



Universidad de Granada

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL
DEPORTE

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

TÍTULO DE LA TESIS:

Efectos de la ingesta de bebidas con hidratos de carbono y proteínas sobre la recuperación del esfuerzo y el rendimiento mecánico en una prueba de resistencia en ciclismo contrarreloj

AUTORA:

ROSARIO PADIAL RUZ

DIRECTORES:

**DR. D. FRANCISCO JAVIER ROJAS RUIZ
DRA. D^a. M^a DEL MAR CEPERO GONZÁLEZ
DR. ARJAN GEERLINGS**

GRANADA 2010

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Rosario Padial Ruz
D.L.: GR 2544-2011
ISBN: 978-84-694-0960-2

Dr. Francisco Javier Rojas Ruiz, Profesor Titular del Departamento de Educación Física y Deportiva, *Dra. Mar Cepero González* Profesora Titular del Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal de la Universidad de Granada y *Dr. Arjan Geerlings*, Investigador de Puleva Biotech S.A.. Directores de la Tesis Doctoral **“Efectos de la ingesta de bebidas con hidratos de carbono y proteínas sobre la recuperación del esfuerzo y el rendimiento mecánico en una prueba de resistencia en ciclismo contrarreloj”** de la que es autora *Rosario Padial Ruz*.

AUTORIZAN la presentación de la referida Tesis Doctoral para su lectura y mantenimiento de acuerdo con lo previsto en el Real Decreto 56/2005 de 21 de Enero

Granada 8 Noviembre 2010

Fdo. F.Javier Rojas Ruiz Fdo. Mar Cepero González Fdo. Arjan Geerlings

AGRADECIMIENTOS.

Al equipo directivo de la Escuela Diocesana de Magisterio “la Inmaculada”, mi escuela, por el apoyo que me han prestado, en especial a Carmen Rosales, por sus constantes palabras de apoyo y por los tantos abrazos de ánimo que durante este proceso has tenido para mí.

A todos los ciclistas que participaron en este estudio y a las empresas Puleva Biotech S.A. y DSM por su apoyo técnico y financiación, especialmente al equipo de investigación de Puleva Biotech S.A. que impulsó este estudio encabezado por Julio Boza, Arjan Geerlings, Eduardo López-Huertas y Juristo Fonollá.

A mi codirector Arjan Geerlings, por enlazar los intereses de las empresas DSM y Puleva Biotech S.M. que han participado en esta investigación y hacer posible la ejecución de esta tesis doctoral.

A mis directores Mar Cepero y Javier Rojas, por su profesionalidad, por sus enseñanzas y orientaciones, sin las que no habría sido posible la elaboración de este trabajo, pero sobre todo por ser amigos antes que directores, por su apoyo, su dedicación, su disposición y su tiempo.

A Juan Torres, por confiar en mí. Por compartir conmigo en este último año no solo su experiencia profesional, sino su experiencia de vida.

A mi compañero Luís Rodríguez, por compartir conmigo el café de todas las mañanas.

A Esther Puga, por su amistad, por estar siempre, en los buenos y en los malos momentos, GRACIAS!!

A mi madre, por su amor incondicional, por transmitirme el amor al deporte y tantas inquietudes profesionales que como tantas mujeres de su época no han pudieron llegar a realizar.

A mi hermana, por ejercer de hermana mayor, pese a ser la pequeña y preocuparse de mí en todo momento.

A mi hija Ana, por todo el tiempo de juego y de paseos al que le he privado durante este proceso.

A Ángela y Sofía, mis niñas mayores, por ocuparse de Anilla muchos fines de semana en los que yo he tenido que trabajar y ejercer a la perfección el papel de hermanas y en ocasiones de madre, OS QUIERO MUCHO!!

A Estani, por dedicarle a nuestra hija durante estos últimos meses todo el tiempo que yo no he podido dedicarle y tener con ella la paciencia que en muchas ocasiones a mi me ha faltado.

A mis amigos, que siempre han tenido una palabra de ánimo y de apoyo y que hoy están aquí acompañándome, pudiendo estar en cualquier otro sitio mejor.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| Introducción..... | 1 |
| 1.-Motivaciones | 5 |
| 2.- Estado del arte | 10 |
| 3.- Organización estructural de la investigación | 24 |

PRIMERA PARTE: MARCO CONCEPTUAL.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

CAPÍTULO 1. El Glucógeno, factor limitante en el rendimiento muscular. 29

| | |
|---|----|
| 1.1. Regulación de la Síntesis de Glucógeno muscular..... | 38 |
| 1.1.1. Transporte de Glucosa..... | 38 |
| 1.1.2. Conversión de Glucosa a Glucógeno..... | 46 |
| 1.2. Fases Rápida y Lenta de la Síntesis del Glucógeno..... | 51 |
| 1.2.1. Fase Rápida de la Síntesis del Glucógeno..... | 53 |
| 1.2.2. Fase Lenta de la Síntesis del Glucógeno..... | 58 |

CAPÍTULO 2. Estrategias nutricionales para la mejora del rendimiento y la recuperación: bebidas con carbohidratos.....61

| | |
|---|-----|
| 2.1. Temporalización en el Consumo de Carbohidratos (CHO)..... | 73 |
| 2.2. Cantidad de CHO..... | 79 |
| 2.3. Tipo de CHO Ingerido..... | 84 |
| 2.4. Forma de ingesta de CHO..... | 97 |
| 2.5. Factores Relacionados con la Síntesis del Glucógeno después del Ejercicio | 99 |
| 2.6. Limitaciones de la Síntesis del Glucógeno Muscular | 116 |

CAPÍTULO 3. Estrategias nutricionales para la mejora del rendimiento y la recuperación: bebidas con carbohidratos y/o aminoácidos y proteínas121

| | |
|--|-----|
| 3. 1. Tipos de Proteínas | 134 |
| 3.2. Cantidad de Proteína..... | 146 |
| 3.3. Tiempo de Ingesta de las Proteínas..... | 148 |
| 3.4. Mecanismos Fisiológicos de la Ingesta de CHO +PRO para la Mejora del rendimiento | 162 |
| 3.5. Efectos en la Recuperación de la Ingesta de Carbohidratos y Proteínas durante el Ejercicio | 169 |
| 3.5.1. Balance Proteico..... | 170 |
| 3.5.2. Daño Muscular y Posterior Rendimiento..... | 172 |

SEGUNDA PARTE:
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 4. Objetivos e hipótesis.....177

- 4.1. Objetivos de la investigación.....179
- 4.2. Hipótesis de la investigación.....181

CAPÍTULO 5. Material y métodos.....187

- 5.1. Participantes.....192
- 5.2. Procedimiento.....194
- 5.2.1. Fase 1: Medidas Preliminares.....194
- 5.2.2. Fase 2: Evaluación cardiorespiratorio (VO₂máx).....195
- 5.2.3. Fase 3: Diseño Experimental propiamente dicho.....197
- 5.3. Formulación de las bebidas.....203
- 5.4. Análisis estadístico.....204

CAPÍTULO 6. Resultados.....205

- 6.1. Rendimiento ciclista.....212
- 6.2. Parámetros sanguíneos.....215
- 6.2.1. Creatina quinasa, CK.....215
- 6.2.2. Insulina.....218
- 6.2.3. Glucosa sanguínea.....220

| | |
|--|------------|
| 6.2.4. Glucagón..... | 221 |
| 6.2.5. Ácido láctico..... | 223 |
| CAPÍTULO 7. Discusión de resultados..... | 225 |
| <hr/> | |
| 7.1. Rendimiento..... | 229 |
| 7.2. Protocolo: | 231 |
| 7.2.1. Protocolo de ejercicio..... | 231 |
| 7.2.2. Administración de la bebida. | 234 |
| 7.3. Composición de las bebidas. | 236 |
| 7.4. Parámetros sanguíneos y recuperación..... | 245 |
| <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; background-color: #f080f0; padding: 20px; margin: 20px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">TERCERA PARTE:</p> <p style="text-align: center;">CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE FUTURO</p> </div> | |
| CAPÍTULO 8. Conclusiones y líneas de investigación futuras..... | 255 |
| <hr/> | |
| 8.1. Conclusiones | 259 |
| 8.1.1. Rendimiento | 259 |
| 8.1.2. Protocolo de ejercicio | 259 |
| 8.1.3. Administración de la bebida | 260 |
| 8.1.4. Composición de las bebidas | 261 |
| 8.1.5. Parámetros sanguíneos y recuperación..... | 262 |
| 8.2. Perspectivas de futuro..... | 265 |

CAPÍTULO 9. Referencias Bibliográficas.269

INTRODUCCIÓN-JUSTIFICACIÓN

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN - JUSTIFICACIÓN

1.- Motivaciones.

2.- Justificación y estado del arte.

3.-Organización estructural de la investigación.

1.- MOTIVACIONES .

La presente investigación titulada "Efectos de la ingesta de bebidas con hidratos de carbono y proteínas sobre la recuperación del esfuerzo y el rendimiento mecánico en una prueba de resistencia en ciclismo contrarreloj" surge como consecuencia de una serie de intereses que pasamos a detallar a continuación y que recogemos de forma más concreta en la figura I.1.



Figura I.1. Motivaciones que han promovido la investigación.

En un principio, el fin principal de este estudio es diseñar, desarrollar y aplicar una bebida isotónica con un aporte nutricional capaz de dar respuesta a las necesidades fisiológicas de esfuerzo que demanda la actividad física, incrementando el rendimiento deportivo y disminuyendo el tiempo de recuperación del esfuerzo y la

fatiga y aportando beneficios a largo plazo en cuanto al anabolismo proteico muscular.

Por lo tanto, con esta investigación pretendemos dar una respuesta a la demanda deportiva y social de las necesidades nutricionales que deben acompañar a la práctica de actividad física, desde la iniciación deportiva y la actividad física recreativa hasta el alto rendimiento deportivo.

Esta premisa de demanda deportiva y social se muestra como el objetivo fundamental de nuestro proyecto, desglosado en fines parciales como son, por un lado el diseño y creación de una bebida energética isotónica basada en un aporte nutricional proteico, probando directamente sus efectos sobre las variables que determinan el rendimiento deportivo y la fatiga producida por la actividad física, en una muestra de deportistas que realizan ejercicio de resistencia (ciclistas), con unos requerimientos energéticos concretos.

Este estudio de la evolución del rendimiento deportivo y la fatiga producida por la actividad física se realizará desde diferentes perspectivas científicas. En primer lugar, desde el punto de vista fisiológico, en segundo lugar, desde el punto de vista biomecánico, valorando el rendimiento deportivo.

Por otro lado, el interés del proyecto surge como consecuencia de que la práctica de actividad física y deportiva ha estado estrechamente ligada a la ingesta de suplementos nutricionales no sólo con el objetivo de incrementar el rendimiento deportivo y de disminuir los efectos de la fatiga, sino de incrementar la sensación de

bienestar antes, durante y después del ejercicio, disminuir los riesgos de la lesión deportiva e incrementar la salud general de la persona que realiza actividad física. Esta demanda deportiva (incremento del rendimiento) y social (mejora de la salud y estado de bienestar) ha llevado al auge actual del desarrollo de estos suplementos nutricionales por parte de fisiólogos y bioquímicos con el objeto de dar respuesta a las necesidades deportivas y sociales mencionadas anteriormente.

Las ayudas nutricionales ergogénicas han sido clasificadas en relación a su función fisiológica en cuatro categorías (Williams, 1995):

- Sustancias que incrementan la respuesta anabólica del organismo y mejoran la composición corporal a largo medio y largo plazo (p.e. Suplementos nutricionales basados en aminoácidos).

- Sustancias que proporcionan energía de manera inmediata (p.e. Bebidas ricas en carbohidratos).

- Sustancias que intervienen de forma crítica en el ejercicio físico (p.e. Suplementos nutricionales basados en vitaminas o bicarbonato).

- Sustancias que facilitan la recuperación del ejercicio (p.e. Suplementos nutricionales basados en antioxidantes).

La demanda de nuevas ayudas ergogénicas nos llevaría hasta la tercera motivación que nos ha llevado a desarrollar esta investigación. Una motivación industrial, que pretende dar respuesta a la demanda social que ya hemos mencionado.

Los motivos mencionados anteriormente (el interés social y la demanda de nuevas ayudas ergogénicas) han sido los que nos ha llevado a plantearnos la elaboración de una bebida que incida sobre estas cuatro funciones fisiológicas claves que las ayudas nutricionales ergogénicas pueden aportar al incremento del rendimiento deportivo y a la disminución de la fatiga durante y después del ejercicio.

Hay numerosas bebidas isotónicas en el mercado (por ejemplo Aquarius, Gatorade, Isostar, etc.) que ayudan al deportista a hidratarse (tabla I.1). Todas estas bebidas aportan hidratos de carbono (sacarosa en la mayoría de los casos) y minerales, dos elementos que ayudan a recuperar los niveles perdidos durante el ejercicio (Villegas, Martínez, Pérez, Abellán, Vidal, Alemán, Daoud, (2001).

