60 segons és poc probable beneficiar-se de suplementes de β -alanina. Per contra, sobretot els estudis amb durades d'exercici de 60-240 segons van mostrar un efecte significatiu del grup β -alanina en comparació amb els grups placebo. No obstant això, una vegada que l'augment de la durada de l'exercici més de 240 segons, els efectes beneficiosos de la suplementació amb β -alanina es van fer menys pronunciats, tot i que encara significatius. Els exercicis més curts produeixen pocs protons i els més llargs ja tenen un component aeròbic important. Els intermitjos són els que produeixen més protons i, per tant, és allà on la quantitat addicional de carnosina farà efecte.

Un estudi recent realitzat per Baguet²⁰ va mostrar que la acidosi durant un exercici d'alta intensitat durant 6 minuts és menys pronunciada com a resultat d'un període de 4 setmanes de suplementació amb β -alanina (Figura 7). Això indica que la β -alanina indueix la càrrega de carnosina muscular tenent un impacte significatiu en la capacitat de tamponament del pH durant l'exercici.

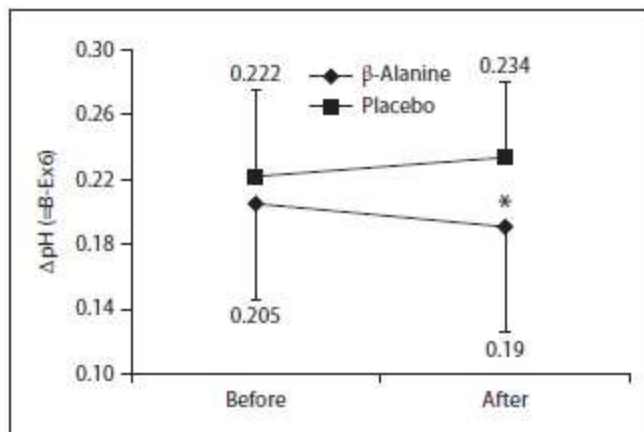


Figura 7. Δ pH des de l'inici fins al final (6') d'alta intensitat amb bicicleta abans i després de 4 setmanes de suplementació amb β -alanina o placebo. *Extret de Baguet et al. 2010.*

Per altra banda, hi ha estudis que evidencien un efecte additiu de la β -alanina i el bicarbonat però no existeix un marc teòric que podria explicar aquesta additivitat. La següent figura il·lustra aquest marc. En alta intensitat, es pensa que l'exercici es deté una vegada que l'acidesa dels músculs i/o la sang arriba a un nivell crític d'acidosis (línia horitzontal discontinua). Teòricament, hi ha dues maneres de retardar el moment en què un atleta arriba a aquest punt d'esgotament / fatiga.

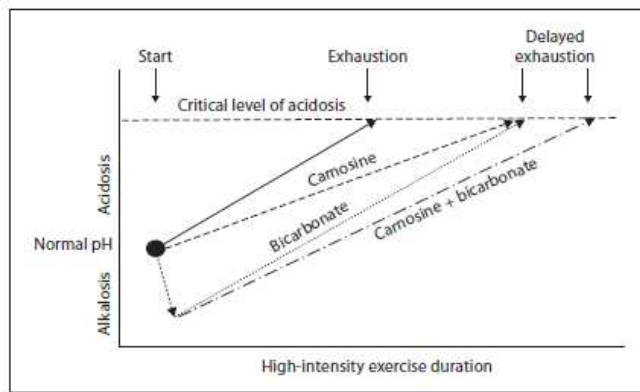


Figura 8. Mecanisme teòric que il·lustra els efectes i mecanismes de la càrrega de carnosina, la ingesta de bicarbonat i les dues intervencions combinades en el desenvolupament de l'acidosis i la fatiga durant l'exercici d'alta intensitat. *Extret de Derave et al. 2013.*

Una primera manera és començar a un nivell de pH en repòs que es troba més lluny del nivell d'acidosis crític. Això s'aconsegueix mitjançant la inducció de l'alcalosi metabòlica per ingestió pre-exercici de bicarbonat. Una segona manera és reduir la acumulació d'àcid proporcionant un millor sistema tamponador muscular, la càrrega de carnosina induïda per la suplementació amb β -alanina. Com que les dues formes tenen diferents enfocaments, podria ser possible combinar-los i obtenir un resultat encara millor que amb qualsevol d'aquests enfocaments sol. Com s'ha indicat anteriorment, això no ha estat provat àmpliament en ús actual i la pràctica en un entorn esportiu pot fer front a limitacions addicionals que encara no són identificades¹⁴.

Un període de suplementació amb β -alanina de 5 setmanes de durada amb un protocol en rampa (començant amb 3,2 g/dia i finalitzant amb 6,4 g/d) va ser efectiu per a produir millores significatives (2%) en un grup de nedadors altament entrenats en la prova de 200m estil lliure, al mateix temps també es va mostrar una tendència a la millora a la de 100m estil lliure (2,1%)²¹. Les millores més evidents en la prova de 200m respecte a la de 100m es podria deure a la major importància dels mecanismes buffer, no hauríem d'obviar que l'efecte de la suplementació podria ser per millora de la contractilitat muscular.

