

# La fructosa com a font d'energia en els exercicis intensos i prolongats

ANTONIO TINAJAS RUIZ

Agregat d'E. Física  
a l'IES de Sitges

JOSÉ V. TINAJAS RUIZ

Agregat d'E. Física  
a l'IES de Calafell

## INTRODUCCIÓ

La D-fructosa és un monosacàrid especialment abundant a la mel i a algunes fruites com el raïm, les pomes, els dàtils o les figues. Afegit a la glucosa forma el disacàrid sacarosa o sucre comú, que durant la digestió es trenca proper del raspall dels enteròcits rendint els dos monòmers constituents que després seran absorbits.

La fructosa és el sucre natural més dolç, i té un 180% més de poder edulcorant que la sacarosa. Des del punt de vista energètic, la fructosa rendeix 4 kcal/g com qualsevol altre carbohidrat.

El consum diari de fructosa en els països desenvolupats és cada cop major degut principalment a dos factors: el primer és el descobriment de mètodes cada cop més rendibles per obtenir concentrats de fructosa, cosa que l'ha portat a ser usat com a edulcorant en la indústria alimentària en substitució del sucre; el segon és l'efecte que exerceix sobre l'opinió pública una publicitat dirigida a presentar la fructosa com

a un carbohidrat "natural i saludable" en contraposició amb el sucre, que s'associa (en part, gràcies a aquesta mateixa publicitat) amb malalties com la càries, la diabetis o l'obesitat.

Un dels àmbits que suposadament poden beneficiar-se del consum de fructosa és el de l'exercici físic, i més concretament l'exercici de llarga durada. Des que als anys 60 es va demostrar que el rendiment en proves llargues (entre 1 i 4 hores de durada) amb un elevat consum d'oxigen (entre el 60% i el 90% del consum màxim) depenia fonamentalment del contingut de glicogen dels músculs utilitzats, són nombroses les investigacions destinades a conèixer, d'una banda, com poder augmentar els dipòsits musculars de glicogen i, d'altra banda, com poder posposar el buidatge en el transcurs de la competició.

Els peculiars efectes que té el consum de fructosa sobre les concentracions plasmàtiques de glucosa i d'àcids grassos ha despertat l'interès per conèixer els possibles avantatges de la seva

**Taula I** Frequència amb què s'ha observat malabsorció en persones adultes sanes. Près de Riby JE, i al.<sup>13</sup>

| Estudi del tipus de carbohidrat | Dosi i volum ingerit    | % de subjectes amb malabsorció |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| <b>• Truswell i al. (1988)</b>  |                         |                                |
| Fructosa .....                  | 50g/500ml .....         | 58                             |
|                                 | 25g/250ml .....         | 19                             |
| Glucosa .....                   | 50g/500ml .....         | 0                              |
| Fructosa + glucosa.....         | 25g + 25g/250ml .....   | 0                              |
| Sacarosa .....                  | 50g/500ml .....         | 0                              |
| <b>• Rumessen i al. (1986)</b>  |                         |                                |
| Fructosa .....                  | 50g/500ml .....         | 80                             |
|                                 | 37.5g/370ml .....       | 70                             |
|                                 | 25g/250ml .....         | 50                             |
|                                 | 20g/200ml .....         | 40                             |
|                                 | 12.5g/250ml .....       | 10                             |
| Fructosa + glucosa.....         | 50g + 50g/500ml .....   | 0                              |
|                                 | 50g + 25g/500ml .....   | 30                             |
|                                 | 50g + 12.5g/500ml ..... | 70                             |
| Sacarosa .....                  | 100g/500ml .....        | 0                              |

**Quadre 1**

Mecanismes de transport a través de la membrana cel·lular. Adaptat de Guyton AC. *Tratado de fisiología médica*. McGraw-Hill - Interamericana de España. Madrid, 1992. Páginas 40-53.

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>DIFUSIÓ:</b>         | Mitjançant un gradient de concentració. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Simple:</i> A través d'un canal proteic o d'intersticis de la capa lipídica.</li> <li>• <i>Facilitada:</i> El flux és possible gràcies a l'acció d'una proteïna transportadora.</li> </ul>  |
| <b>TRANSPORT ACTIU:</b> | Contra un gradient de concentració. És necessària la participació d'una proteïna transportadora. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Primari:</i> L'energia necessària per al transport la proporciona l'ATP o una altra molècula amb fosfat d'alta energia.</li> <li>• <i>Secundari:</i> L'energia la proporciona un gradient de concentració d'una altra substància que ha estat creat prèviament per transport actiu.</li> </ul> |

utilització com a font d'energia en els esforços prolongats.