Tabla I.1. Composición de las bebidas energética existentes en el mercado, adaptado de Villegas et al., (2001).

| Bebida: (100 ml) | Carbohidratos | % | Na (mgr) | K (mgr) | Mg (mgr) |
|---------------------|-----------------------------|-----|----------|------------|-------------|
| Aquarius | Glucosa + sacarosa | 7.9 | 24 | 2.2 | -- |
| Body Fuel-450 | Maltodextrina + fructosa | 4 | 39 | 9 | -- |
| Exced | Polímeros de glucosa | 7.2 | 27 | 25 | 3 |

| | | | | | |
|----------------|--------------------------|-----|----|----|-----|
| Max | Polímeros de glucosa | 7.5 | 7 | -- | -- |
| Carboplex-II | Maltodextrina + fructosa | 5.9 | 2 | -- | -- |
| Isostar | Maltodextrina + sacarosa | 6.5 | 41 | 17 | 0.7 |
| Gatorade | Glucosa + sacarosa | 6 | 41 | 11 | 7 |
| Vitalter Sport | Glucosa +fructosa | 6.4 | 37 | 29 | 2.4 |

Con el estudio que presentamos, pretendemos desarrollar una nueva bebida en la que se combinen los hidratos de carbono con proteína de leche y ver los efectos sobre el rendimiento y la recuperación en esfuerzos de larga duración e intensidad.

Por último, una motivación más personal es mi interés por el tema de estudio, ya que padezco una Diabetes Mellitus Tipo I, diagnosticada cuando estaba terminando mis estudios de Educación Física.

Los tres pilares fundamentales de control de mi enfermedad son la medicación (insulina), la dieta y el ejercicio físico.

El aprendizaje que he tenido que realizar para conseguir un control de la misma, sobre todo al realizar una práctica de actividad física diaria, ha supuesto una necesidad de ampliar mis conocimientos sobre estos tres pilares y encontrar un equilibrio que me permitiera realizar actividad física normalizada de forma continua

y que me reporte beneficios a corto y largo plazo en la mejora de mi salud y calidad de vida.

Esta necesidad me ha hecho tener un interés especial por el campo de la fisiología deportiva y la nutrición, lo que me ha permitido a lo largo de estos años, conseguir una práctica de actividad física lo más normalizada posible.

Todos estos, más la oportunidad que mis directores de tesis me han brindado para poder participar en este proyecto, son los que han motivado esta tesis doctoral.,

2.- JUSTIFICACIÓN Y ESTADO DEL ARTE.

En este apartado pretendemos desarrollar los antecedentes que contextualizan el trabajo que presentamos con el fin de exponer y desarrollar en próximos capítulos los resultados obtenidos.

Pretendemos justificar la necesidad y demanda de ayudas ergogénicas que mejoren el rendimiento y la recuperación de la fatiga en ejercicios, especialmente de larga duración.

Se exponen dos estrategias fundamentales como son la ingesta de hidratos de carbono (CHO) y por otro lado la de hidratos de carbono más proteína (CHO+P), esta última objetivo principal de nuestra investigación.

Los resultados contradictorios en cuanto a los efectos ergogénicos de la ingesta de (CHO+P) sobre el rendimiento y la recuperación son los que nos han motivado a realizar esta investigación.

La nutrición deportiva es un concepto complejo, con características únicas para cada evento deportivo y cada atleta. Aunque la mayoría de los atletas puedan satisfacer sus necesidades nutricionales antes y/o después del ejercicio, las actividades de larga duración requieren que los participantes atiendan a sus necesidades nutricionales durante el ejercicio.

Los ejercicios de resistencia fomentan un inmenso incremento en el uso de energía, con aumentos significativos en velocidades de oxidación de carbohidratos y grasas. Además se pueden producir pérdidas considerables de líquidos y electrolitos del sudor, en especial durante ejercicios prolongados con temperaturas altas. Así, la ingesta inadecuada de líquidos y nutrientes durante ejercicios de resistencia pueden llevar a la deshidratación, hiponatremia, agotamiento de glucógeno, hipoglucemia, y rendimiento reducido. Además, las deficiencias nutricionales durante la actividad prolongada pueden limitar la capacidad de recuperación rápida después del ejercicio, lo cual puede afectar el rendimiento posterior (Saunders, Moore, Kies, Luden y Pratt, 2009).

En este estudio vamos a analizar y valorar los beneficios que se producen en el rendimiento y la recuperación tras la ingesta de bebidas con carbohidratos y proteína en una prueba de resistencia en ciclismo contrarreloj.

La bibliografía existente sobre el tema de estudio nos ofrece resultados contradictorios, aunque coincide con respecto a la mejora del rendimiento en que el rendimiento físico durante el ejercicio de moderado a de alta intensidad está determinado en gran medida por la capacidad de mantener la tasa requerida de la oxidación de carbohidratos (Jeukendrup, 2007).

Esta afirmación es apoyada por estudios que afirman que el rendimiento físico se puede mejorar con la ingesta de CHO de dos formas:

- Aumentando la disponibilidad de hidratos de carbono endógenos antes del ejercicio (Karlsson y Saltin, 1971; Williams, Brewer, y Walker, 1992).
- Proporcionando fuentes exógenas de hidratos de carbono durante el ejercicio (Currell, Conway y Jeukendrup ,2009; Ivy, Res, Sprague, y Widzer, 2003; Rollo y Williams ,2009; Rollo y Williams ,2010; Utter et al., Mcanulty, Vinci y Mcanulty , 2004 ; Tsintzas, Williams, Bobbis, y Greenhaff, 1995).

Los estudios mencionados también apoyan los efectos ergogénicos de la ingestión de los hidratos de carbono en una gran variedad de ejercicios (carrera, bicicleta, fútbol, ejercicios prolongados / de corta duración, continuos / intermitentes) (Tsintzas y Williams, 1998).

Los mecanismos a través de los cuales la ingesta de carbohidratos produce beneficios están relacionados con la mejora del mantenimiento de la tasa normal de glucosa en sangre al final de ejercicio, ya sea directa o indirectamente a través de una mayor oxidación exógena de hidratos de carbono y, potencialmente, una reducción de la velocidad de degradación del glucógeno endógeno (Coyle, Coggan, Hemmert e Ivy, 1986; Tsintzas, Williams, Bobbis, y Greenhaff, 1995).

A raíz de estas observaciones genéricas, investigaciones posteriores han concretado algunas recomendaciones más precisas para maximizar las ventajas metabólicas o ergogénicas de la ingesta de carbohidratos (Jeukendrup, 2004).

Las pautas convencionales sugieren la ingesta de bebidas deportivas con 4-8% de carbohidratos a intervalos regulares durante el ejercicio para suministrar 600-1400 ml de fluido y 30-60 g de carbohidratos cada hora (American College of Sport Medicine, 2006).

Con respecto a la estrategia nutricional, objeto principal de este estudio, que es el uso de bebidas con carbohidratos y proteínas (CHO +P), que mejoran el rendimiento en ejercicios de resistencia, reducen los indicadores de daño muscular y mejoran la recuperación después del ejercicio, existen numerosos estudios recientes que han basado sus investigaciones en intentar acentuar los beneficios de la ingesta de hidratos de carbono durante el ejercicio con la coingesta de una pequeña cantidad de proteína (Cepero, Rojas , Geerlings , De la Cruz , Romero y Boza , 2009; Cepero, Padial, , Rojas, Geerlings, De la Cruz y Boza, 2010; Ivy, Res, Sprague y Widzer, 2003; Luden, Saunders y Todd. , 2007; Osterberg, Zachwieja y Smith,

2008; Romano-Ely, Todd Saunders y Laurent, 2006; Saunders, Kane y Todd, 2004; Saunders, Luden y Herrick, 2007 ; Saunders, Moore, Kies, Luden y Pratt, 2009; Van Essen y Gibala, 2006 ; Valentine, Saunders, Todd y St. Laurent, 2008), obteniéndose resultados contradictorios con respecto a sus beneficios fisiológicos y efectos sobre el rendimiento deportivo.

| INGESTA DE CHO+P Y RENDIMIENTO ANTECEDENTES | | |
|--|---|--|
| <p>Mejora del rendimiento con bebidas igualadas en CHO pero no isocalóricas:</p> <p>Hiedra, Res, Sprague, y Widzer (2003); Saunders et al. (2004); Saunders et al. (2007); Saunders et al. (2009); St. Lauren et al (2007).</p> | <p>No mejora del rendimiento con bebidas isocalóricas pero no igualadas en CHO:</p> <p>Romano-Ely et al. (2006) y Valentine et al. (2008) ; Toone y Betts (2010)</p> | <p>No mejora del rendimiento con bebidas igualadas en contenido CHO pero no isocalóricas:</p> <p>Cepero et al.(2009); Cepero et al. (2010);Millard-Stafford et al. (2005); Van Essen y Gibala(2006); Osterberg et al.(2008)</p> |

Figura I.2. Antecedentes de estudios que comparan las bebidas CHO y CHO+P sobre el rendimiento.

Diversos autores (Hiedra, Res, Sprague, y Widzer, 2003; Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2007; Saunders et al., 2009; St. Lauren et al., 2007) han obtenido mejoras en el tiempo de prueba (mejora en la resistencia) con la ingesta de CHO+P, frente a la ingesta de solo CHO, sugiriendo que la adición de proteínas a una típica bebida deportiva de carbohidratos (6–8% CHO) puede mejorar la resistencia. En estos estudios los tratamientos de CHO+P y CHO, estaban igualados en contenido de carbohidratos, pero no en contenido calórico total, lo que supuso un mayor aporte energético de la ingesta de CHO+P (figura I.3).

Estudios que han igualado el contenido calórico total de ambas bebidas como el de Toone y Betts (2010); Romano-Ely et al., (2006) y Valentine et al., (2008), no describieron diferencias en el tiempo hasta el agotamiento entre bebidas isocalóricas CHO+P y CHO. Esto sugiere que un factor primordial para los beneficios de la ingesta de CHO+P es la disponibilidad adicional de calorías en bebidas CHO+P. Estos hallazgos apoyan la idea de que se produce un beneficio, mediado por proteínas, cuando las bebidas no están igualadas en el contenido total de calorías (figura I.3).

Sin embargo, otros estudios recientes en los que no se igualó el contenido calórico total no obtuvieron diferencias en el rendimiento con la ingesta de CHO+P en comparación con las bebidas con solo CHO (Cepero et al., 2009; Cepero et al., 2010; Gasier y Olson, 2010; Millard-Stafford, Warren, Moore, Doyle, Snow y Hitchcock, 2005; Van Essen y Gibala, 2006; Osterberg et al., 2008) (figura I.3)

Estas investigaciones han analizado si la proteína adicional ingerida durante los ciclos prolongados puede mejorar el tiempo de prueba más allá de lo logrado cuando se realiza una ingesta de hidratos de carbono a razón de 1 g/min (Osterberg et al., 2008; Van Essen y Gibala, 2006). Cabe destacar que ningún estudio observó mejora en el rendimiento con la proteína adicional, a pesar de que en uno de los estudios se proporcionó un 25% más de hidratos de carbono junto con las proteínas añadidas (Osterberg et al., 2008).

Estudios más recientes de Romano-Ely et al., (2006); Toone y Betts (2010) y Valentine et al., (2008), han evaluado los efectos ergogénicos de la ingestión de un suplemento combinado de carbohidratos y proteínas durante el ejercicio en relación con un suplemento control de hidratos de carbono igualados en calorías. Estos estudios también han apoyado el patrón de los otros citados anteriormente en que la proteína adicional no fue más eficaz que una bebida de hidratos de carbono igualada en la cantidad de energía.

Pese a estos hallazgos, sigue siendo difícil identificar el mecanismo preciso mediante el cual la capacidad de ejercicio se ha mejorado en otros estudios (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2007; Saunders et al., 2009), teniendo en cuenta que las mezclas de carbohidratos y proteínas ingeridas en las investigaciones llevadas a cabo, suponían un 20-25% de energía más disponible para el metabolismo que las soluciones de control que contienen hidratos de carbono solo.

Estudios previos que describen los efectos ergogénicos del CHO+P compararon bebidas administradas a velocidades de 37–47 g CHO/h (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2004 y Saunders et al., 2007), por debajo de las velocidades de oxidación máximas del carbohidrato exógeno. Así, no está claro si la adición de proteínas a bebidas con carbohidratos proporcionadas a velocidades máximas de oxidación exógena (60–90 g CHO/hr) (Jeukendrup y Jentjens, 2000; Jentjens, Moseley, Waring, Harding y Jeukendrup, 2004; Jentjens, Venables y Jeukendrup, 2004) provocará mayores mejorías en el rendimiento.

En general, es evidente que la coingesta de hidratos de carbono y proteínas durante el ejercicio prolongado puede retrasar potencialmente la fatiga en relación con la ingesta de hidratos de carbono solo, pero sólo si la proteína adicional incrementa el contenido de energía del suplemento y la fracción de carbohidratos se ingiere en cantidades óptimas.