Sale va comprovar el temps fins a l'esgotament front a una càrrega del 45% MIVC (Contracció isomètrica màxima voluntària) en un exercici d'extensió de cames després d'un protocol de 4 setmanes de suplementació amb β -alanina (6,4 g/d). El resultat va ser una millora del 13,2% del temps fins a l'esgotament per mediació de l'efecte de la sensibilitat de la fibra muscular cap a la captació/recaptació de calci en una situació important d'acidosis metabòlica²²

El consum màxim d'oxigen (VO_{2max}) és un paràmetre fisiològic que expressa la màxima capacitat de l'organisme de captar, transportar i utilitzar oxigen per unitat de temps. Aquest a una intensitat relativa pot mantenir-se al voltant de 5'. Els factors determinants del rendiment en aquest tipus de modalitats son: VO_{2max} , l'umbral de lactat i l'eficiència energètica. Per altra

banda, els factors limitants han estat errors a nivell de captació i recaptació de calci en el reticle sarcoplàsmic, esgotant les reserves energètiques, fatiga central, dany muscular, producció de ROS i acumulació de protons. Per això, es va investigar sobre un efecte beneficiós de la suplementació amb β -alanina mitjançant una millora en l'equilibre àcid-base en exercicis de resistència aeròbica. Baguet va comprovar que una suplementació en rampa de 2,4 g/d a 4,8 g/d durant 4 setmanes va millorar la regulació dels nivells de pH després d'un exercici a una intensitat situada entre l'umbral ventilatori i VO_{2max} , el que suggereix una millora en la reducció de l'acidosi a intensitats moderades/elevades.

SUPLEMENTACIÓ AMB NITRAT

El nitrat s'ha convertit cada vegada més popular com un ajut ergogènic, estudis recents han descobert beneficis en el rendiment esportiu després de la ingestió d'aliments rics en nitrats. Els nitrats (NO_3^-) són una família de composts que es poden trobar en els aliments o poden ser produïts dins del nostre cos. Les principals fonts alimentàries de nitrats són les verdures, les carns processades (s'agreguen com a conservants) i el subministre d'aigua (descomposició del material orgànic del sòl, de l'activitat bacteriana i dels fertilitzants).²³

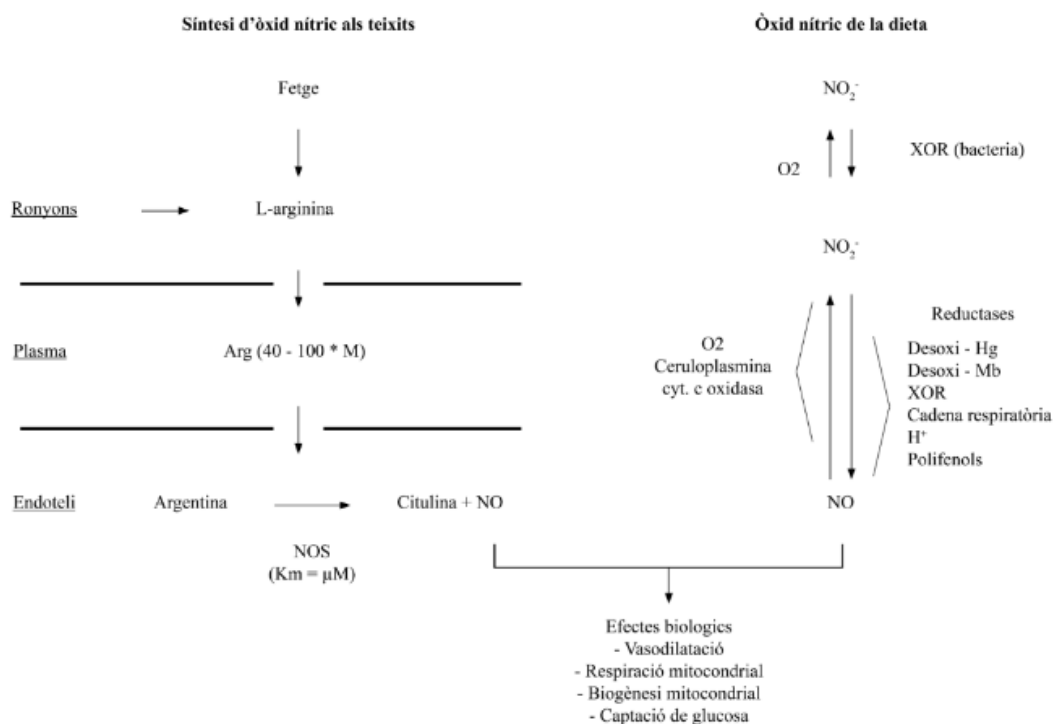


Figura 9. Vies de producció d'òxid nítric (NO). El ronyo i el fetge produeixen L-arginina que es converteix en l'endoteli a citulina i NO per la NOS. A més, el nitrat de la dieta es converteix en nitrit que per diferents reductases converteixen el nitrit a òxid nítric i provoca una sèrie d'efectes biològics. *Adaptat de Poortmans et al. 2015.*²⁴

Les reduccions de nitrat a nitrit i, posteriorment, de nitrit a òxid nítric (NO) poden ser importants com un mitjà per augmentar la producció de NO, quan la síntesi de NO per enzims NOS es deteriora en condicions de baixa disponibilitat d'O₂, com pot ocórrer en el múscul esquelètic durant l'exercici. Ara se sap que les concentracions tissulars de nitrat i nitrit poden augmentar-se per mitjans dietètics: verdures de fulles verdes com enciam, espinacs, ruca, api i remolatxa són particularment rics en nitrat però poden variar en funció dels sòls condicions, època de l'any i d'emmagatzematge. Per tant, la suplementació de la dieta amb nitrat representa una mètode pràctic per augmentar la concentració de nitrit en plasma i, per tant, la biodisponibilitat de NO. ⁷