### ABSORCIÓ I METABOLISME DE LA FRUCTOSA I DE LA GLUCOSA

No coneixem amb certesa quin dels diferents mecanismes que fa possible el transport a través de la membrana cel·lular (quadre 1) és el que usem per absorbir la fructosa. Sabem, això sí, que s'absorbeix més ràpidament que les substàncies que traspassen la barrera intestinal per difusió passiva, com el manitol, però més lentament que les que usen transport actiu, com la glucosa. També sabem que la fructosa s'absorbeix amb dificultat si no és en presència de glucosa (taula 1), encara

que desconeixem si el mecanisme mitjançant el qual s'absorbeix la fructosa pura és el mateix que permet la seva absorció en presència de glucosa. D'altra banda, diferents estudis posen de manifest l'existència d'un transportador específic per a la fructosa a la membrana proper al raspall de l'enteròcit, que han suggerit que aquest transportador podria ser l'anomenat GLUT5, un transportador isomorf de la glucosa que no necessita el cotransport del sodi<sup>8</sup>. El transportador podria ser també l'enzim disacaridasa o necessitar-la per fer la seva funció.<sup>13</sup>

Entre el 10 i el 30% de la fructosa que absorbeix l'enteròcit es transforma "in situ" en glucosa, lactat o alanina

(figura 1), mentre que el 70%-90% de la fructosa restant és transportada cap al fetge on és fosforilada. En canvi, s'ha pogut comprovar l'increment de la concentració plasmàtica de fructosa després de la ingestió d'una dosi elevada d'aquest sucre, cosa que demostra que una petita fracció de la fructosa ingerida s'escapa de la fosforilació hepàtica<sup>3,11</sup> (figura 5). Un cop a la sang, les cèl·lules de l'organisme capten sense dificultat la fructosa.

Al fetge, la fructosa és fosforilada i dona fructosa-1-fosfat (figura 2). A continuació pateix una ruptura aldòlica que genera D-gliceraldehid i fosfat dihidroxiacetona. La posterior fosforilació del gliceraldehid permet que els productes de la fructosa s'integrin al metabolisme de la glucosa, ja sigui seguint una ruta gluconeogènica que pot finalitzar amb la síntesi de glicogen. (Quan predomina una utilització glucolítica de la fructosa, per exemple quan els dipòsits de glicogen estan plens, es generen dos metabolits, acetil-coenzima A i glicerol-3-fosfat, que són precursors dels triglicèrids).

De la mateixa manera que la fructosa, la glucosa absorbida va cap al fetge i des d'allà cap a la resta de les cèl·lules de l'organisme, que fan servir un mecanisme per absorbir la glucosa bastant diferent del que té lloc a l'intestí. En els enteròcits, la glucosa travessa la membrana gràcies a un cotransport actiu glucosa-sodi (transport actiu secundari) pel qual la proteïna encarregada de transportar la glucosa ho fa amb un catió de sodi i contra un gradient de concentració (quadre 1). En quasi totes les altres cèl·lules, la glucosa travessa la membrana per difusió facilitada, des d'allà on la concentració és més elevada fins allà on la concentració de glucosa és menor. Quan la insulina activa la proteïna encarregada de transportar la glucosa, s'aconsegueix multiplicar qua-

**Figura 1** Absorció i rutes metabòliques de la fructosa

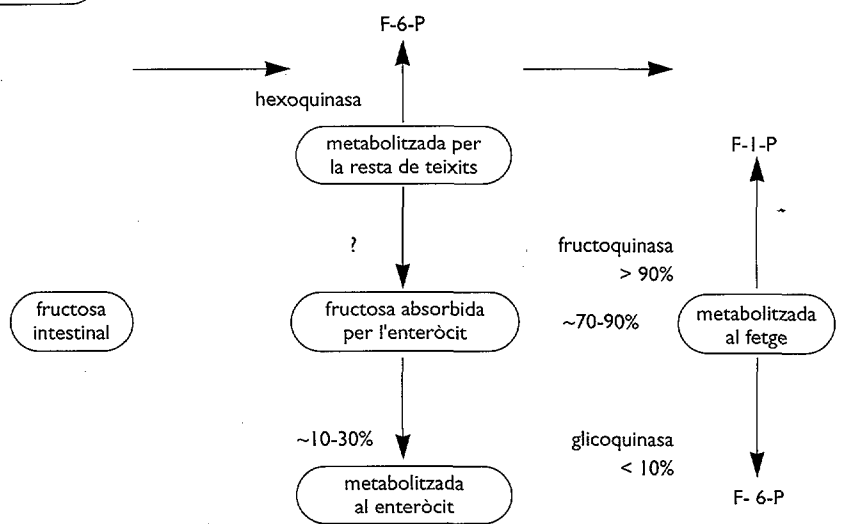
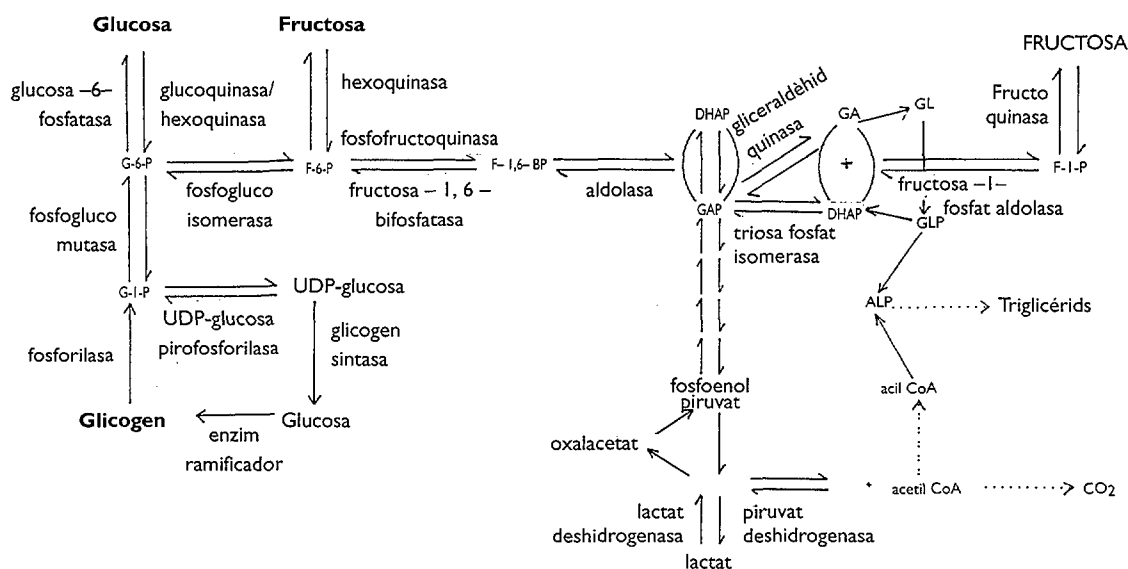