Una vez justificados los diversos estudios sobre la ingesta de CHO+P en el rendimiento, pasamos a justificar los estudios que se han centrado en el análisis y valoración de los beneficios ergogénicos de la ingesta de CHO+P sobre la recuperación de la fatiga.

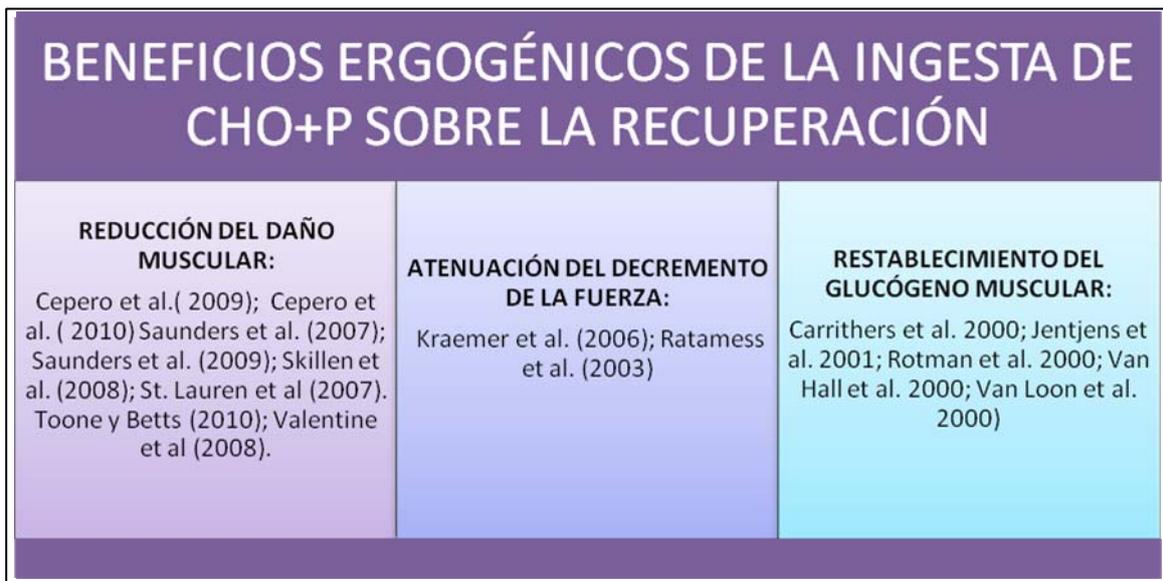


Figura I.3. Beneficios ergogénicos de la ingesta de CHO+P sobre la recuperación de la fatiga.

Con respecto a la recuperación después del ejercicio, uno de los objetivos de estudio de esta tesis doctoral, diversas investigaciones han asociado la ingesta de

bebidas CHO+P con la atenuación del daño muscular causado por el ejercicio (Cepero et al., 2009; Cepero et al., 2010 ; Gasier y Olson, 2010; Kraemer et al., 2006; Luden, Saunders, Tod, 2007; Romano-Ely et al., 2006; Saunders et al., 2007; Saunders et al., 2009; Skillen, Testa, Applegate, Heiden, Fascetti, y Casazza , 2008; Toone y Betts, 2010; Valentine et al., 2008) (figura I.3).

Kraemer et al., (2006); Ratamess et al., (2003) describen una reducción en el daño muscular, atenuación del decremento de la fuerza y mejora en la recuperación de ejercicios de resistencia en individuos que toman suplementos de proteínas o aminoácidos (figura I.3).

En Saunders et al., (2003) los niveles de creatina kinasa (CK) post-ejercicio, indicador de daño muscular, fueron menores tras la ingesta de carbohidratos y proteínas que tras la ingesta de solo CHO. La co-ingestión de proteínas y CHO se ha considerado ventajosa en comparación al CHO solo cuando se consume inmediatamente después del ejercicio (Ivy et al., 2003, y Saunders et al., 2006).

En otro estudio de Valentine et al., (2008) se obtuvieron diferencias importantes en los indicadores de daño muscular con la ingesta de la bebida CHO+P, pero sólo se obtuvieron con ingestas durante el ejercicio.

Cepero et al., (2009) y Cepero et al., (2010) compararon los efectos de las bebidas CHO y CHO+P, encontraron que las concentraciones de insulina en suero fueron mayores durante la recuperación cuando se consumió la bebida CHO+P ($P<0,05$). La bebida CHO+P mostró efectos fisiológicos diferentes a los de la bebida

CHO, de forma que se puede recomendar la bebida CHO+P para mejorar la recuperación después del ejercicio intensivo.

Gasier y Olson (2010), compararon los efectos de las bebidas CHO y CHO+P sobre el estado de ánimo de soldados de élite de las fuerzas aéreas de EEUU, en un estudio de campo en el que se simuló el entrenamiento diario al que eran sometidos. No se encontraron diferencias, probablemente debido a la utilización de un protocolo de alimentación y ejercicio distinto al realizado en otros estudios, ya que se dio una comida (592Kcal) antes de la realización de las pruebas y ninguno de los ejercicios duró más de 1h.

Sin embargo, con respecto al restablecimiento del glucógeno muscular, como un componente importante del proceso de recuperación, algunos autores consideran que la mezcla de CHO+P pueden acelerar este proceso, pero sin embargo al menos cinco investigaciones han demostrado que agregar proteínas, aminoácidos o proteínas hidrolizadas a un suplemento de carbohidratos no es más efectivo para la síntesis de glucógeno que la ingesta de una cantidad similar de calorías en forma de carbohidratos solamente (Carrithers et al., 2000; Jentjens et al., 2001; Rotman et al., 2000; Van Hall et al., 2000; Van Loon et al., 2000) (figura I.3).

Con respecto a la ingesta de proteínas, son numerosos los factores de los que depende la captación de aminoácidos a partir de fuentes de proteínas: el tipo de proteína, la cantidad, el tiempo de ingesta, tipo de ejercicio.... Todos estos factores serán analizados y valorados a lo largo del capítulo 3º (figura I.4).

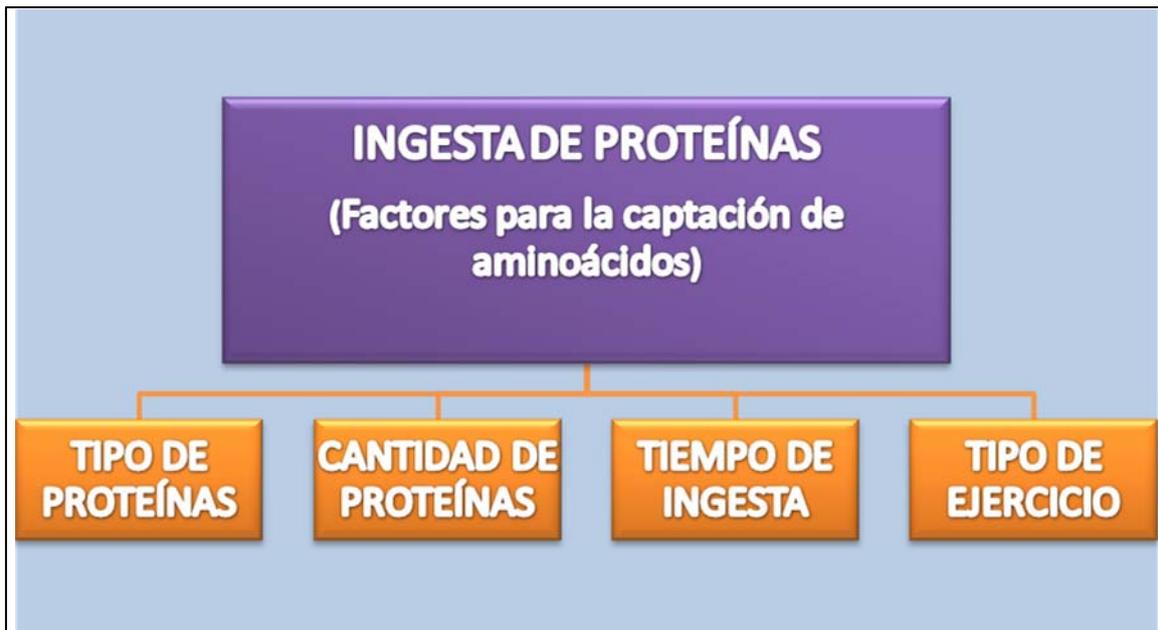


Figura I.4. Factores de los que depende la captación de aminoácidos tras la ingestión de proteínas.

De todos estos factores, exponemos a continuación brevemente algunos aspectos relacionados con la hipótesis de nuestra investigación.

En cuanto al tipo de proteína, diversos estudios (Di Pasquale, 1997) han mostrado que los hidrolizados de proteínas que contienen mayormente di y tripéptidos son absorbidos más rápidamente que los aminoácidos libres y mucho más rápido que las proteínas intactas y tienen un fuerte efecto insulínico.

Por lo tanto, las bebidas utilizadas en la recuperación deportiva que contienen hidrolizados de proteínas pueden ser de gran valor ergogénico (Manninen, 2004).

Aún no se conoce con exactitud qué tipo de proteína tiene mejor resultado. Estudios de Van Loon et al., (2000) que usaron hidrolizados de proteínas y otros de Zawadski, Yaspelkis e Ivy (1992), que usaron un suplemento combinado de CHO y proteína en suero de leche comparado con un suplemento de CHO, demostraron que el consumo de algunas proteínas y/o aminoácidos combinados con el consumo moderado de CHO (~0.8 g/kg/h) tienen mayores velocidades en la síntesis de glucógeno muscular comparado con el consumo de la misma cantidad de CHO sin proteínas y/o aminoácidos.

Otros estudios similares han añadido hidrolizado de caseína a bebidas CHO, mostrando beneficios similares en el rendimiento, mejoras en los indicadores de daño muscular y en la recuperación tras el ejercicio (Saunders et al., 2006; Saunders et al., 2009).

En este estudio se analizan los efectos de la coingesta de hidratos de carbono (CHO) con proteína caseína (Pc) y en la otra bebida con proteína de suero de leche hidrolizada (Ps).

Otro de los factores mencionados y que pasamos a exponer es la cantidad de proteína.

Determinar los niveles óptimos de proteína es un esfuerzo difícil, ya que la proteína probablemente interactúe con numerosos aspectos de la composición de la bebida tales como el contenido en carbohidrato de esta, el volumen total de la bebida

ingerida, el tipo de proteína, la amoralidad, las tolerancias individuales, etc. Sin embargo, como el carbohidrato es la mayor fuente de energía durante los deportes de resistencia de competición, parece un hecho razonable el asumir que el contenido proteínico deba ser considerablemente menor que el contenido en carbohidrato de las bebidas isotónicas (entre 6-10% por volumen) (Saunders, 2007).

En estudios publicados que han demostrado un efecto ergogénico en la ingesta de CHO+P (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2007), la proteína ha constituido el 20% del total de las calorías de la bebida, con niveles de $\leq 2\%$ por volumen.

Con la descripción de los antecedentes científicos más significativos, en el presente estudio hemos analizado las diferentes bebidas igualadas en la cantidad de calorías, una con sólo carbohidratos (CHO, 9% carbohidratos) una con carbohidratos y proteína de caseína (CHO+Pc, 7% carbohidratos y 2% proteína) y otra bebida con carbohidratos y suero de leche hidrolizada (CHO+Ps, 7% + 2 %).

En cuanto al tiempo de ingesta, en cada prueba se consumió un litro de cada bebida después del ejercicio.

Varias investigaciones han demostrado que la ingestión de proteínas antes e inmediatamente después del ejercicio de resistencia es un estímulo potente para el aumento del tamaño muscular y la mejora en el rendimiento en comparación con los suplementos que solo contenían hidratos de carbono , en jóvenes entrenados

previamente (19-23 años), (Hoffman, Ratamess, Kang, Falvo y Faigenbaum, 2007) o no entrenados (Andersen et al., 2005; Willoughby, Stout y Wilborn, 2007).

Por último y para finalizar esta introducción, justificar el tipo de ejercicio que hemos utilizado en este estudio.

Las bebidas con CHO y las bebidas con CHO+P se han comparado en diversos estudios mediante dos tipos de ejercicio, el tiempo hasta el agotamiento (Ivy et al., 2003, Saunders et al., 2007) y pruebas contrarreloj de larga duración (Van Essen y Gibala, 2006).

En el estudio que presentamos, se ha medido el rendimiento en una típica carrera contrarreloj de 20 km. Este tipo de pruebas contrarreloj muestran una menor varianza de error entre pruebas repetidas (Jeukendrup et al., 1996) y es representativa del rendimiento en el ciclismo de resistencia (St Laurent et al., 2006).