Els nitrats ingerits són ràpidament absorbits en el tracte gastrointestinal. Aquests es barrejaran amb els nitrats generats per l'oxidació del NO que han produït les sintases. Després de la ingesta d'un menjar ric en nitrats, obtenim un pic d'aquests en el plasma sanguini sent el seu màxim a la primera hora (5-6 hores de vida mitjana en plasma). La ruta que seguirà el nitrat en sang serà: excreció a través de l'orina i / o l'adquisició per part de les glàndules salivals (25% - 10mM aproximadament). Un cop a la cavitat bucal, els bacteris comensals utilitzaran les nitrat reductases pròpies per generar el nitrit (1-2mM en saliva). A l'arribar a l'estómac, a causa del seu caràcter àcid (pKa = 3,3), part del nitrit es veurà protonat formant HNO₂ el qual es descompondrà formant NO o altres espècies nitrogenades. La generació de NO a l'estómac s'ha relacionat amb un efecte protector d'aquest pel fet que és capaç d'estimular l'excreció de la mucosa gàstrica. El nitrit restant no reduït serà absorbit en el tracte gastrointestinal i passarà al torrent circulatori, obtenint un pic de la seva concentració en plasma després d'ingerir els nitrats (màxima concentració en plasma a les 2,5h). Aquest nitrit en sang, no com el nitrat, és capaç de seguir tres camins: perdre per orina, oxidar per formar nitrat (es perd per orina o torna a les glàndules salivals) o reduir-se per a formar el NO. ²⁵

L'òxid nítric és de suma importància en la fisiologia humana ja que regula diferents processos vitals en l'organisme, i a la vegada és una substància indispensable durant l'exercici. Aquest regula el flux sanguini, la homeòstasis de la glucosa i el calci, la contracció muscular, i juga un paper fonamental en la mitocòndria durant la respiració i la biogènesis mitocondrial. Anteriorment es pensava que l'òxid nítric només es produïa en l'organisme a partir d'un aminoàcid anomenat L-Arginina i es pensava que l'alimentació no tenia cap efecte en la major/menor producció d'aquesta substància. Ara sabem que les concentracions de nitrat i nitrit en el teixit muscular es poden incrementar per mitjà de la dieta. Per tant, la

suplementació amb nitrat de la dieta representa un mètode pràctic per augmentar la concentració de nitrit circulant en plasma i, així, augmentar la biodisponibilitat de NO.⁷

MECANISME D'ACTUACIÓ DEL NITRAT

El mecanisme exacte pel qual el nitrit es converteix en NO és incert. Podria ocórrer a través de la formació intermèdia de S-nitrosotiols i altres òxids de nitrogen o per un nombre de substàncies i enzims que tenen la capacitat de reduir el nitrit com la xantina oxidasa, hemoglobina, mioglobina, citocrom P450, aldehyd oxidasa, anhidrasa carbònica i NOS.²⁶

La reducció del consum d'oxigen per fer un exercici després de la suplementació amb nitrat no està associat a una elevada [lactat] en sang el que suggereix que no hi ha un augment compensatori de la producció d'energia anaeròbica com podria esperar-se si el metabolisme oxidatiu estés inhibit.²⁷ Això indica que l'administració de suplement de nitrat són una millora real en l'eficiència muscular. En teoria, un menor consum d'oxigen per la mateixa potència de sortida podria ser per dues raons:

- Un menor consum d'ATP durant la contracció del múscul per a la producció de la mateixa força (es millora l'eficiència contràctil muscular). Bailey²⁸ va investigar la primera d'aquestes possibilitats utilitzant espectroscòpia de ressonància magnètica ³¹P. Aquest procediment va permetre l'avaluació in vivo dels canvis en la concentració de fosfocreatina (PCr), fosfat inorgànic, i difosfat d'adenosina, així com el pH. El subministrament d'ATP contribuït per la hidròlisi de PCr, la glucòlisi anaeròbica i la fosforilació oxidativa també es va calcular. Les taxes de recanvi d'ATP estimades a partir de la hidròlisi de PCr i la fosforilació oxidativa van ser menors després de sis dies de suplementació amb suc de remolatxa, sense cap canvi en la taxa de recanvi d'ATP estimat a partir de la glucòlisi anaeròbica, de tal manera que hi va haver una reducció significativa en la taxa total de recanvi d'ATP durant un exercici tant de baixa com d'alta intensitat. Se sap que la taxa de recanvi d'ATP en les cèl·lules musculars es determina principalment per l'activitat de les ATPases d'actomiosina i Ca²⁺-ATPases. La producció de NO després de la suplementació amb nitrat pot haver reduït la taxa de recanvi d'ATP del múscul esquelètic mitjançant la reducció de l'activitat d'aquestes dues ATPases.²⁹

L'acumulació intramuscular d'ADP i Pi, i el grau d'esgotament de PCr, van disminuir després de l'administració de suplement de nitrat. Els canvis més petits en les [ADP], [Pi] i [PCr] després de la suplementació NO³⁻ es van predir per reduir el estímuls per augmentar la fosforilació oxidativa. L'acumulació de metabòlits com ara [ADP] i [Pi], i l'esgotament de les reserves de PCr contribueixen de manera important al desenvolupament de la fatiga muscular.

Mentre que les [ADP], [Pi] i [PCr] intramusculars van ser similars fins a l'esgotament en les condicions de suplementació amb nitrat i placebo en l'estudi de Bailey, el temps necessari per aconseguir aquestes concentracions crítiques es va retardar després de l'administració de suplement de nitrat i això, en part, pot explicar la millora de la tolerància a l'exercici. Cal assenyalar que la millora de l'eficiència muscular i la reducció de la pertorbació metabòlica poden ser responsables de la millor tolerància a l'exercici observada després de l'administració de suplement de nitrat, és possible que la intervenció resulti en una millora simultània de la disponibilitat O₂ en el múscul.