Figura 2

Esquema general de la glicòlisi i de la síntesi de glicogen tant al múscul com al fetge d'un persona, a partir de la glucosa i de la fructosa. Elaborat a partir de Voet D y Voet JG. *Bioquímica*. Editorial Omega, S.A., Barcelona, 1992. Pàgines 459,487-489, 608, 682 y 688.

A la figura:

|                              |                                |                            |                       |
|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| ALP àcid lisofosfatídic      | F-6-P fructosa-6-fosfat        | G-6-P glucosa-6-fosfat     | G glicerol            |
| DHAP dihidroxiacetona fosfat | F-1,6-BP fructosa-1,6 bifosfat | GA gliceraldehid           | GLP glicerol-3-fosfat |
| F-1-P fructosa-1-fosfat      | G-1-P glucosa-1-fosfat         | GAP gliceraldehid-3-fosfat | UDP uridina difosfat  |



si per vent la permeabilitat de la membrana cel·lular. Tanmateix, algunes cèl·lules no necessiten la insulina per captar glucosa perquè són permeables a aquesta molècula, com passa amb les cèl·lules cerebrals i les hepàtiques. Un altre teixit que manifesta un comportament diferenciat en relació a la glucosa és el muscular. D'aquesta manera, quan està en repòs el transport de quantitats apreciables de glucosa a l'interior de la cèl·lula només és possible si la membrana cel·lular és activada per la insulina. En canvi, quan el múscul està en exercici, la membrana cel·lular es torna enormement permeable a la glucosa de tal manera que les necessitats d'insulina són petites (això explica que el principal combustible del múscul en repòs siguin els àcids grassos).

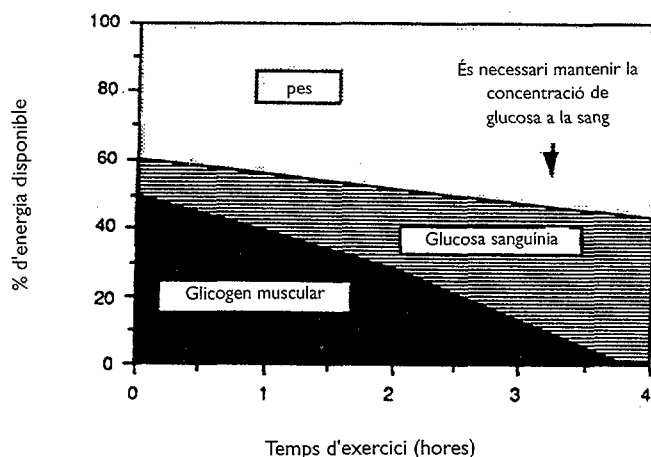
### LA GLUCOSA I LA FRUCTOSA COM A SUBSTRATS ENERGÈTICS DEL MÚSCUL

L'ús dels diferents substrats energètics per part del múscul actiu depèn de la intensitat i de la durada de l'exercici. Pel que fa a la intensitat, es mesura com a tant per cent del consum màxim d'oxigen de la persona en qüestió ( $VO_2$  max), de tal manera que els esforços en què el consum d'oxigen oscil·la al voltant del 30%-40% del  $VO_2$  max es consideren esforços de baixa intensitat; els esforços mitjos involucren el 50%-70% del  $VO_2$  max i els esforços intensos són els que comporten un consum d'oxigen superior al 70% del  $VO_2$  max. Pel que fa a la duració de l'exercici, qualsevol esforç que es prolongui més enllà d'una hora es consi-

dera un exercici de llarga durada. De fet, la majoria dels experiments que estudien els beneficis del consum de fructosa en relació a l'exercici fan servir protocols en els quals es consumeix fructosa, glucosa o un placebo una hora abans d'un esforç que duri entre 30 i 120 minuts amb una intensitat entre el 55 i el 75% del  $VO_2$  max.<sup>6</sup>

Durant les primeres etapes d'un esforç intens es produeix un descens dels dipòsits musculars de glicogen (recordeu que amb prou feines arriba als 350g per tota la massa muscular) cosa que obliga al múscul a captar glucosa del torrent sanguini. Aquesta glucosa és reemplaçada pel fetge, que l'obté mitjançant dos processos: la glicogenòlisi dels seus dipòsits de glicogen (que normalment són d'uns 100g) i la