El principal objetivo de este estudio ha sido determinar si el rendimiento deportivo, la recuperación después del esfuerzo y la bioquímica muscular cambian por la ingesta de tres bebida deportivas diferentes: solo CHO (9%), CHO+ Proteína caseína (7% carbohidratos y 2% proteínas) y CHO+ proteína de suero de leche, lactoserum, (7% carbohidratos y 2 % proteínas).

La hipótesis de estudio indica que la adición de caseína y proteína de suero de leche a la bebida de carbohidratos podría incrementar, por un lado, los valores fisiológicos que determinan el rendimiento deportivo y, por otro, el rendimiento

deportivo en sí. La inclusión de proteínas en una solución de carbohidratos puede acelerar tanto la velocidad de almacenamiento de glucógeno como la restitución de la capacidad de ejercicio después de actividad prolongada.

3.-ORGANIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA INVESTIGACIÓN.

Tras esta introducción y estado general de los antecedentes de estudio paso a exponer la estructura de nuestro trabajo (figura I.5):

En la primera parte se expone el marco conceptual, la fundamentación teórica y revisión del problema. En el capítulo I se introduce al lector en el estudio de la síntesis del glucógeno muscular después del ejercicio, principal factor de la aparición de la fatiga durante el mismo, a causa de la reducción del glucógeno muscular. El restablecimiento de las reservas de glucógeno muscular tras un ejercicio exhaustivo es, probablemente, el factor más importante que determina el tiempo necesario para recuperarse. Se cree que conseguir unos niveles altos de glucógeno muscular antes del ejercicio es esencial para una función óptima.

En el capítulo 2 se da una amplia visión sobre una de las estrategias nutricionales más utilizadas en el ámbito deportivo para obtener velocidades máximas en la síntesis de glucógeno muscular, el consumo de bebidas isotónicas que contienen carbohidratos o carbohidratos y electrolitos. En este apartado, además se tratan las variables de las que depende la captación de hidratos de carbono por el organismo.

En el capítulo 3 se trata otra estrategia metodológica, principal objetivo de este trabajo, que es la utilización de bebidas que contienen proteína combinada con carbohidrato (CHO +P). Se analizan los beneficios sobre el rendimiento y la recuperación después del ejercicio y las variables y factores de los que depende la captación de aminoácidos a partir de fuentes de proteínas.

En la segunda parte, se recoge el desarrollo de la investigación, que incluye los siguientes capítulos:

En el capítulo 4, tras establecer los antecedentes del estudio, se exponen los objetivos que se pretenden conseguir a la conclusión de este trabajo y las hipótesis de las que hemos partido para el desarrollo experimental.,

En el capítulo 5 se expone el método y los procedimientos experimentales utilizados para la detección de los datos. Se expone la muestra utilizada: los participantes del estudio son 15 ciclistas varones. Todos eran ciclistas cualificados que entrenaban al menos 3 días a la semana, unas 2-5 horas por sesión. El protocolo experimental, diseñado en tres fases, En la primera fase se informó a los participantes sobre el tipo de prueba que se iba a realizar y los procedimientos implicados y firmaron su consentimiento para participar en el estudio. Una segunda fase donde determinó el estado de salud de los participantes y su rendimiento máximo y una tercera fase donde se llevaron a cabo las pruebas diseñadas para el estudio de las bebidas.

En el capítulo 6, se describen los resultados obtenidos en la investigación. En el capítulo 7 se discuten los resultados con los estudios referenciados en la introducción y marco teórico. En la tercera parte se exponen las conclusiones y líneas de futuro (el capítulo 8). En el capítulo 9 las referencias bibliográficas. Finalmente, se incluyen anexos.

A continuación, en la Figura I., se plasma un esquema organizativo de la investigación, para facilitar la comprensión de su estructura.

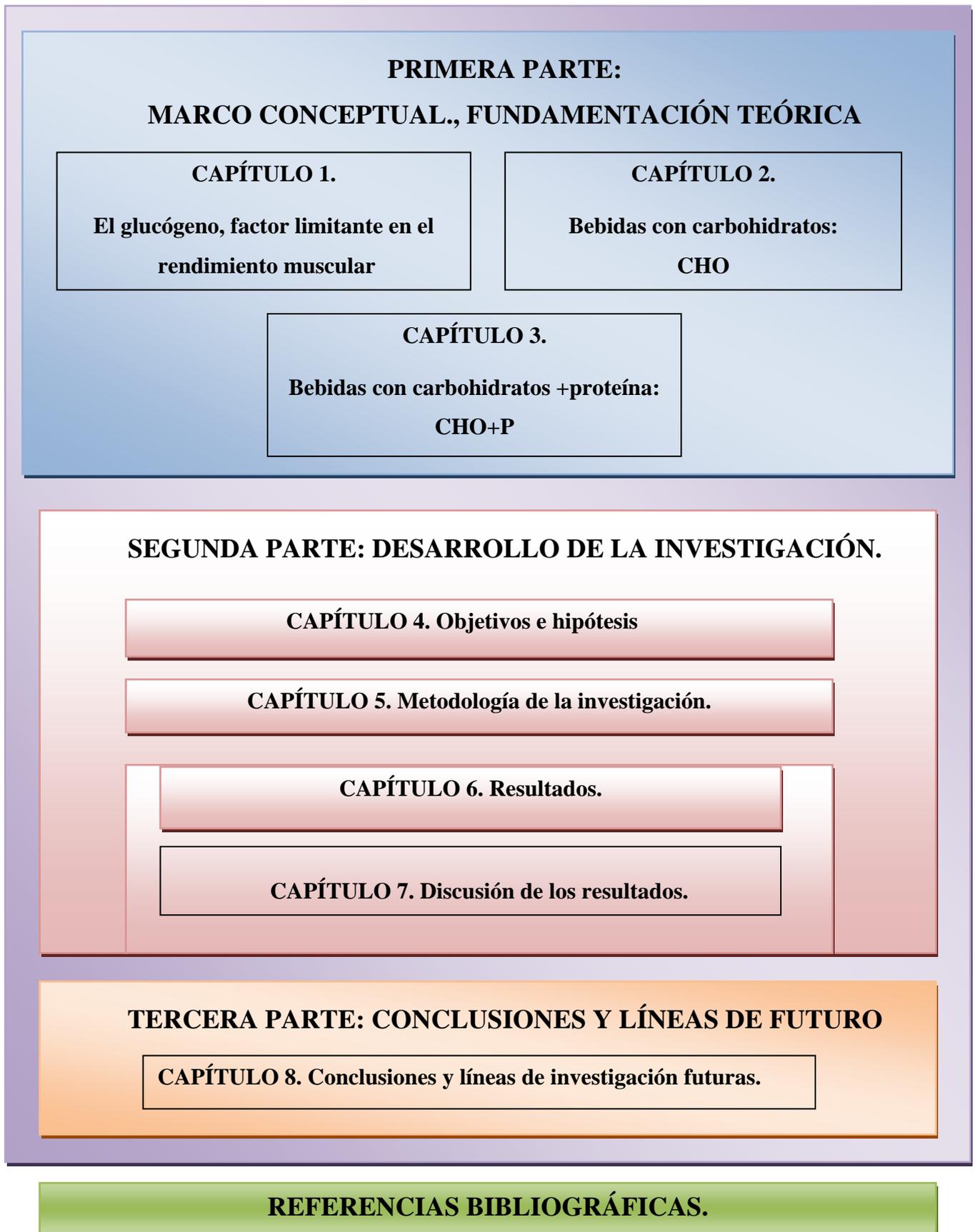


Figura I.5. Esquema organizativo de la investigación.

CAPITULO 1.- MARCO CONCEPTUAL.

EL GLUCÓGENO, FACTOR LIMITANTE EN EL
RENDIMIENTO MUSCULAR.

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 1. El Glucógeno, factor limitante en el rendimiento muscular.

1.1. Regulación de la Síntesis de Glucógeno muscular.

1.1.1. Transporte de Glucosa.

1.1.2. Conversión de Glucosa a Glucógeno.

1.2. Fases Rápida y Lenta de la Síntesis del Glucógeno.

1.2.1. Fase Rápida de la Síntesis del Glucógeno.

1.2.2. Fase Lenta de la Síntesis del Glucógeno.

EL GLUCÓGENO, FACTOR LIMITANTE EN EL RENDIMIENTO MUSCULAR.

En la revisión que se realiza a continuación, se recoge un estudio detallado de la documentación sobre la síntesis del glucógeno muscular después del ejercicio, en recuperaciones con periodos cortos de tiempo (< 8 horas). Para ello se seguirá el siguiente esquema (figura 1.1):

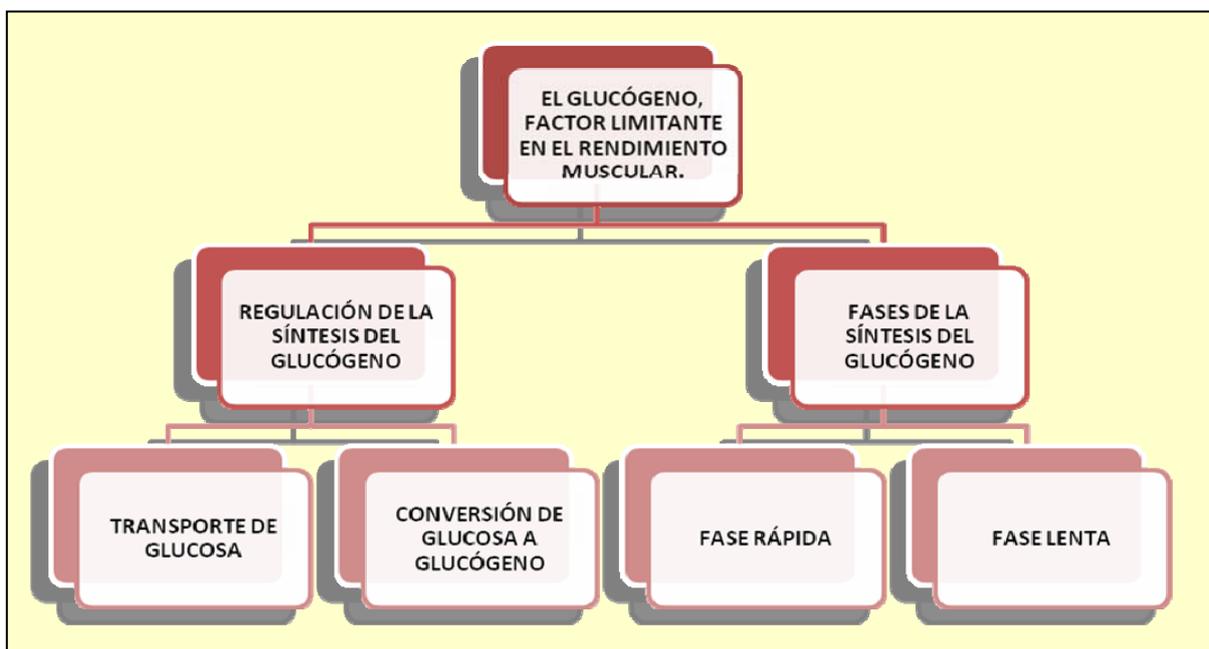


Figura 1.1. Estructura del capítulo 1º

Se exponen los factores de los que depende la fatiga en ejercicios de intensidad moderada a alta y cómo el consumo de hidratos de carbono (CHO) y hidratos de carbono + proteína (CHO+P) influyen sobre el restablecimiento de las reservas de glucógeno muscular.

Para facilitar la comparación de datos entre estudios, todas las velocidades de la síntesis de glucógeno muscular en este estudio se expresan como mmol/kg dw (dry weight -peso seco) /h al menos que se indique de otra forma. Por eso, las concentraciones de glucógeno muscular presentadas en la documentación como mmol/kg ww (wet weight- peso húmedo) se multiplicaron por 4,28 de acuerdo con el peso del agua (Van Hall, Shirreffs, Calbet, 2000).

El glucógeno muscular es la primera fuente de combustible durante el ejercicio prolongado de intensidad moderada a alta (Romijn, Coyle, Sidossis et al. 1993). La fatiga durante el ejercicio prolongado se asocia a menudo con la reducción del glucógeno muscular (Bergström, Hermansen, Hultman et al. 1967; Hultman, 1967) (figura 1.2) y por eso se cree que mantener unos niveles altos de glucógeno muscular antes del ejercicio es esencial para una función óptima (Burke, Collier, Beasley et al. 1995; Ivy, 1991).