- Un menor consum d'oxigen per a la mateixa taxa de resíntesi d'ATP (es millora l'eficiència mitocondrial). Larsen³⁰ va aïllar mitocondris a partir del vast extern dels éssers humans sans suplementats amb nitrat de sodi. Va informar que els suplement de nitrat redueixen les fuites de protons i la respiració no acoblada, el que va augmentar la relació P/O mitocondrial (quantitat d'ATP produït / oxigen usat). És important destacar que, l'augment de la relació P/O es va correlacionar amb la reducció de VO₂ durant l'exercici.

Sembla, doncs, que l'administració de suplement de nitrat poden millorar l'eficàcia de l'exercici mitjançant la millora de l'eficiència de la contracció muscular (cost d'ATP de la producció de força) i la fosforilació oxidativa mitocondrial (augment de la relació P / O).⁷

PROTOCOL DE SUPLEMENTACIÓ

El nitrat es troba de forma natural, en quantitats significatives, en diversos productes d'origen vegetal frescos . En aquest cas, sobretot si es tracta de vegetals de fulla verda i frondosa, el nitrat pot ser reduït a nitrit per una bactèria bucal provocant un increment de la concentració de nitrit en plasma, que serveix com a reservori circulant per a la producció de NO. A més, el nitrat pot obtenir-se mitjançant la presa de sals com el nitrat sòdic. Els primers estudis que demostraren l'efecte ergogènic del nitrat varen utilitzar protocols de suplementació que incloïen la presa de 0,1 mmols de nitrat de sodi/kg de pes corporal (8,5 mg/kg pes) durant 3 dies o la presa diària de 500 ml de suc de remolatxa durant 4-6 dies. Tal com es pot observar a la taula, la remolatxa és un dels aliments amb majors quantitats de nitrat. Considerant les pèrdues durant el procés de preparació, s'ha determinat que 500 ml d'aquest suc poden contenir una quantitat mínima de 5-6 mmols de nitrat.

<i>Contingut en nitrat (mg/100 g producte fresc)</i>	Producte
Molt alt (>250)	Remolatxa, espinacs, lletuga, rúcula, api,
Alt (100-250)	Fonoll, porro, endivia, julivert
Mitjà (50-100)	Col, nab
Baix (20-50)	Brócoli, safarnari, colflore, cogombre, carabassa
Molt baix (<20)	Espàreg, albergínia, ceba, bolet, pésol, patata, batata, tomàtiga

Figura 10. Productes vegetals i el seu contingut en nitrats. *Adaptat de Jones et al. 2010.*²³

Actualment, les evidències de que la suplementació amb una única dosi de 5-7 mmols de nitrat (aproximadament 0,1 mmol/kg de pes) provoca un augment significatiu en plasma (mesurat com a nitrit) que va associat amb els efectes ergogènics descrits. Aquesta dosi pot aconseguir-se fàcilment amb la ingesta de 500ml de suc de remolatxa, o de la quantitat equivalent d'un altre aliment (Figura 10). Amb la ingesta, normalment, s'observa en plasma un pic de nitrit després de 2-3h de la ingesta mínima, mantinguent-se els nivells elevats durant les següents 6-9h. Per tant, es recomana que el nitrat es consumeixi aproximadament unes 3h abans de la competició o sessió d'entrenament. Si es desitja mantenir els nivells permanentment elevats es deu recorre a dosis diàries de suplement farmacològics amb una quantitat de nitrat més elevada, impossible d'aconseguir amb la alimentació de productes vegetals.³¹

S'ha de tenir en compte que, de moment, no es coneix si una suplementació continuada de nitrat, amb la fi de mantenir uns nivells permanentment elevats pot influir a les adaptacions a l'entrenament. En aquest sentit, s'ha vist que la major disponibilitat de NO podria estimular la biogènesis mitocondrial. Però, per altra banda el NO té propietats antioxidant i podria impedir adaptacions cel·lulars a l'entrenament. A més, s'ha apuntat la possibilitat de que dosis altes i descontrolades de nitrat en forma de sals en productes farmacològics poden ser perjudicials per a

la salut, mentre que les fonts naturals podrien ser saludables. Per aquesta raó, es recomana que l'esportista utilitzi, i experimenti els efectes de les fonts naturals de nitrat evitant els productes farmacològics.

<i>Dosi de nitrats (mmols/dia)</i>	<i>Canvis en [NO₂⁻]</i>	<i>Temps d'ingestió (pre-exercici)</i>
5,2	↑ 36 % NO ₂ ⁻	2,5h
10,2	↑ 86% NO ₂ ⁻	2,5h
7,5	↑ 93 % NO ₂ ⁻	2h
5	↑ 79% NO ₂ ⁻	2h
9	↑ 86% NO ₂ ⁻	3h
8,7	↑ 24% NO ₂ ⁻	2,5h
6,2	↑ 25% NO ₂ ⁻	2,5h
5	↑32% NO ₂ ⁻	3h

Figura 11. La Taula presenta un resum dels estudis recents que examinen els efectes de la suplementació amb nitrats sobre les concentracions de nitrits. *Adaptat de Zafeiridis 2014.*²⁹

Existeixen encara molts d'aspectes a investigar sobre l'ús del nitrat com ajuda ergogènica. S'ha de considerar que no s'ha establert la corba dosi-resposta, que ens donaria una idea més completa del rang de dosis efectives.