**Figura 3** Fonts d'energia durant un esforç prolongat i intens (70% del VO<sub>2</sub> max) durant el qual s'han ingerit carbohidrats. La glucosa sanguínia del període final de l'exercici procediria fonamentalment de la digestió dels carbohidrats i en menys quantitat de la gluconeogènesi realitzada pel fetge. Près de Coyle EF (1).



gluconeogènesi de glucosa a partir d'altres substrats. A partir d'aquest moment, si l'exercici es prolonga, el fetge és incapaç d'aportar tota la glucosa que el múscul necessita, i el múscul es veu forçat a fer servir els àcids grassos com a substrat energètic majoritari (figura 3). En aquests moments, l'ús de determinats carbohidrats com a ajuda dietètica pot ser útil.

Com ja hem vist en punt anterior, el 70-90% de la fructosa que arriba a l'interior de l'enteròcit va a parar al fetge on ràpidament és fosforilada per ser transformada posteriorment en glucosa i finalment en glicogen, segons sigui la situació dels dipòsits hepàtics d'aquest polisacàrid. Això explica que el consum de fructosa no produeixi canvis significatius de les concentracions plasmàtiques d'insulina i de glucosa. Una altra conseqüència del metabolisme particular de la fructosa és que, contràriament a la glucosa, no sigui utilitzada directament pel múscul com a font d'energia.<sup>2</sup> Existeixen dos motius per fer que això sigui així:<sup>11</sup> primer, perquè el múscul no té fructoquinasa;

segon, perquè la concentració de fructosa en el teixit muscular és massa petita per poder competir amb la glucosa per l'enzim hexoquinasa que necessita per la seva fosforilació, un enzim que, a més mostra una afinitat deu vegades major per la glucosa que per la fructosa.

#### EFFECTES DEL CONSUM DE FRUCTOSA SOBRE EL RENDIMENT EN ESFORÇOS DE LLARGA DURADA

L'estudi en els efectes del consum de fructosa en comparació amb el consum de glucosa o d'un placebo, s'ha dut a terme realitzant aquest consum abans, durant i després de l'esforç.

##### a) Abans de l'exercici

El consum d'hidrats de carboni complexos (amb un índex glicèmic baix) una hora abans d'un esforç de llarga durada ha demostrat ser eficaç en la tasca de millorar el rendiment físic. Això és degut a la generació d'una relativament baixa concentració sanguínia de glucosa, insulina i lactat en comparació amb altres carbohidrats

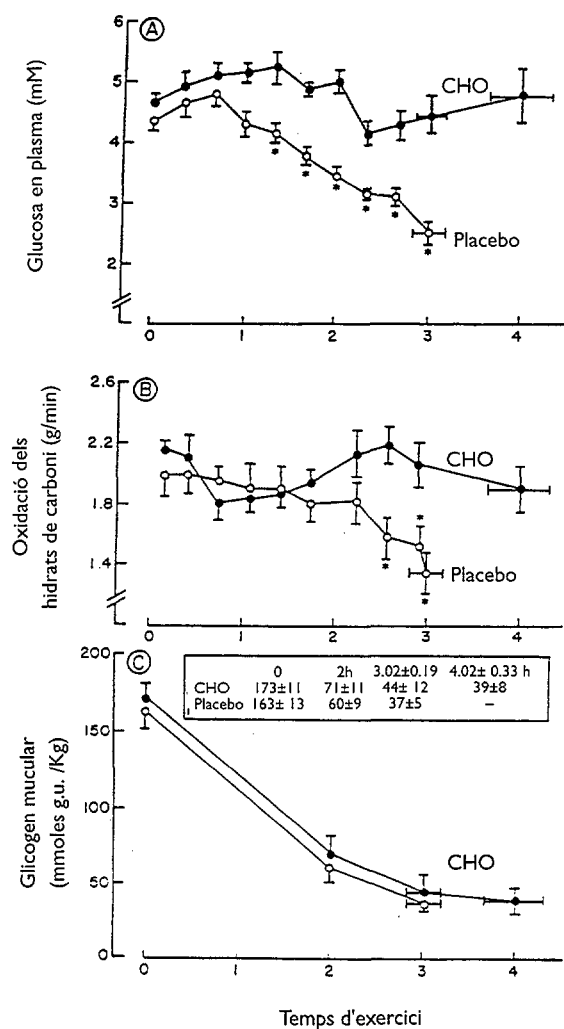
d'absorció més ràpida i a la persistència d'una relativament alta concentració sanguínia de glucosa i àcids grassos lliures en els darrers estadis de l'exercici.<sup>14</sup> Aquests mateixos avantatges són els que s'atribueixen a la fructosa en comparació amb la glucosa. Vegem què hi ha de cert en tot això.