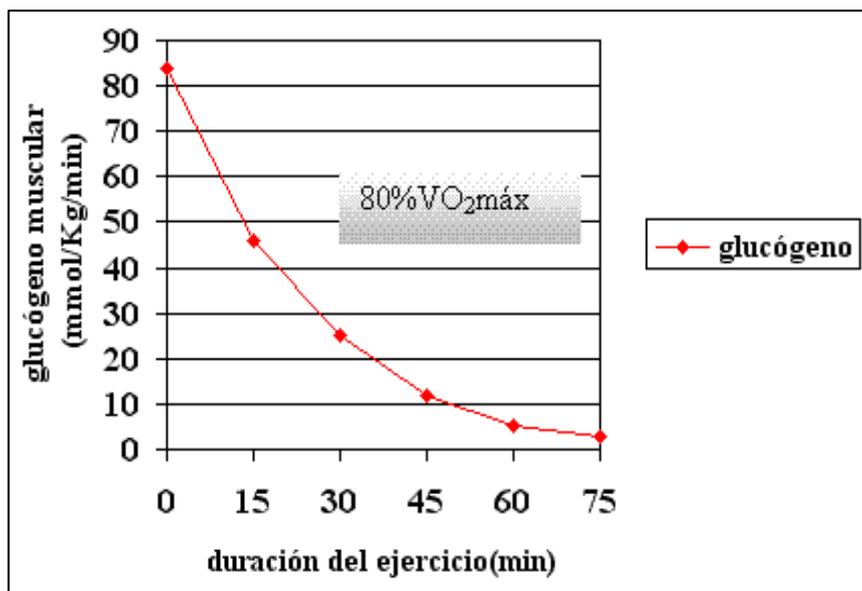


Figura 1.2. Depleción glucogénica (ejercicio al 80% VO_2 máx)

El restablecimiento de las reservas de glucógeno muscular tras un ejercicio exhaustivo es, probablemente, el factor más importante que determina el tiempo necesario para la recuperación.

Dependiendo de la disminución de las reservas de glucógeno y siempre que se consuman suficientes carbohidratos (CHO), el restablecimiento completo del glucógeno en los músculos puede ocurrir en unas 24 horas (Bergström et al. 1967; Casey et al. 1995; Jentjens y Jeukendrup, 2003; Kochan, Lamb, Lutz et al. 1979).

Jentjens y Jeukendrup (2003) describieron el patrón de síntesis del glucógeno muscular, tras la realización de un ejercicio en el que se produce una reducción de las reservas de glucógeno, en dos fases. Inicialmente, hay un periodo de síntesis rápida del glucógeno muscular que no requiere la presencia de insulina (insulina-independiente) y dura entre 30-60 minutos. Esta fase rápida de la síntesis del glucógeno muscular ocurre por la translocación de los receptores de glucosa GLUT-4 a la superficie celular y se caracteriza por un incremento de la permeabilidad de la membrana del músculo a la glucosa.

La fase rápida es seguida por una fase más lenta llamada insulino-dependiente. En ésta, la síntesis del glucógeno muscular ocurre a un ritmo mucho más lento y esta fase puede durar horas. Contribuyendo a la fase rápida hay un incremento de la permeabilidad a la glucosa, con lo que aumenta la glucosa 6 fosfato intracelular y se activa la glucógeno sintasa. Este incremento en la permeabilidad de la membrana es mediado por un aumento del Glut4 (similar al de la insulina), pero que ocurre inmediatamente postejercicio, a diferencia de la primera. La segunda fase

podría tener que ver con un aumento en la sensibilidad de los receptores insulínicos inducida por el ejercicio. Los mecanismos de sensibilización son muchos, pero aún desconocidos aunque se cree que estarían relacionados al aumento inicial de los Glut4 (Minuchin, 2006).

Tanto la contracción muscular como la presencia de insulina, producen un incremento de la actividad de la glucógeno sintasa (GS), enzima limitadora de la velocidad en la síntesis del glucógeno. Además, la concentración de glucógeno muscular es un potente regulador de la GS. Las concentraciones bajas de glucógeno muscular después del ejercicio se asocian con una velocidad más alta en el transporte de glucosa y una mayor capacidad en la conversión de la glucosa en glucógeno (Jentjens y Jeukendrup ,2003).

La contracción y la insulina tienen efectos biológicos similares en el músculo esquelético, ambos incrementan la captación de glucosa, de aminoácidos y la síntesis de glucógeno.

Bergström y Hultman (1966) demostraron que cuando se consume una dieta alta en CHO durante al menos 3 días después del ejercicio, las concentraciones de glucógeno en los músculos se pueden incrementar por encima de los niveles normales en los músculos previamente ejercitados, un proceso a menudo referido como supercompensación de glucógeno.

Las mayores velocidades en la síntesis del glucógeno muscular se han obtenido cuando se consumen grandes cantidades de carbohidratos (1,0-1,85 g/kg/h)

inmediatamente después del ejercicio y hasta 5 horas después, en intervalos de entre 15-60 minutos. Cuando la ingesta de carbohidratos se retrasa unas cuantas hora se pueden producir velocidades, aproximadamente, un 50% más bajas en la síntesis del glucógeno muscular.

Si añadimos ciertos aminoácidos y/o proteínas a un suplemento de carbohidratos, podemos incrementar la velocidad de síntesis del glucógeno muscular, probablemente a causa de un aumento de la respuesta de la insulina. Sin embargo, cuando el consumo de carbohidratos es alto ($\geq 1,2$ g/kg/h), y siempre y cuando se haga en intervalos regulares, un incremento en las concentraciones de insulina debido a la ingesta de un suplemento adicional de proteína y/o aminoácidos, no aumenta más la velocidad de la síntesis del glucógeno muscular. Así, cuando el consumo de carbohidratos es insuficiente ($< 1,2$ g/kg/h), el añadir ciertos aminoácidos y/o proteínas puede ser beneficioso para la síntesis del glucógeno muscular. Además, la ingestión de mezclas de proteínas insulínótropas y/o aminoácidos podría estimular el anabolismo neto de proteínas de los músculos después del ejercicio.

Jentjens y Jeukendrup (2003) han sugerido, que la disponibilidad de carbohidratos es el principal factor limitador de la síntesis del glucógeno. Parece ser que gran cantidad de la glucosa ingerida que entra en el torrente sanguíneo es extraída por tejidos que nada tienen que ver con los músculos relacionados con el ejercicio (o sea, hígado, otros grupos de músculos o tejidos grasos), y por eso pueden limitar la cantidad de glucosa disponible para maximizar las velocidades de las síntesis del glucógeno muscular. Además, la absorción de la glucosa intestinal

puede ser también un factor limitador de la velocidad para la síntesis del glucógeno muscular cuando se ingieren cantidades grandes de glucosa ($> 1\text{g/min}$) después del ejercicio.

1.1.Regulación de la Síntesis de Glucógeno muscular.

1.1.1. Transporte de Glucosa

“De manera contraria a la rápida depleción de los carbohidratos almacenados, que tiene lugar en el músculo esquelético durante breves períodos de ejercicio intenso o durante el ejercicio prolongado, la completa restauración del glucógeno muscular hasta los niveles pre-ejercicio, en los músculos depletados de glucógeno, puede requerir varios días. Sin embargo, el nivel de repleción de glucógeno, logrado durante la recuperación después del ejercicio, frecuentemente iguala o excede a los niveles pre-ejercicio. La habilidad de restaurar el glucógeno muscular, depende de un número de factores, incluyendo al tipo y la cantidad de carbohidratos ingeridos después del ejercicio” (Friedman, 2003).

Para que se produzca el reabastecimiento de las reservas de glucógeno en músculos o hígado, tras un ejercicio de intensidad prolongada, se requiere glucosa derivada de la dieta o glucosa resultante de gluconeogénesis . En el estado de postabsorción, la mayoría de la glucosa para la síntesis de glucógeno viene de CHO oralmente ingeridos. El primer paso del camino de la síntesis del glucógeno muscular es el transporte de glucosa a través de la membrana de la célula del músculo.

El transporte de glucosa se puede dar de dos formas posibles (figura 1.3):

- Transporte pasivo secundario (difusión facilitada) → Sistema de Gluts.
- Transporte activo secundario → Células epiteliales de riñón e intestino.

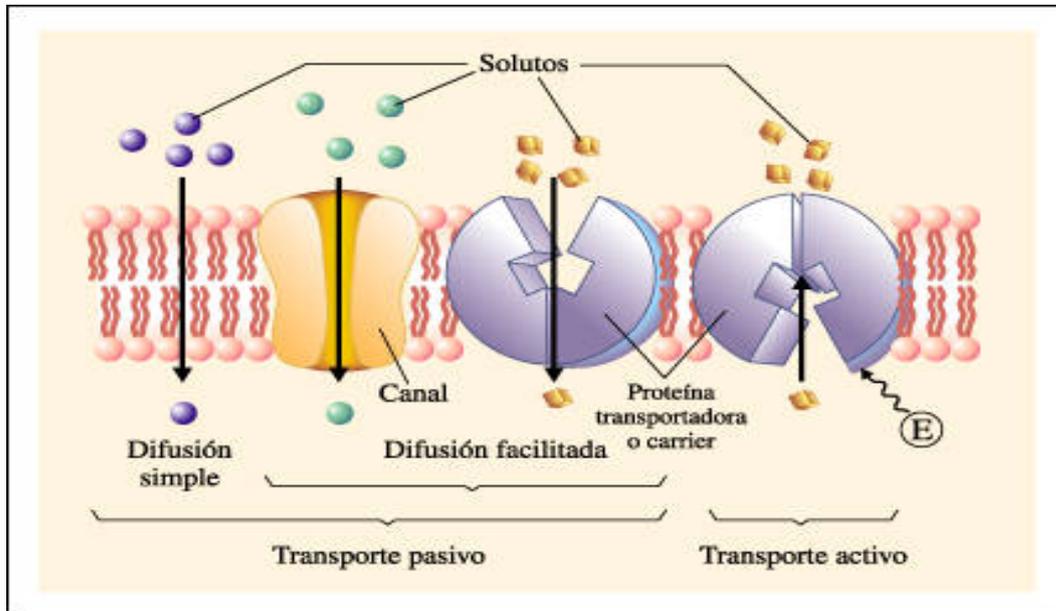


Figura 1.3. Modos de transporte a través de la membrana celular: transporte pasivo (difusión simple y difusión facilitada) y transporte activo.

En el músculo esquelético este transporte ocurre por difusión facilitada, utilizando proteínas portadoras de transportadores de glucosa (GLUT) (Goodyear y Kahn, 1998). En el músculo esquelético se encuentran dos isoformas de la familia de los transportadores de glucosa, GLUT-1 y GLUT-4 (Mueckler, 1994):

GLUT1:

Se encuentra en todas las células. Tienen una elevada afinidad por la glucosa, aunque también por la galactosa. Está presente en muy baja concentración en el músculo esquelético y se sugiere que juega un papel en la recepción de la glucosa basal por el músculo (Gaster, Nandberg, Beck-Nielsen et al. 2000) y posibilita la

entrada de glucosa en reposo. No aumenta en el músculo con el entrenamiento, ni consumiendo carbohidratos durante, ni después del entrenamiento. Tampoco lo aumenta el ayuno.

Según Zorzano et al. (1996), citado por Minuchin, (2006), la posición o distribución de los GLUT1 ya presentes en el sarcolema no es alterada por la insulina. La glucosa, una vez dentro del músculo, se queda para unirse a un fosfato, y luego, depositarse como glucógeno.

Otro estudio demuestra que el GLUT1 aumenta tras 31 días (no antes) de un ejercicio aeróbico (2 hs, al 60% del Vo₂ máximo) a diferencia del GLUT4 que aumenta en sólo 5 días (Phillips et al. 1996, citado por Minuchin, 2006).

GLUT4:

GLUT 4 se encuentran en el tejido adiposo y en el músculo (cardíaco y esquelético). Su función es la de transportar la glucosa del plasma al interior de la célula del tejido adiposo y muscular. Por lo tanto GLUT4 es el principal transportador de glucosa y en definitiva los mecanismos de insulina están destinado básicamente a activar estos GLUT 4 para hacer posible el consumo de glucosa por parte de dichas células, es decir, adiposa y muscular.

En ausencia de insulina, GLUT4 se secuestra dentro del músculo y de las células. Es la insulina la que induce la redistribución de GLUT4 de sitios de almacenaje intracelulares a la membrana del plasma (Watson, Kanza y Pessin, 2004).

Estaría relacionado a la incorporación de glucosa mediada por insulina, que afecta los túbulos transversos en la fibra muscular. Se han definido dos mecanismos de la insulina para poder llevar a cabo esta acción. La primera es la acción de reclutar los transportadores desde las reservas intracelulares e insertarlas en la membrana plasmática. Una segunda actividad importante es la de aumentar la actividad intrínseca de estos transportadores.

La señal de insulina es una cascada que pasa por varias proteínas kinasas o proteínas señales y que van a ser moderadoras y moduladoras de los consiguientes estímulos de la insulina, entre ellas la más importante detectada hasta la fecha es la p38 AMPK (proteína quinasa activada por mitogeno).

Un mitogeno es un inductor de proliferación y diferenciación celular, por ejemplo insulina, factores de crecimiento como IGF-1, que también son denominadas ERK o quinasas reguladas por señales extracelulares. Estas AMPK son activadas por una gran variedad de señales (insulina, factores de crecimiento, factores de stress ambiental).

La necesidad de modulación es necesaria ya que se han encontrado hasta incrementos de 100 veces más de GLUT4 en células estimuladas al máximo con insulina.