DESCRIPCIÓ D'ESTUDIS QUE DEMOSTRIN L'EFECTIVITAT

Diversos estudis recents han examinat la influència dels suplementes de nitrats en l'alimentació sobre la resposta fisiològica a l'exercici. Larsen i col·laboradors³² mostraren que 3 dies de suplementació amb nitrat de sodi (0,1 mmol/kg/dia) va disminuir la pressió arterial en repòs i la despesa d'oxigen de l'exercici submàxim de pedaleig. De manera subseqüent, va augmentar la biodisponibilitat de NO a través de suplementes en l'alimentació amb un aliment natural (suc de betabel). En el seu primer estudi varen trobar que de 4-6 dies de suplementació amb 0.5L de suc (conté 6mmol de nitrats) varen disminuir un 5% la despesa d'oxigen en "estat estable" de l'exercici submàxim de bicicleta i perllongaren el temps fins a l'esgotament

durant el pedaleig a alta intensitat en 16% (Figura 12). Aquests efectes varen sorprendre en vista de que la despesa d'oxigen s'havia considerat com a fixe.

Aquests resultats es varen confirmar en l'estudi de Bailey ²⁸ en el qual el nitrat es va subministrar en forma de suc de remolatxa (betabel). Després de 3 dies es va duplicar la concentració de nitrit, es va reduir el VO₂ durant l'exercici d'intensitat moderada. Aquests resultats suggereixen que a curt termini, la intervenció dietètica natura millora l'eficiència del treball muscular (Figura 13).

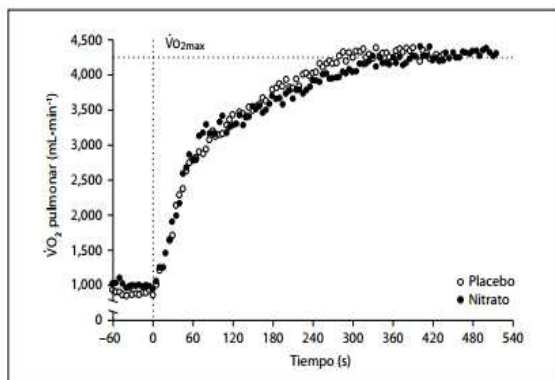


Figura 12. La captació pulmonar d'oxigen (VO₂) d'un individu durant l'exercici de bicicleta a elevada intensitat va seguir fins el límit de tolerància després del suplement de nitrat i placebo després de la suplementació. *Extret de Larsen et al.*

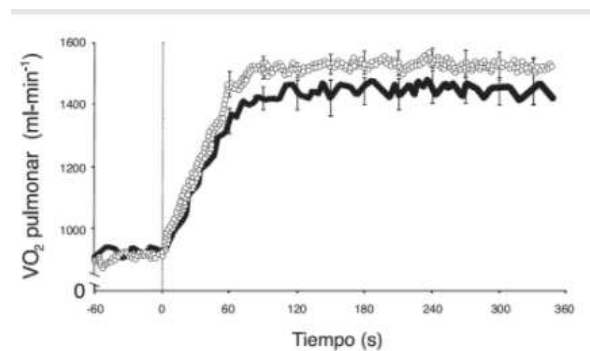


Figura 13. Disminució de l'aport d'oxigen durant 6' d'exercici en bicicleta de moderada intensitat després d'una suplementació amb nitrat comparada amb el placebo. *Extret de Bailey et al. 2014.*²⁸

CONSUM D'OXÍGEN I PRESSIÓ SANGUÍNEA

S'ha demostrat que la suplementació de nitrat en humans redueix la taxa metabòlica basal i, a més, el consum de oxigen durant la realització d'activitat física. Aquests efectes semblen ser deguts a una millora de l'eficiència de les mitocòndries del múscul esquelètic. En aquestes s'observa una major capacitat de fosforilació oxidativa i en conseqüència, una reducció en el consum d'oxigen per a una mateixa quantitat d'ATP³⁰. A més, s'ha vist que la ingesta de nitrat també és capaç de reduir la pressió sanguínia (Figura 13)³³. El NO pot modular la funció muscular a partir de la regulació de la pressió sanguínia, la contractibilitat, l'homeòstasi del calci, la de la glucosa i a part, la respiració i biogènesi mitocondrial.

S'han fet experiments en models animals (ratolins, gossos i cavalls) i s'ha observat que la inhibició de la NOS, i en conseqüència, la síntesi de NO, incrementa el consum d'oxigen (VO_2) pels teixits⁶. No obstant això, en humans, aquest fet és més controvertit, encara que sembla ser que el NO està involucrat en la regulació del flux sanguini i el VO_2 . Per tant, es creu que augmentant la biodisponibilitat de NO, potser s'augmenti l'eficiència del consum d'oxigen en l'exercici físic.

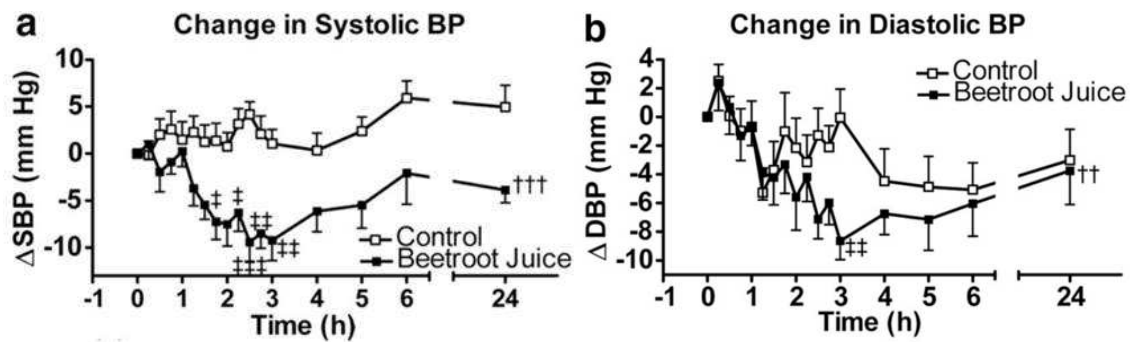


Figura 13. S'observa la disminució de la pressió sanguínea després del consum de nitrats. La pressió sistòlica disminueix després de 2,5 hores, del consum mentre que la diastòlica disminueix 3 hores després de la ingesta. *Extret de Jones 2014.*⁶