Un dels primers treballs en els quals es va comprovar l'efecte euglucèmic de la fructosa durant l'exercici va ser fet per Koivisto i el seu equip.<sup>7</sup> Aquest investigador va sotmetre a homes entrenats a tres sessions d'exercici separades una setmana l'una de l'altra. Després d'una nit de dejuni, els participants feien un exercici que consistia a pedalejar durant trenta minuts sobre un cicloergòmetre a un 75% del VO<sub>2</sub> max. Quaranta-cinc minuts abans de l'inici de la prova, els participants en l'estudi ingerien una beguda amb 75g de glucosa, fructosa o placebo (sacarina). La concentració plasmàtica de glucosa, que amb anterioritat al consum era de 3.9 mol/L, va passar a ser, a l'inici de l'exercici, de 5.3, i va baixar fins als 2.5 a l'hora d'acabar l'exercici. Quan el que es va ingerir va ser fructosa, la glucèmia, que inicialment era de 4.0 mmol/L, va pujar fins a 4.5 a l'inici de l'exercici i va baixar ràpidament fins a 3.9, valor en qual es va mantenir fins que l'exercici es va acabar. El consum de placebo no va significar cap modificació de la glucèmia.

Si d'altres treballs posteriors han permès de confirmar l'existència de diferències significatives en l'evolució dels índexs sanguinis de glucosa i d'insulina al llarg d'un esforç després d'haver ingerit glucosa o fructosa, no ha passat el mateix amb l'evolució dels dipòsits musculars de glicogen i amb la millora del rendiment físic. Els resultats en torn a aquests dos paràmetres són contradictoris. En un treball posterior dut a terme per Levine<sup>9</sup> amb un proto-

col similar al que va seguir Koivisto, però introduint unes condicions que garantissin la saturació dels dipòsits musculars de glicogen (consum d'una dieta amb un 70% de carbohidrats durant els tres dies previs a cada sessió i un petit àpat quatre hores abans de l'inici de l'exercici), el glicogen muscular va disminuir al finalitzar l'exercici en un 20% quan prèviament s'havia ingerit glucosa, mentre que el descens va ser només d'un 9% després de la ingestió de fructosa. Décombaz,<sup>3</sup> per exemple, en un estudi en el qual, després d'una nit en dejuni, 10 ciclistes entrenats van consumir 70 g de fructosa o glucosa (1g per quilogram de pes corporal) una hora abans de l'inici d'un exercici que consistia en pedalejar 45 minuts a un 61% del VO<sub>2</sub> max seguits de 15 minuts d'esforç màxim, no es va observar cap diferència en la depleció del glicogen muscular després del consum de glucosa o de fructosa (en ambdós casos va ser del 90% del que existia a l'inici de l'exercici). Tampoc no es va observar cap diferència en el rendiment físic. Per acabar, citarem el treball d'Okano<sup>12</sup> amb dotze homes que havien esmorzat (620 kcal) i dinat (1200 kcal). Tres hores després d'haver dinat van ingerir 85 o 60 g de fructosa. Una hora després van fer 120 minuts d'exercici a una intensitat creixent entre el 62% i el 80% del VO<sub>2</sub> max. Els resultats van coincidir amb els dels altres investigadors ja que no es va observar hipoglucèmia ni disminució de l'oxidació d'àcids grassos, però van ser discordants en la mesura en que sí que es va observar una diferència significativa en el rendiment físic dels participants, segons si havien ingerit prèviament glucosa o fructosa, a favor de la fructosa. La millora en el rendiment físic va dependre de la dosi de fructosa consumida. No es va investigar l'evolució dels dipòsits de glicogen muscular.

**Figura 4** Respostes durant un exercici en cicloergòmetre d'una intensitat del 74% del VO<sub>2</sub> max durant el qual es van ingerir carbohidrats o placebo cada 20 minuts. La figura C posa de manifest que el consum de carbohidrats (CHO) durant l'exercici va prolongar una hora més l'esforç. Tanmateix, el retard en l'aparició de la fatiga no va ser deguda a un estalvi de glicogen muscular, ja que el seu nivell, al cap de tres hores d'esforç, no va ser diferent pel fet d'haver consumit hidrats de carboni o placebo. Près de Coyle EF<sup>1</sup>