GLUT4 está presente en las vesículas intracitoplasmáticas. Ante la ingesta de alimentos se dirigen a la membrana celular donde se fusionan, quedando expuesto al medio extracelular y capturando la glucosa. Esto ocurre por la fosforilación de la

tirosina presente en la subunidad beta del receptor insulínico, lo cual sería la señal que la insulina, unida al receptor, provoca para que el GLUT4 capte glucosa, pero está probado que con el ejercicio la señal sería otra (Holloszy et al. 1998, citado por Minuchin, 2006) (figura 1.4). El ejercicio aumenta la expresión del GLUT4 permitiendo este mecanismo de traslación hacia la membrana celular y aumentando la captación de glucosa aún sin insulina (Zorzano et al. 1996, citado por Minuchin, 2006)

Algunos estudios demuestran que el ejercicio aumenta la transcripción genética de GLUT4 dependiente de la concentración de energía intracelular y la concentración de calcio (Mac Lean et al. 2000, citado por Minuchin, 2006).

Sería la disminución en la concentración de adenosin-trifosfato (ATP) intramuscular inducida por el ejercicio, lo que estimula el aumento de GLUT4.

El ejercicio a través de las AMPK, trasladaría a GLUT4 a la membrana (Goodyear, 2000, citado por Minuchin, 2006).

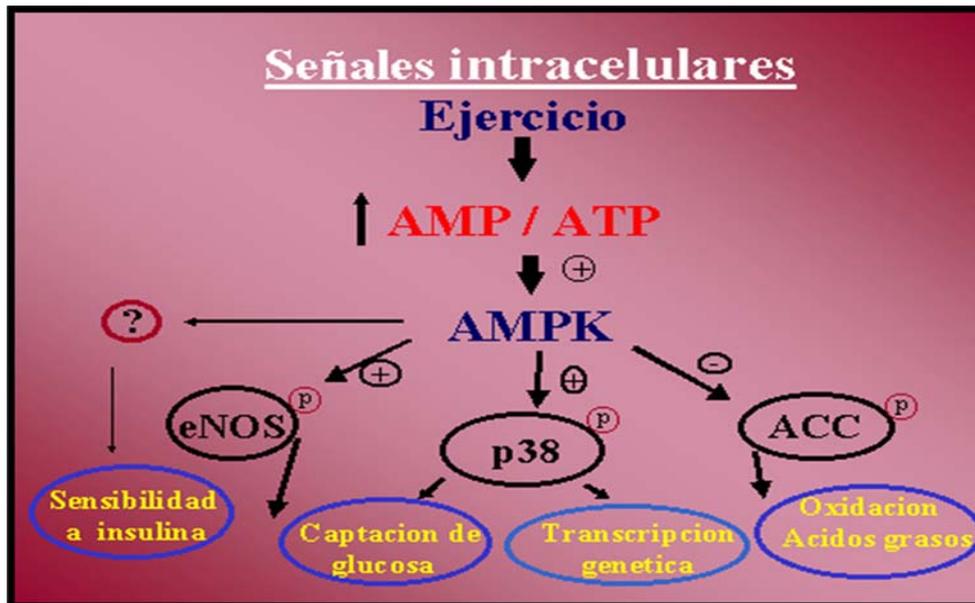


Figura 1.4. Señales intracelulares activadas por el ejercicio.

En estado relajado/no-estimulado, la isoforma GLUT-4 se localiza intracelularmente y se translocaliza a la membrana del plasma cuando la insulina se une a su receptor. Las contracciones musculares estimulan el transporte de glucosa directamente, independiente de la acción de la insulina, induciendo al transportador GLUT-4 a la superficie de la célula (Lund, Holman, Schmitz et al. 1995; Thorell, Hirshman, Nygren et al. 1999) (figura 1.5).

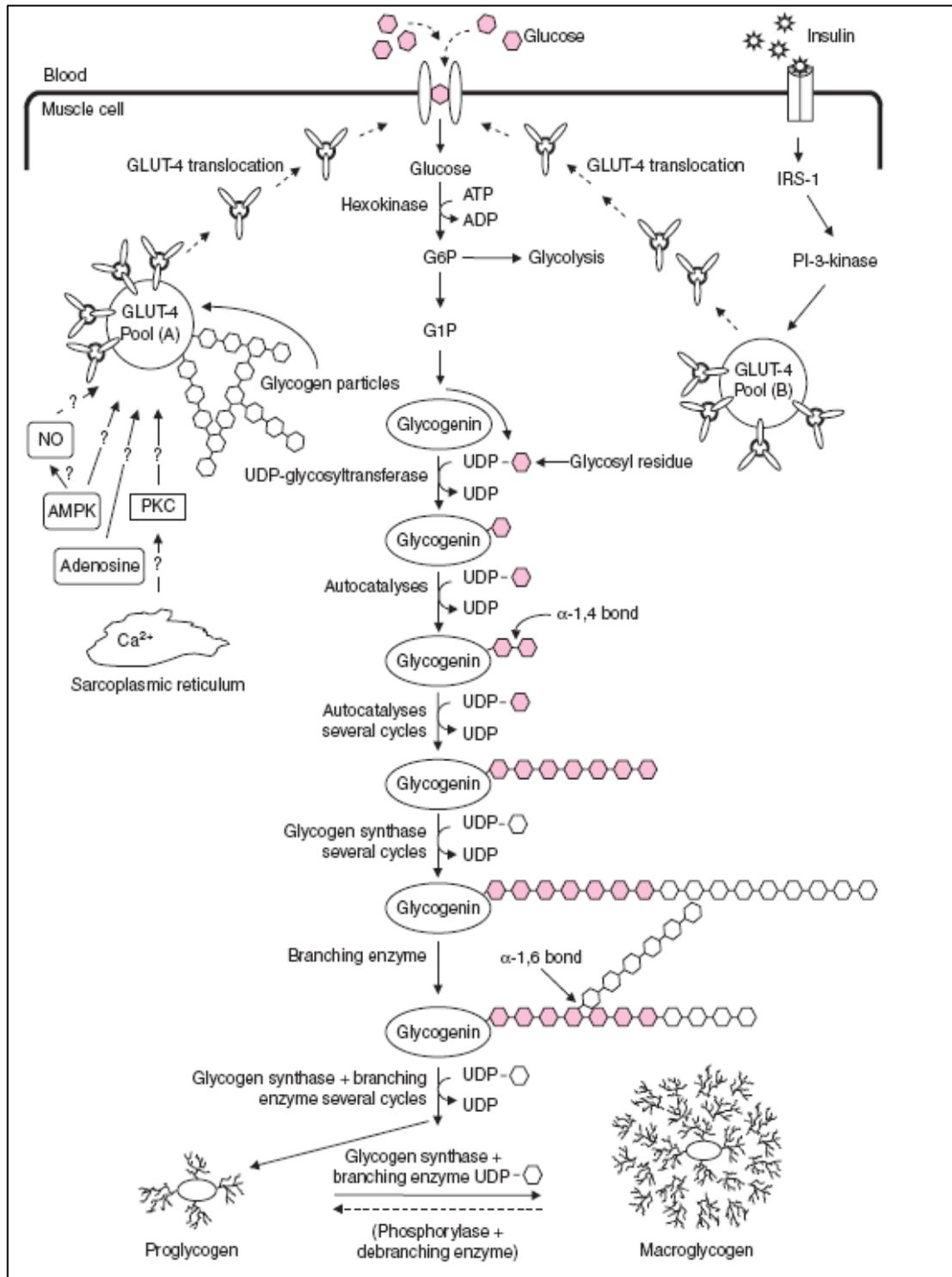


Figura 1.5: Esquema de la síntesis del glucógeno muscular en el músculo esquelético.

La velocidad máxima del transporte de glucosa en los músculos se determina tanto por la concentración total de GLUT-4, como por la proporción que se translocaliza a la membrana de la célula en respuesta a la insulina y/o la contracción del músculo (MacLean, Zheng y Dohm, 2000). Además, las señales que llevan a la translocación de la GLUT-4 estimulada con insulina o ejercicio son también diferentes. La insulina activa un mecanismo dependiente de la fosfatidilinositol 3-quinasa (PI3K), mientras que la señal de contracción se puede iniciar por la liberación de calcio (Ca^{2+}) desde el retículo sarcoplásmico, llevando a la activación de otros intermediarios de señal (por ejemplo, proteína quinasa C) (figura 1.6). Otras posibles señales que provocan translocación de GLUT-4 inducida por el ejercicio son: concentraciones incrementadas de óxido nítrico y adenosina, actividad incrementada de AMPK y concentraciones bajas de glucógeno muscular.

Concluyendo, como se ha detallado en este apartado, la insulina y la contracción muscular, estimulan la captación de glucosa a través de GLUT4 por intermedio de diferentes proteínas señales y es posible que esta sea una de las razones por las cuales el ejercicio físico está asociado a una mejora en la homeostasis de la glucosa y en la sensibilidad a la insulina.

Esto sería debido a que el entrenamiento físico lleva a modificaciones en la expresión y actividad de proteínas clave involucradas en la cascada de señalización de la insulina, manifestándose un incremento en el transporte de glucosa en el músculo esquelético.

Estos cambios estarían relacionados con un incremento en la actividad de diversas proteínas señal, AMPK, Akt, que están asociadas en parte con un incremento en la actividad transcripcional, con consiguientes cambios en la síntesis de proteínas incluyendo GLUT4 (figura 1.6).

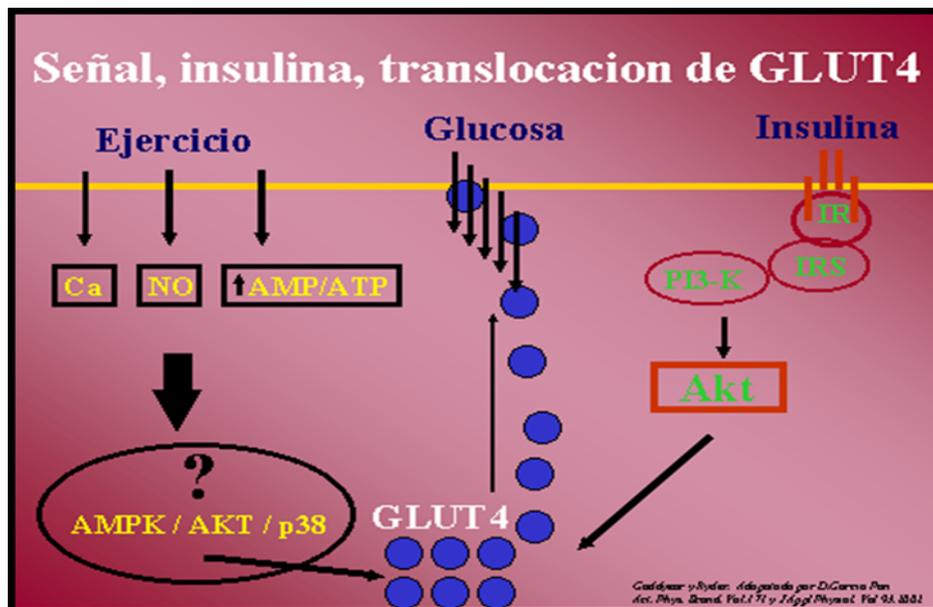


Figura 1.6. Señales que producen la translocación de GLUT-4 estimulada por insulina o ejercicio.

1.1.2. Conversión de Glucosa a Glucógeno.

La síntesis de glucógeno a partir de glucosa se llama glucogénesis y se produce gracias a la enzima glucógeno sintasa.

La síntesis de glucógeno precisa de tres actividades enzimáticas (figura 1.7.):

- Para activar la molécula de glucosa: UDP-glucosa pirofosforilasa.
- Para añadir la molécula de glucosa activada al extremo de la molécula de glucógeno: glucógeno sintasa.

- Para generar las ramificaciones del glucógeno: enzima ramificante.

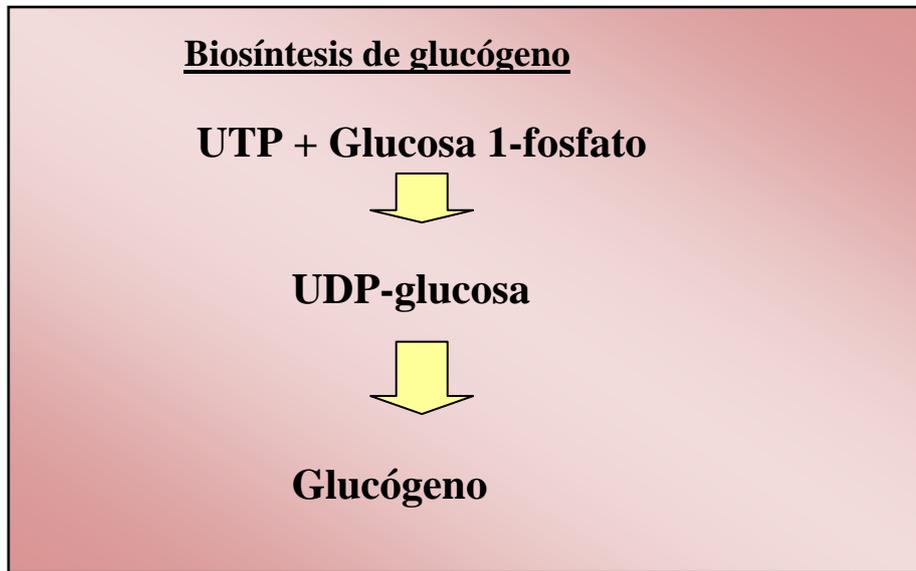
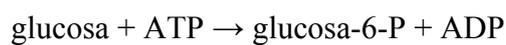


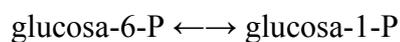
Figura 1.7. Actividades enzimáticas que se precisan para la síntesis de glucógeno.