RESISTÈNCIA A L'EXERCICI

Com ja s'ha comentat, la ingesta durant 3 dies de 0,1 mmol/NaNO₃/ dia) reduïa el consum d'oxigen pulmonar en un 3-5% en humans (Figura 14), completant exercicis d'intensitat submàxima (ciclisme), així com en altres exercicis de menor intensitat. La concentració de NO₂⁻ en plasma es va duplicar i la resistència a l'exercici d'alta intensitat va augmentar en un 16% després de la suplementació amb suc de remolatxa ric en NO³⁻. En experiments posteriors s'han reportat millores en la resistència a l'exercici de 25% durant un exercici d'extensió de genoll amb dues cames i de 15% durant un exercici en cinta per córrer després de 6 dies de suplementació amb suc de remolatxa³⁴.

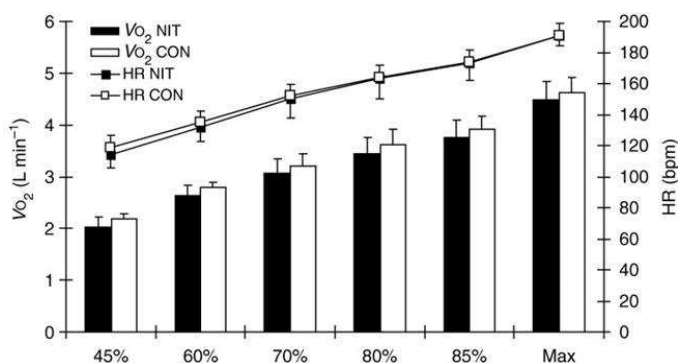


Figura 14. Consum d'oxigen (VO_2) i ritme cardíac (HR) en diferents intensitats d'exercici després de tres dies de suplementació amb nitrats. S'observa una disminució de VO_2 , així com del ritme cardíac en aquells exercicis de menor intensitat. *Extret de Jones 2014.*³⁴

Per començar, en múltiples estudis queda demostrat que els suplementes amb nitrats, o a partir de suc de remolatxa, tenen efectes ergogènics durant exercicis d'intensitat sub-màxima, provocant, amb això, una millora del rendiment davant l'exercici en individus sans i joves exercitats a condicions de normoxia. Per contra, sembla que no es dona aquest efecte en atletes ben entrenats.

Per un costat, s'ha comprovat com la suplementació amb NO_3^- , a partir de suc de remolatxa, durant tres dies, millora la resistència a exercicis d'intensitat sub-màxima, per a això es van realitzar activitats intermitents de 15 segons al 110% de la capacitat aeròbica màxima, combinats amb 30 segons de descans, resultant que el nombre de repeticions que es va aconseguir completar fins arribar a la fatiga va ser significativament major respecte al grup control, que va prendre un placebo en lloc del suplement de nitrats³⁵.

Experiments similars van ser portats a terme en un club masculí de ciclistes, amb l'objectiu d'avaluar una possible millora en l'activitat física, amb la suplementació a base de suc de remolatxa, tractant amb atletes que estaven entrenats, és a dir, amb un $\text{VO}_{2\text{màx}}$ de 56 mL/Kg per minut. Un grup de ciclistes es va sotmetre a una prova contra-rellotge de 4 Km i 16,1 Km en un cicloergòmetre, amb un consum de 0,5L de suc de remolatxa (que equival a 5-6 mM de nitrats), i un altre grup de control fent lo mateix substituint aquesta suplementació per un placebo. La millora significativa en el grup que va prendre el sucre de remolatxa va quedar patent, millorant la resistència en els dos casos, 4 i 16,1 Km, en un 2,8 i 2,7%, respectivament³⁶.

De nou, més experiments es portaven a terme en el ciclisme, amb 12 homes entrenats i una suplementació a partir de suc concentrats de remolatxa durant 6 dies, el que equival a 8 mM / dia, amb proves de 10 km de ciclisme a contra rellotge, i comparats amb el grup placebo, es van observar diferències significatives novament en les proves completes a intensitat sub-màxima. Al menys per períodes de 5 fins a 30 minuts de durada, s'ha millorat la potència de pedaleig i la resistència en contra-rellotge en el grup de suplementació respecte al placebo, en ciclistes formats, excepte, curiosament en ciclistes de sub-elit³⁷.

De fet, estudis més recents, mostren que no existeix un efecte ergogènic en suplementacions agudes o de curt terme de nitrats en la millora de l'exercici en atletes altament entrenats a la resistència ($\text{VO}_{2\text{màx}}$ de 60-70 mL / Kg per minut). Vuit ciclistes molt ben entrenats van ser provats a completar una activitat a contra rellotge, amb el consum d'una certa quantitat de sucre de remolatxa o bé, de placebo. El resultat va ser que no hi va haver diferències

significatives en la millora del temps al completar l'exercici entre els dos grups, encara que es va observar una lleu tendència a el $VO_{2m\acute{a}x}$, de ser major després del suplement de nitrats.