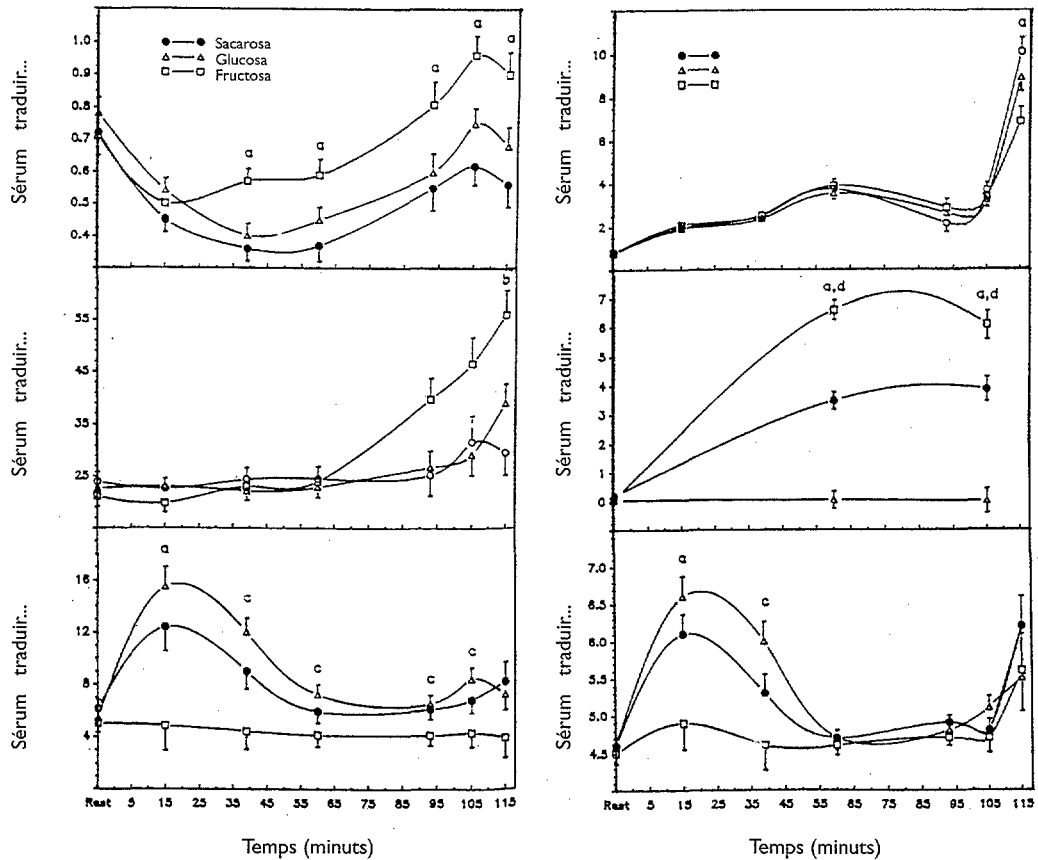


Crida l'atenció que els pocs casos en els que es va observar un estalvi del glicogen muscular van coincidir amb protocols segons els quals els participants en l'estudi realitzaven l'exercici amb els dipòsits musculars de glicogen prèviament plens i unes hores després d'un dinar abundant que probablement també acabava d'omplir el fetge de glicogen. En aquest sentit, s'ha suggerit<sup>2,12</sup> que els possibles efectes de la fructosa depen-

drien de l'alimentació prèvia de la persona: una alimentació rica en carbohidrats permetria desviar la fructosa ingerida cap a la producció de glucosa que seria usada pel múscul amb el consegüent estalvi del seu glicogen, mentre que la fructosa ingerida, per exemple per una persona en dejú, seria usada pel fetge per produir glicogen. Una altra explicació que s'ha donat<sup>2</sup> es basa en el fet que, quan es tracta de persones que no

Figura 5

Valors plasmàtics mitjans d'àcids grassos lliures, insulina, glucosa i fructosa durant 120 minuts d'esforç coincidint amb el consum de sacarosa (\*), glucosa (·) o fructosa (□). Als gràfics, a= diferència significativa de la glucosa i la sacarosa respecte la fructosa; b= diferència significativa de la sacarosa respecte la fructosa; c= diferència significativa de la glucosa respecte la fructosa; d= diferència significativa de la sacarosa respecte la glucosa. En tots els casos  $P < 0.05$ . Près de Murray R i al.<sup>11</sup>



estan en dejú, el manteniment de la glucèmia que es produeix després del consum de fructosa coincideix amb una major utilització dels àcids grassos com a combustible del que es produeix després del consum de glucosa.

En resum podem dir que:<sup>6</sup>

1. L'administració de fructosa abans de l'exercici estimula la concentració plasmàtica de glucosa i d'insulina molt menys que l'administració de glucosa i de manera similar al placebo. El descens de la glucèmia durant l'exercici després de la ingestió de fructosa és menor que el produït després de la ingestió de glucosa i similar al produït pel placebo.
2. Els nivells plasmàtics de lactat du-

rant l'exercici són més elevats després de l'administració de fructosa que després de l'administració de glucosa o de placebo, però només de manera transitòria.

3. Els nivells d'àcids grassos lliures baixen un 40-50% després de la ingestió de glucosa o fructosa i es mantenen durant l'exercici un 30-40% per sota dels nivells observats després de l'administració de placebo.
4. No s'aprecien diferències en el rendiment físic (per exemple, en el temps fins l'extenuació) després del consum de fructosa, glucosa o placebo.
5. No es pot afirmar que el consum previ de fructosa permeti un estalvi del glicogen muscular. Més aviat es pot afirmar que ni la fructosa ni la

glucosa sembla que evitin el descens d'aquests dipòsits de glicogen durant l'exercici.

## b) Durant l'exercici

Sabem que el consum de glucosa durant els esforços de llarga durada endarrerix de 30 a 60 minuts l'esgotament gràcies al manteniment d'una glucèmia més o menys constant que permet al múscul disposar de quantitats adequades de glucosa com a energia un cop el glicogen muscular ha arribat a uns valors mínims (figura 4). En canvi, el consum de grans quantitats de glucosa durant l'exercici porta a un increment de l'alliberament d'insulina que acaba reduint de manera dràstica la glucosa sanguínia i inhibint la lipòlisi i l'o-

xidació d'àcids grassos. La conseqüència és que el múscul ha d'agafar les possibles reserves de glicogen endogen, cosa que sembla ser que limita el rendiment físic en els últims estadis de l'exercici. Aquest seguit d'esdeveniments és el que tracta d'evitar-se amb el consum de fructosa, ja que se suposa que al reduir considerablement la resposta insulínica, s'afavorirà la utilització de les grasses com a combustible i permetrà el consegüent estalvi de glicogen muscular. És això el que passa a la pràctica?