La síntesis del glucógeno tiene lugar en varios pasos (figura 1.8.):

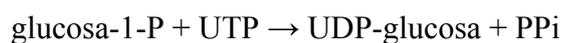
- En primer lugar, la glucosa es transformada en glucosa-6-fosfato, gastando una molécula de ATP.



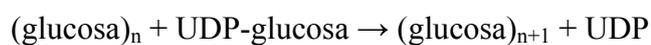
- A continuación se transforma la glucosa-6-fosfato en glucosa-1-fosfato



- Se transforma la glucosa-1-fosfato en UDP-glucosa, con el gasto de un UTP.



- La glucógeno sintasa va uniendo UDP-glucosa para formar el glucógeno.



- Por una reacción de ruptura de las triosas pasa fructosa 1-6 di-fosfato a fosfato de hidroxiketona (o a gliceraldehído-3 fosfato).

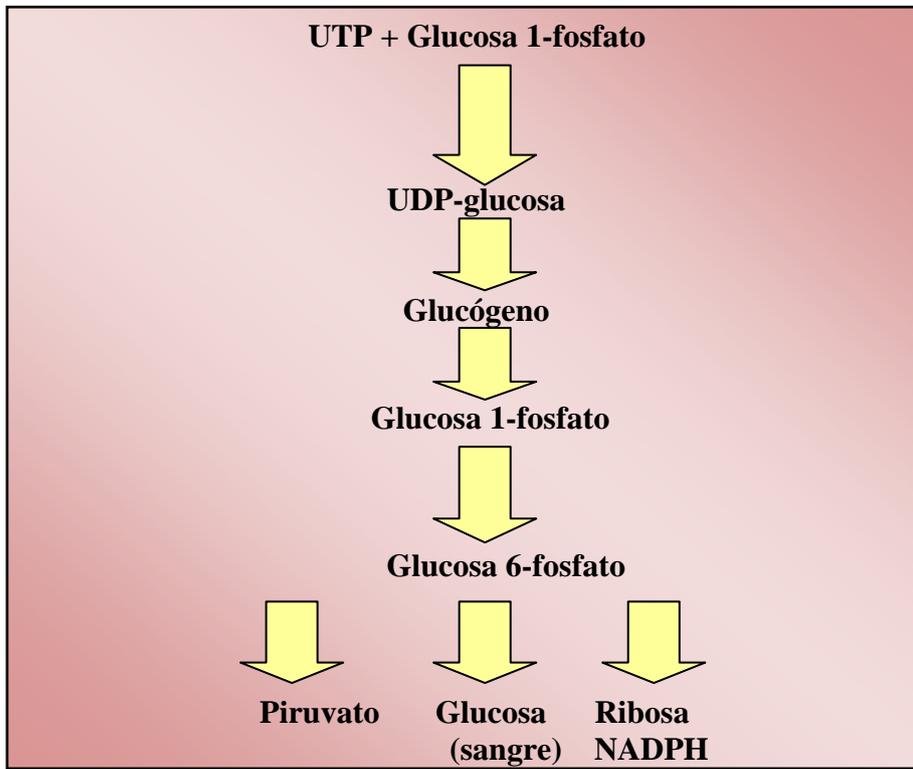


Figura 1.8. Síntesis y degradación del glucógeno.

La regulación del metabolismo del glucógeno se ejecuta a través de las dos enzimas; la glucógeno sintasa (GS) que participa en su síntesis, y la glucógeno fosforilasa en la degradación.

- La glucógeno sintasa tiene dos formas: glucógeno sintasa I (independiente de la presencia de glucosa 6 fosfato para su acción), que no está fosforilada y es activa, y la glucógeno sintasa D (dependiente de la presencia de glucosa 6 fosfato para su acción), que está fosforilada y es menos activa.

- La otra enzima, la glucógeno fosforilasa, también tiene dos formas: glucógeno fosforilasa b, menos activa, que no está fosforilada y la glucógeno fosforilasa a, activa, que está fosforilada.

Las hormonas adrenalina y glucagón activan las proteínas quinasas que fosforilan ambas enzimas, provocando activación de la glucógeno fosforilasa, estimulando la degradación del glucógeno; mientras que la glucógeno sintasa disminuye su actividad, lo que inhibe la síntesis de glucógeno.

La hormona insulina provoca la desfosforilación de las enzimas, en consecuencia la glucógeno fosforilasa se hace menos activa, y la glucógeno sintasa se activa, lo que favorece la síntesis de glucógeno.

Es decir, que hormonas como la adrenalina y el glucagón favorecen la degradación del glucógeno, mientras que la insulina estimula su síntesis.

Hasta hace poco tiempo, la fuente de la primera molécula de glucógeno que debería actuar como iniciador en la síntesis del glucógeno era desconocida. Se ha demostrado que una proteína llamada glucogenina se localiza en el núcleo de las moléculas de glucógeno (Alonso, Lomako et al. 1995; Smythe y Cohen, 1991). La glucogenina se caracteriza por la actividad autocatalítica que le permite transferir residuos de glucosa desde glucosa UDP hacia sí misma. Antes de que la glucogenina pueda sintetizar una molécula de glucógeno, se considera que la glucogenina y la glucógeno sintasa deben primero formar un complejo apretado / tirante 1:1 (Smythe y Cohen., 1991; Smythe, Watt y Cohen, 1990).

La glucogenina subsecuentemente genera un iniciador oligosacárido de residuos de glucosil 7-11, que sirve como sustrato para la glucógeno sintasa (figura 1.4). La enzima ramificante y la glucógeno sintasa entonces actúan para catalizar la formación de dos acervos fisiológicamente distintos de glucógeno: el proglucógeno y el macroglucógeno (Alonso et al.1995). La formación de proglucógeno ocurre primero y como se añaden más unidades de glucosil, el proglucógeno se expande hacia la forma del macroglucógeno (figura 1.4).

Los dos acervos de glucógeno tienen contenidos proteínicos idénticos pero se diferencian en el número de unidades de glucógeno, siendo el proglucógeno la entidad más pequeña de glucógeno con una masa molecular de hasta 4×10^5 Da, mientras que el macroglucógeno puede alcanzar una masa molecular de 10^7 kDa (Adamo y Graham, 1998; Adamo, Tarnopolsky y Graham, 1998).

Además, el proglucógeno y el macroglucógeno parecen diferenciarse en su velocidad de degradación y síntesis y en su sensibilidad a la manipulación dietética (Adamo et al. 1988; Asp et al. 1999).

Se ha informado que el proglucógeno es más sensible a CHO alimentarios y se sintetiza más rápidamente tras la reducción del glucógeno después del ejercicio, alcanzando una meseta después de 24 horas. Por otro lado, la síntesis del macroglucógeno es relativamente lenta y más constante y puede durar al menos 48 horas después del ejercicio (Adamo et al.1988). El acervo de macroglucógeno es también responsable de la supercompensación del glucógeno, observada cuando se

consume una dieta alta en CHO en los días que siguen al ejercicio de reducción de glucógeno (Adamo et al. 1988).

Según Jentjens y Jeukendrup (2003), en este momento, los mecanismos reguladores exactos de los dos acervos de glucógeno y el papel de la nutrición en la síntesis de estos acervos de glucógeno son muy desconocidos. La mayoría de los estudios han dado concentraciones totales de glucógeno muscular y no han distinguido entre los acervos de subglucógeno. Se necesitan nuevos estudios para comprender mejor los factores que regulan la balanza entre glucogenina, proglucógeno y macroglucógeno.

1.2. Las Fases Rápida y Lenta de la Síntesis del Glucógeno.

Varios estudios han demostrado que el patrón de la síntesis del glucógeno muscular tras la reducción de glucógeno inducido por el ejercicio ocurre en dos fases (Blom et al. 1987; Price, Rothman, Taylor et al. 1994).

Tras el análisis de diferentes estudios, se ha encontrado una relación exponencial entre la velocidad de la síntesis del glucógeno muscular y el tiempo de recuperación después del ejercicio (Robergs., 1991).

Inicialmente hay una fase rápida de síntesis del glucógeno que generalmente dura entre 30 y 60 minutos. Esta fase puede continuar sin la presencia de insulina (Maehlum et al. 1977; Piehl, 1974) y por esta razón también se la llama fase insulino independiente.

Se ha observado que la fase rápida sólo ocurre cuando las concentraciones de glucógeno muscular después del ejercicio están por debajo de 128-150 mmol/kg dw (Maehlum et al. 1977; Price, Rothman, Tayloret al. 1994) (peso seco) y el CHO se proporciona inmediatamente después del ejercicio (Ivy et al. 1988).

Siguiendo esta fase rápida de la síntesis del glucógeno, la síntesis del glucógeno muscular ocurre a una velocidad mucho más lenta (fase lenta o fase insulino dependiente) y, en presencia de disponibilidad de CHO y niveles altos de insulina, esta fase puede durar horas (Ivy, 1991) (figura 1.9).

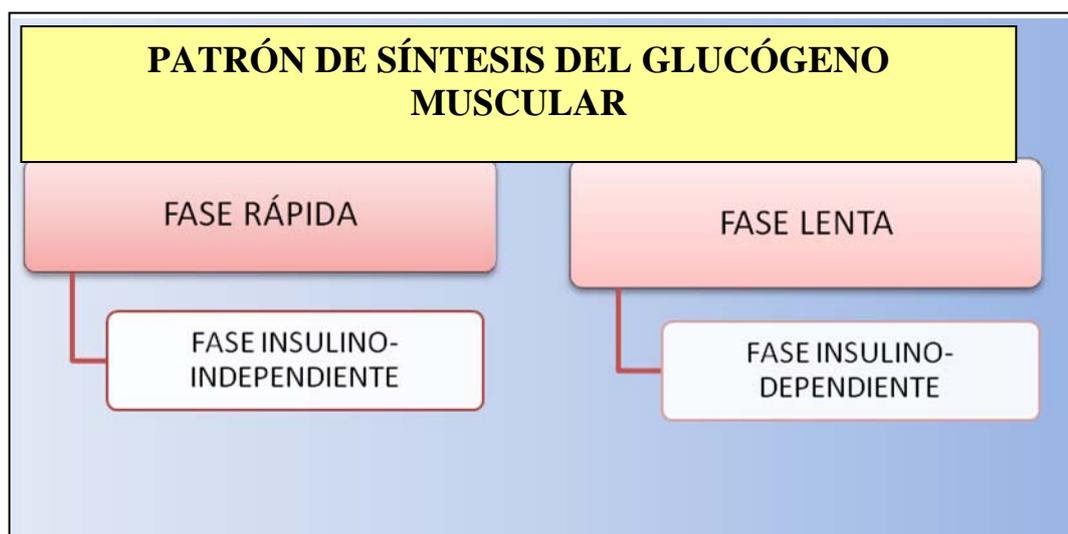


Figura 1.9. Fases de la síntesis del glucógeno muscular.

En las secciones 1.2.1 y 1.2.2 se discutirá sobre los mecanismos y los factores reguladores responsables de las dos fases de la síntesis del glucógeno muscular.

1.2.1. La Fase Rápida de la Síntesis del Glucógeno Muscular.

Uno de los mecanismo que puede contribuir a la fase rápida de la síntesis de glucógeno muscular es el incremento de la actividad de la enzima glucógeno-sintasa inmediatamente después del ejercicio (figura 1.10). Como otras muchas enzimas, esta enzima existe en una forma inactiva no-fosforilada (D) y una forma más activa fosforilada (I) (Danforth. 1965). La conversión de la glucógeno sintasa D en una forma más activa I envuelve la desfosforilación de la glucógeno sintasa D por medio de una enzima de glucógeno sintasa fosfatasa-I.