En aquest estudi es pot destacar que hi va haver un increment molt petit de la concentració de nitrats sèrics seguit de la ingesta de nitrats mitjançant suc de remolatxa, en comparació amb subjectes menys ben entrenats, tant és així que, en els ciclistes d'elit, es va trobar una relació significativa inversament proporcional entre la concentració de nitrats augmentats en plasma després de beure el suc i la reducció en el temps al completar una activitat, que els autors atribuïen a que, al tenir els ciclistes un alt estatus físic i que les proves eren de llarga durada i de relativa baixa intensitat, es podria haver reduït el potencial per millorar la resistència de la suplementació amb nitrat⁶.

En altres estudis es postula que, protocols de suplementació que contemplen un llarg període i/o amb concentracions més altes de nitrats millorarien la resistència en atletes d'elit, resultant això més efectiu que una suplementació aguda o de curt terme on els efectes observats, com s'ha vist anteriorment. Fins i tot hi ha aportacions curioses que la suplementació a partir de suc de remolatxa va ser utilitzada satisfactòriament per membres de diversos equips de competició en una àmplia varietat d'esports en els Jocs Olímpics i Paralímpics de Londres 2012. Encara així, els autors postulen que es requereix més recerca sobre el potencial ergogènic de la suplementació amb nitrats en atletes d'elit.³⁷

Per altre costat, es van estudiar efectes ergogènics d'aquest tipus de suplementació en adults en forma, als que es van fer córrer 5 Km en una cinta contra el rellotge amb el consum previ (75 minuts abans) de 200 ml de suc de reforç amb nitrats, o bé placebo equivalent en calories. La percepció de l'esforç va ser significativament menor i la velocitat al córrer durant l'últim quilòmetre un 5% més ràpid als subjectes que van prendre el suc de remolatxa. Les alteracions fisiològiques produïdes per l'efecte de la suplementació de nitrats, poden ser particularment beneficioses quan la disponibilitat d' O_2 es redueix. Així en hipòxia, a diferència que amb la condició de normoxia, la suplementació amb suc de remolatxa redueix el cost d' O_2 en exercicis d'intensitat moderada, accelera la cinètica del VO_2 i millora la resistència a l'exercici d'intensitat severa. També s'ha observat que millora l'oxigenació del múscul esquelètic i les artèries, potenciant la potència i la resistència en exercicis a contra rellotge. Aquests descobriments, per tant, són d'especial importància per a individus que s'exerciten en altitud

CONCLUSIONS

- La disponibilitat de β -alanina s'ha identificat com el factor limitant de la síntesi de carnosina, per això, la suplementació nutricional amb β -alanina es efectiva per augmentar les reserves musculars de carnosina.
- La carnosina millora el rendiment esportiu d'alta intensitat en proves d'entre 1-7 minuts degut a la capacitat d'actuar com un potent tampó a nivell muscular, així com per la millora en la sensibilitat del calci a nivell de la fibra muscular
- Els estudis recents indiquen que, de forma general, una suplementació de 3-6g de β -alanina diaris durant un període de 4-8 setmanes, amb una ingesta mínima de 120g, provoca un augment del 40-50% de la carnosina muscular.
- La suplementació de la dieta amb una dosi de 5-7 mmols (500 ml de suc de remolatxa) de nitrat representa una mètode pràctic i efectiu per augmentar la concentració de nitrit en plasma i, per tant, la biodisponibilitat d'òxid nítric.
- Els estudis recents indiquen que la suplementació amb nitrats podria ser efectiva per potenciar l'eficiència muscular i la resistència a l'exercici en subjectes no entrenats i moderadament entrenats degut a una reducció en el consum d'oxigen.
- Es pot concloure que el nitrat i la β -alanina poden agregar-se a la curta llista de suplementos nutricionals ergogènics i efectius pels esportistes ja que tenen característiques molt favorables per augmentar el rendiment.
- Per acabar, a pesar de tots aquests resultats, i donada la llibertat del tema, es necessiten més estudis i recerca sobre l'aplicació de suplementos per aconseguir un millor efecte ergogènic possible en tot tipus de persones que practiquen un entrenament per a l'activitat física. Per tant, es requereixen més estudis amb atletes d'elit perquè aquesta suplementació pugui servir realment com a ajuda ergogènica, o descartar-se per complet si no existeix un protocol que s'adeqüi.