Massicotte<sup>10</sup> va comparar l'efecte que produïa el consum de glucosa, de fructosa, d'un polímer de glucosa o d'un placebo (aigua) sobre el rendiment de sis homes entrenats. Els experiments es van fer en un espai de set dies entre cada un d'ells i es van dur a terme després d'una nit de dejú, però després de consumir un esmorzar lleuger (395 kcal a base d'un 15% de proteïnes, un 34% de greixos i un 50% de carbohidrats). L'exercici va consistir en pedalejar sobre un cicloergòmetre a un 53% del VO<sub>2</sub> max de cada persona durant 120 minuts. Els participants en l'estudi van rebre durant l'esforç 1.33 g per kg de pes corporal de fructosa, glucosa, polímer de glucosa o placebo (aigua), segons la sessió, en forma de dissolució del 7% que va ser ingerida fraccionada en sis preses d'una mitjana de 235 ml, una cada 20 minuts. Tots els carbohidrats consumits durant l'exercici eren isotòpicament marcats amb C<sup>13</sup>. Els investigadors van concloure que la fructosa subministrada durant l'exercici era un substrat energètic pitjor pel múscul que la glucosa, simple o polimeritzada, cosa que van explicar a causa de la lenta conversió de la fructosa en glucosa al fetge. La conseqüència va ser un consum més elevat de carbohidrats d'origen endogen, si bé el protocol no va permetre de discernir-ne l'origen hepàtic o muscular. La ingestió de glucosa o de fructosa

no va ocasionar diferències significatives en l'ús de greix com a combustible durant l'exercici. Tampoc no va influir en els índex sanguinis de glucosa i d'àcids grassos lliures a què es va arribar al finalitzar els 120 minuts d'exercici. El consum de fructosa tampoc no va suposar cap millora en el rendiment físic respecte al consum de glucosa o de sacarosa pels nou homes i sis dones que van participar en l'estudi dut a terme per Murray.<sup>11</sup> En aquest cas l'exercici va consistir en un esforç intermitent pel que fa a la durada (115 minuts en total) i la intensitat (entre el 65 i el 80% del VO<sub>2</sub> max amb breus períodes de descans) sobre un clicloergòmetre. En cada una de les tres sessions, els participants ingerien de manera fraccionada 1,27 litres d'una dissolució que contenia 76.3 g de carbohidrat (un 6% de fructosa, glucosa o sacarosa).

Les respostes fisiològiques i el rendiment físic després de la ingestió de glucosa i sacarosa van ser similars entre si, però diferents de les ocasionades per la fructosa, sobretot si les comparem amb la glucosa (figura 5). En concret, el consum de fructosa durant la sessió va provocar una major sensació de fatiga, un menor rendiment físic al tram final de la prova i un increment de les molèsties gàstriques, encara que en aquest cas els participants no van considerar que les molèsties gàstriques fossin l'origen del descens en el rendiment físic. Les molèsties gàstriques són una cosa a tenir molt en compte no només per l'heterogeneïtat amb què la malabsorció de fructosa es presenta entre les persones (taula 1), sinó perquè el propi exercici, al reduir el temps de trànsit intestinal, pot contribuir a l'absorció incompleta de la fructosa.<sup>4</sup>

L'increment notable de la concentració plasmàtica d'àcids grassos lliures que es va observar durant tota la prova en què es va produir el consum de

fructosa (figura 5) hauria d'haver dut, en teoria, a un estalvi de la glucosa endògena i a una millora del rendiment físic. Que això no fos així es podria explicar, en part, per una utilització insuficient dels àcids grassos com a combustible muscular, tal com van posar de manifest les dades relatives a la variació del coeficient respiratori durant les tres proves. Segons Murray i els seus col·laboradors, és probable que l'escassa utilització dels àcids grassos com a font d'energia tingüés origen en un increment insuficient de la seva concentració plasmàtica.

Una revisió dels treballs que han estudiat els efectes del consum de fructosa durant l'esforç sobre el propi esforç han permès d'arribar a les conclusions següents:<sup>6</sup>

1. La concentració de glucosa plasmàtica durant l'exercici pot mantenir-se pràcticament constant mitjançant el consum de quantitats equivalents de glucosa i de fructosa.
2. Els nivells sanguinis de lactat es dupliquen o tripliquen durant l'esforç, però són idèntics per la glucosa, la fructosa o el placebo (aigua). L'increment del glicerol és superior amb la glucosa que amb la fructosa o el placebo. L'increment dels àcids grassos lliures és menor amb la glucosa, intermedi amb la fructosa i més elevat amb el placebo.
3. Durant l'exercici intens, la fructosa és menys disponible que la glucosa per a l'oxidació. El greix és oxidat amb una facilitat igual o superior durant el consum de glucosa que durant el de fructosa. En ambdues situacions s'oxida pitjor que quan es consumeix placebo.
4. L'estalvi de glicogen muscular durant l'exercici és igual o major amb el consum de glucosa que amb el consum de fructosa o de placebo.

5. El temps d'exercici fins a l'esgotament és major si es consumeix glucosa que si es consumeix fructosa o placebo. No hi ha diferència entre el temps d'esgotament quan es consumeix fructosa o placebo.