BIBLIOGRAFÍA

1. Culebras, J. Nutrición en el deporte. Ayudas ergogénicas y dopaje. *Nutr. Hosp.* **22**, 510 (2007).
2. María, J. & Lino, O. Ayudas ergogénicas en el deporte 171. *Arbor Cienc. Pensam. Y Cult.* **650**, 171-185 (2000).
3. Onzari, M. Ayudas ergogénicas nutricionales en la Alimentación del Deportista. (2007).
4. Blancquaert, L., Everaert, I. & Derave, W. Beta-alanine supplementation, muscle carnosine and exercise performance. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* **18**, 63-70 (2015).
5. Domínguez, R., Lougedo, J. H., Maté-Muñoz, J. L. & Garnacho-Castaño, M. V. EFECTOS DE LA SUPLEMENTACIÓN CON β -ALANINA SOBRE EL RENDIMIENTO DEPORTIVO. *Nutr. Hosp.* **31**, 155-169 (2014).
6. Jones, A. M. Dietary nitrate supplementation and exercise performance. *Sports Med.* **44 Suppl 1**, S35-45 (2014).
7. Jones, A. M. Dietary Nitrate : the New Magic Bullet ? *Sport. Sci. Exch.* **26**, 1-5 (2013).
8. Abe, H. Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochem.* **65**, 757-765 (2000).
9. Sale, C., Saunders, B. & Harris, R. C. Effect of beta-alanine supplementation on muscle carnosine concentrations and exercise performance. *Amino Acids* **39**, 321-333 (2010).
10. Caruso, J. *et al.* Ergogenic effects of β -alanine and carnosine: Proposed future research to quantify their efficacy. *Nutrients* **4**, 585-601 (2012).
11. Culbertson, J. Y., Kreider, R. B., Greenwood, M. & Cooke, M. Effects of Beta-alanine on muscle carnosine and exercise performance: A review of the current literature. *Nutrients* **2**, 75-98 (2010).
12. Lancha Junior, A. H., de Salles Painelli, V., Saunders, B. & Artioli, G. G. Nutritional Strategies to Modulate Intracellular and Extracellular Buffering Capacity During High-Intensity Exercise. *Sport. Med.* **45**, 71-81 (2015).
13. Harris, R. C. & Stellingwerff, T. Effect of b-alanine supplementation on high-intensity exercise performance. *Nestle Nutr. Inst. Workshop Ser.* **76**, 61-71 (2013).
14. Derave, W. Use of b-alanine as an ergogenic aid. *Nestle Nutr. Inst. Workshop Ser.* **75**, 99-108 (2013).
15. Dutka, T. L., Lamboley, C. R., McKenna, M. J., Murphy, R. M. & Lamb, G. D. Effects of carnosine on contractile apparatus Ca^{2+} sensitivity and sarcoplasmic reticulum Ca^{2+} release in human skeletal muscle fibers. *J. Appl. Physiol.* **112**, 728-736 (2012).
16. Saunders, B., Artioli, G. G., Sale, C. & Gualano, B. *Imidazole Dipeptides. Food and Nutritional Components in Focus* **2015-Janua**, (2015).
17. Sports nutrition conference Salzburg. *Nestrel Nutr. Inst.*
18. Hill, C. A. *et al.* Influence of β -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids* **32**, 225-233 (2007).
19. Hobson, R. M., Saunders, B., Ball, G., Harris, R. C. & Sale, C. Effects of β -alanine supplementation on exercise performance: A meta-analysis. *Amino Acids* **43**, 25-37 (2012).
20. Baguet, A., Koppo, K., Pottier, A. & Derave, W. β -Alanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* **108**, 495-503 (2010).
21. de Salles Painelli, V. *et al.* The ergogenic effect of beta-alanine combined with sodium bicarbonate on high-intensity swimming performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **38**, 525-532 (2013).

22. Sale, C., Hill, C. A., Ponte, J. & Harris, R. C. β -alanine supplementation improves isometric endurance of the knee extensor muscles. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* **9**, 26 (2012).
23. El, S., Jones, P. A. & Unido, R. Jugo de remolacha/nitrato. 1-3 (2010).
24. Poortmans, J. R., Gualano, B. & Carpentier, A. Nitrate supplementation and human exercise performance: too much of a good thing? *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* **18**, 599-604 (2015).
25. Clements, W. T., Lee, S.-R. & Bloomer, R. J. *Nitrate ingestion: a review of the health and physical performance effects.* *Nutrients* **6**, (2014).
26. Bondonno, C. P., Croft, K. D. & Hodgson, J. M. Dietary Nitrate, Nitric Oxide, and Cardiovascular Health. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **56**, 2036-2052 (2016).
27. Jones, A. M., Vanhatalo, A. & Bailey, S. J. Influence of dietary nitrate supplementation on exercise tolerance and performance. *Nestle Nutr. Inst. Workshop Ser.* **75**, 27-40 (2013).
28. Bailey, S. J. *et al.* Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* **107**, 1144-1155 (2009).
29. Zafeiridis, A. The Effects of Dietary Nitrate (Beetroot Juice) Supplementation on Exercise Performance: A Review. *Am. J. Sport. Sci.* **2**, 97 (2014).
30. Larsen, F. J. *et al.* Dietary inorganic nitrate improves mitochondrial efficiency in humans. *Cell Metab.* **13**, 149-159 (2011).
31. Tipton, K. D., Hawley, J. A. & Burke, L. M. Estrategia de asesamiento nutricio para modular la eficiencia del entrenamiento. **75**, (2011).
32. Larsen, F. J., Weitzberg, E., Lundberg, J. O. & Ekblom, B. Effects of dietary nitrate on oxygen cost during exercise. *Acta Physiol.* **191**, 59-66 (2007).
33. Webb, A. J. *et al.* Acute blood pressure lowering, vasoprotective, and antiplatelet properties of dietary nitrate via bioconversion to nitrite. *Hypertension* **51**, 784-790 (2008).
34. Affourtit, C., Bailey, S. J., Jones, A. M., Smallwood, M. J. & Winyard, P. G. On the mechanism by which dietary nitrate improves human skeletal muscle function. *Frontiers in Physiology* **6**, (2015).
35. Aucouturier, J., Boissière, J., Pawlak-Chaouch, M., Cuvelier, G. & Gamelin, F. X. Effect of dietary nitrate supplementation on tolerance to supramaximal intensity intermittent exercise. *Nitric Oxide - Biol. Chem.* **49**, 16-25 (2015).
36. Lansley, K. E. *et al.* Acute dietary nitrate supplementation improves cycling time trial performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* **43**, 1125-1131 (2011).
37. Cermak, N. M. *et al.* No improvement in endurance performance after a single dose of beetroot juice. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **22**, 470-478 (2012).
38. Boldyrev, A. A., Aldini, G. & Derave, W. Physiology and pathophysiology of carnosine. *Physiol. Rev.* **93**, 1803-45 (2013).
39. Swietach, P. *et al.* Coupled Ca²⁺/H⁺ transport by cytoplasmic buffers regulates local Ca²⁺ and H⁺ ion signaling. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **110**, E2064-E2073 (2013).