Cal remarcar el fet que sovint l'augment del rendiment físic com a conseqüència del consum de carbohidrats abans i/o durant l'exercici de llarga durada es produeix sense estalvi de glicogen muscular, això reforça la hipòtesi que l'alimentació glucídica pot augmentar la capacitat de rendiment influïent en el processos perceptius de la fatiga a nivell del sistema nerviós central.<sup>5</sup> D'altra banda, la constatació que la prolongació de l'esforç és sempre limitada en el temps, fins i tot quan es garanteix la persistència d'una glucèmia adequada, posa de manifest l'existència d'uns processos en el desencadenament de la fatiga que encara desconeixem.

### c) Després de l'exercici

Quan s'acabat l'exercici, l'interès rau en aconseguir que els dipòsits muscular i hepàtic s'omplin amb la major quantitat possible de glicogen. En moltes ocasions és necessari que aquest procés de recuperació de reserves es produeixi en el menor temps possible, tal i com passa als atletes que s'entrenen diàriament o als que participen en competicions per etapes durant diversos dies o setmanes. Les dades de què disposem ens permeten afirmar que és possible omplir els dipòsits musculars de glicogen en només 24 hores si s'ingereix una gran quantitat de carbohidrats (d'1.5 a 2 g per kg de pes corporal), senzills o complexes, immediatament després de finalitzar l'esforç (15-30 minuts).<sup>15</sup>

Pel que fa a la fructosa, existeix poca informació sobre l'efecte del seu consum posterior a l'exercici en la re-

cuperació dels dipòsits endògens de glicogen. Aquesta informació és, a més el resultat d'experiments realitzats amb rates i no amb persones. La conclusió general és que no s'observa cap diferència en els efectes produïts pel consum de glucosa o de fructosa.

### CONCLUSIÓ

El consum de carbohidrats complexos abans d'un esforç físic intens i prolongat o de carbohidrats simples durant aquest esforç contribueix a posposar l'aparició de la fatiga, encara desconeixem mitjançant quins mecanismes. Consumir fructosa abans o durant l'esforç no representa cap avantatge sobre el consum de glucosa en la consecució d'un major rendiment físic. Ingerir grans quantitats de fructosa pura pot comportar molèsties gastrointestinals que contribueixen a limitar el rendiment físic.

### Bibliografia

1. COYLE EF. Carbohydrate feeding during exercise. *Int J Sports Med.* 13: S126-S128, 1992.
2. CRAIG BW. The influence of fructose feeding on physical performance. *Am J Clin Nutr* 58 (suppl): 815S-819S, 1993.
3. DÉCOMBAZ J, SARTORI D, ARNAUD M-J, THÉLIN A-L S-HÜRCH P, HOWALD H. Oxidation and metabolic effects of fructose or glucose ingested before exercise. *Int J Sports Med.* 6 (5):282-286, 1985.
4. FUJISAWA T, MULLIGAN K, WADA L, SCHUMACHER L, RIBY J, KRETCHMER N. The effect of exercise on fructose absorption. *Am J Clin Nutr* 58: 75-79, 1993.
5. GUÉZENNEC CY, PORTERO P, SEYFRIED D, SATABIN P. La nutrition glucidique avant et pendant l'exercice physique. *Science et Motricité* (5): 39-46, 1988.
6. HENRY RR, CRAPO PA. Current issues in fructose metabolism. *Annu Rev Nutr.* 11:21-39, 1991.
7. KOIVISTO V, KARONEN S, NIKKILA EA. Carbohydrate ingestion before exercise: comparison of glucose, fructose and sweet placebo. *J Appl Physiol.* 51: 783-787, 1981.
8. LEVINE RJ. Digestion and absorption of carbohydrates from molecules and membranes to humans. *Am J Clin Nutr* 59 (suppl): 690S-698S, 1994.
9. LEVINE L, EVANS WJ, CADARETTE BS, FISHER EC, BULLEN BA. Fructose and glucose ingestion and muscle glycogen use during submaximal exercise. *J Appl Physiol* 55: 1767-1771, 1983.
10. MASSICOTTE D, PÉRONNET F, BRISSON G, BAKKOUCH K, HILLAIRES-MARCEL C. Oxidation of a glucose polymer during exercise: comparison with glucose and fructose. *J Appl Physiol* 66 (1): 179-183, 1989.
11. MURRAY R, PAUL GR, SEIFER JG, EDDY DE, HALABY GA. The effects of glucose, fructose and sucrose ingestion during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 21 (3): 275-282, 1989.
12. OKANO G, TAKEDA H, MORITA I, KATOH M, MU Z, MIYAKE S. Effect of pre-exercise fructose ingestion on endurance performance in fed men. *Med Sci Sports Exerc* 20 (2): 105-109, 1988.
13. RIBY JE, FUJISAWA T, KRETCHMER N. Fructose absorption. *Am J Clin Nutr* 58 (suppl): 748S-753S, 1993.
14. THOMAS DE, BROTHERHOOD JR, BRAND MILLER JC. Carbohydrate feeding before exercise and the glycemic index. *Am J Clin Nutr* 59 (suppl): 791S, 1993.
15. WHEELER KB. L'importance des glucides pour la nutrition sportive. *Science du Sport* 10 (4), 1990.