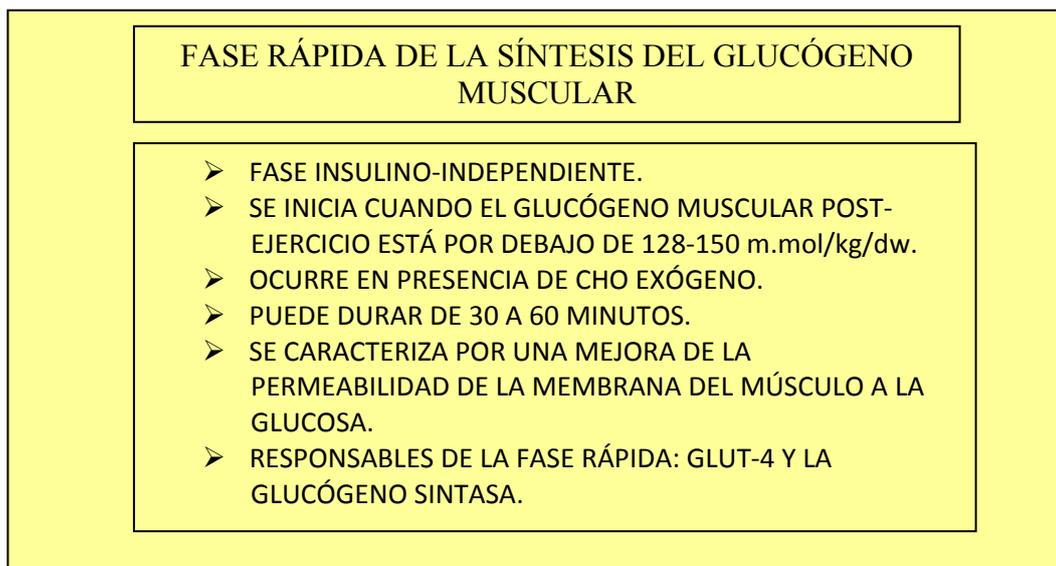


Figura 1.10. Características de la fase rápida de la síntesis del glucógeno muscular.

Se ha demostrado que tanto la contracción muscular como la insulina incrementan la actividad de la glucógeno sintasa (Cohen, 1986; Danforth, 1965; Friedman, Neuffer y Dohm, 1991; Kochan et al. 1979 Nielsen, Derave, Kristiansen, et al. 2001).

Varios estudios han demostrado una correlación negativa entre la concentración del glucógeno muscular y la actividad de la glucógeno sintasa tras el ejercicio (Montell, Arias y Gómez-Foix, 1999; Yan, Spencer y Katz, 1992; Zachwieja et al. 1991).

Nielsen et al. (2001) demostraron que la concentración de glucógeno muscular es un regulador mucho más potente de la actividad de la glucógeno sintasa que la sintasa o la contracción muscular.

Cuando la concentración de glucógeno disminuye, tanto la glucógeno sintasa fosfatasa como la glucógeno sintasa se liberan. La fosfatasa, activa entonces, cataliza la desfosforilación de glucógeno sintasa que la convierte a su forma I (Ivy y Kuo, 1998), que puede llevar a velocidades incrementadas en la síntesis de glucógeno (McCoy et al. 1996). Por eso es probable que la actividad incrementada de glucógeno sintasa inducida por concentraciones bajas de glucógeno muscular después del ejercicio sea en parte responsable de la fase rápida de la síntesis del glucógeno muscular.

Aunque esta enzima (la glucógeno sintasa) parece ser limitadora de la velocidad para la síntesis del glucógeno muscular, una velocidad rápida de la síntesis del glucógeno sólo puede continuar cuando está disponible la glucosa adecuada en el músculo. De esta forma, otro mecanismo importante responsable del rápido aumento del glucógeno muscular después del ejercicio podría ser un aumento prolongado en la permeabilidad de la membrana de las células musculares a glucosa

(Cartee et al. 1989; Holloszy y Narahara, 1965; Ivy y Holloszy, 1981). La relativa importancia de la glucógeno sintasa y el transporte de glucosa en el control de la velocidad de la síntesis del glucógeno se ha debatido durante años.

Recientemente, se ha puesto mucha atención en la importancia de los transportadores de glucosa en la determinación de la velocidad de la síntesis del glucógeno (Kuo, Hunt, Ding et al. 1999; Ren, Marshall, Gulve et al. 1993) y una hipótesis que se mantiene es que la mayor parte del control se hace a nivel del transportador de la glucosa (Ivy, 1998; Fisher, Nolte, Kawanaka et al. 2002).

Varios estudios hechos en animales (Goodyear, Hirshman, King y col., 1990; Kuo et al. 1999; Kuo, Browning, Ivy, 1999; Lund et al. 1995; Ren et al. 1994) y en humanos (Kraniou, Cameron-Smith, Misso et al. 2000; McCoy et al. 1996; Thorell et al. 1999) han mostrado que una sesión de ejercicio intenso puede iniciar un aumento en la expresión de la proteína muscular GLUT-4, que puede ser más elevada cuando se proporciona un suplemento de CHO después del ejercicio (Kuo et al. 1999).

Más importante aún, se ha encontrado una correlación positiva ($r = 0,63$) entre la concentración de proteína muscular GLUT-4 y el almacenaje de glucógeno en el músculo esquelético humano durante un periodo de 6 horas después del ejercicio (McCoy et al. 1996). Este hallazgo se mantiene más por los resultados de un estudio en ratones genéticamente modificados que tenían deficiencia de GLUT-4 (Ryder, Kawano, Galuska y col., 1999). Los niveles de glucógeno muscular se restablecieron completamente 5 horas después del ejercicio en músculos que

contenían GLUT-4, mientras que se observó acumulación no significativa de glucógeno en el músculo esquelético con falta de proteína GLUT-4 (Ryder, Kawano, Galuska et al. 1999).

Se ha sugerido que el aumento en el transporte de glucosa inmediatamente después del ejercicio es el resultado de un número incrementado de transportadores de GLUT-4 en la membrana del plasma más que en la capacidad de transporte incrementada de los transportadores de GLUT-4 (actividad intrínseca) (Hayashi , Wojtaszewski y Goodyear , 1997; Ivy y Kuo , 1998).

El mecanismo responsable de la traslocación de GLUT-4 producido por la contracción muscular es bastante desconocido. Posiblemente, algunas señales de la translocación del iniciador GLUT-4 en músculos en contracción sean: concentraciones incrementadas de Ca²⁺ intracelular, óxido nítrico y adenosina, la actividad incrementada de proteína cinasa AMP activada (AMPK) y concentraciones bajas de glucógeno muscular (figura 1.4) (Hayashi , Wojtaszewski y Goodyear , 1997; Richter , Derave y Wojtaszewski , 2001).

Parece ser que el transporte de glucosa, estimulado por el ejercicio, se regula por varios mecanismos de señalización intracelular que se activan en diferentes grados de acuerdo con las necesidades metabólicas del músculo. Así, mencionar que el contenido de glucógeno muscular puede ser un importante modulador de los eventos de señalización en el metabolismo de la glucosa durante y después del ejercicio (Hayash et al. 1997; Richter et al. 2001).

Fell et al. (1982) comprobaron que un contenido bajo de glucógeno muscular después del ejercicio se asocia con una velocidad incrementada del transporte de glucosa en los músculos y una capacidad incrementada para convertir glucosa en glucógeno.

Se ha encontrado una relación inversa entre la concentración de glucógeno muscular y el transporte de glucosa inducido por la contracción muscular y la insulina (Cartee et al. 1989; Derave et al. 1999; Ivy y Kuo, 1998; Kawanaka et al. 1999). Esto aumenta la posibilidad de que el glucógeno pueda tener algún control sobre el número de transportadores GLUT-4 que se pueden asociar activamente con la membrana plasmática (Ivy y Kuo, 1998).

El mecanismo por el cual el glucógeno debería controlar la concentración de proteína GLUT-4 en la membrana plasmática no se comprende completamente. Un posible mecanismo por el cual los niveles de glucógeno pudieran influenciar el transporte de glucosa es la unión de proteína GLUT-4 o de vesículas que contienen GLUT-4 a partículas de glucógeno (figura 1.4).

Coderre, Kandor, Vallega et al. (1995) postularon que una porción grande de vesículas que contienen GLUT-4 en el músculo esquelético se deberían unir al glucógeno. Esto sugiere que el número de vesículas que contienen GLUT-4 disponibles para la translocación, en respuesta a la insulina o la contracción, pueden incrementar cuando la concentración de glucógeno muscular es baja, y disminuir cuando la concentración de glucógeno muscular es alta (Derave et al. 1999).

En conclusión, la reducción de glucógeno después del ejercicio puede inducir a un aumento en el número de transportadores de GLUT-4 en la membrana plasmática y en un aumento de la actividad de la glucógeno sintasa, ambos posiblemente responsables de la fase rápida de la síntesis del glucógeno muscular.

1.2.2 La Fase Lenta de la Síntesis del Glucógeno Muscular.

La fase lenta de la síntesis del glucógeno muscular se caracteriza (figura 1.11) por un marcado aumento en la sensibilidad a la insulina que produce una mayor recepción de glucosa muscular y síntesis de glucógeno (Cartee et al. 1989).

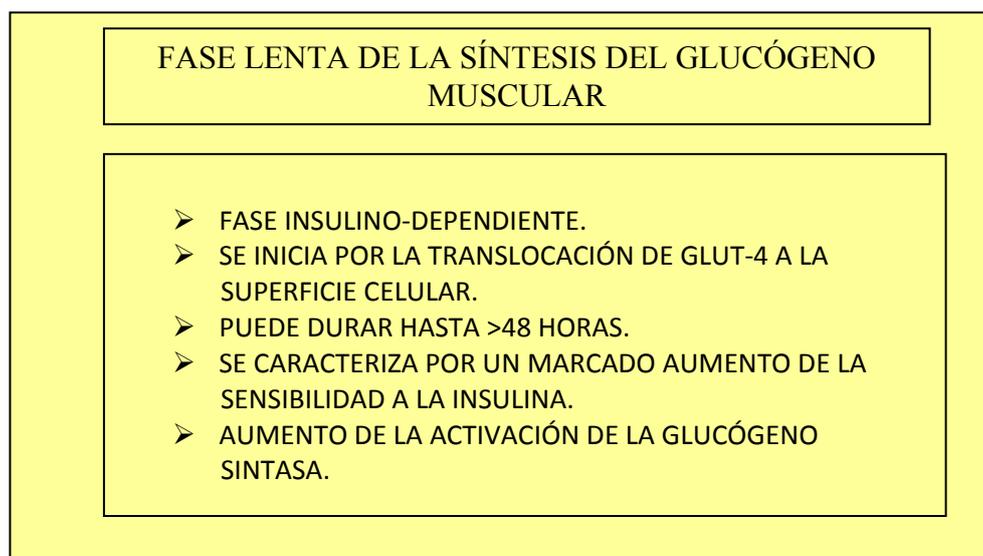


Figura 1.11. Características de la fase lenta de la síntesis del glucógeno muscular.

La sensibilidad a la insulina postejercicio se ve incrementada, de modo que la velocidad de síntesis de glucógeno es mayor, con lo se posibilita una rápida repleción de los depósitos de glucógeno depletados por el ejercicio.

La sensibilidad a la insulina se define como la concentración de insulina que provoca el 50% de la respuesta máxima (Borghouts y Keizer, 2000; Hansen, Nolte, Chen et al., 1998). El incremento de la sensibilidad a la insulina muscular después del ejercicio puede persistir durante un periodo de tiempo muy largo (>48 horas) dependiendo del consumo de CHO y de la magnitud de la concentración de glucógeno muscular (Cartee et al. 1989).

El incremento de la sensibilidad a la insulina y la recepción de glucógeno del músculo esquelético se observa habitualmente después de un solo turno de ejercicio (Borghouts y Keizer, 2000; Hayashi et al. 1997; Wojtaszewski, Hansen, Gade et al. 2000).

Hansen et al. (1998) han demostrado, que el aumento en el transporte de glucosa, que resulta del incremento de la sensibilidad a la insulina 3,5 horas después de un solo turno de ejercicio, se medió por la translocación de más transportadores de GLUT-4 a la superficie celular. Este aumento en la translocación de GLUT-4, casi igualó el aumento en la actividad de transporte de glucosa, lo que indica que un aumento en la actividad intrínseca del GLUT-4 no juega ningún papel en el aumento de la sensibilidad a la insulina producida por el ejercicio.

Recientemente, se ha demostrado que el ejercicio previo también aumenta la activación de la glucógeno sintasa, por el incremento de la sensibilidad a la insulina (Wojtaszewski et al. 2000).

El nivel de los depósitos de glucógeno en la célula muscular parece estar directamente relacionado con la capacidad de la insulina de activar tanto el transporte de glucosa, como la glucógeno sintasa (GS).

El mecanismo por el que se produce el incremento de la sensibilidad a la de insulina se comprende poco, pero se podría atribuir posiblemente a niveles bajos de glucógeno causados por el ejercicio (Nielsen et al. 2001; Wojtaszewski et al. 2000).

Diversos estudios han concluido que el incremento de la sensibilidad a la insulina muscular después del ejercicio se regula por una combinación de factores, incluyendo concentración de glucógeno muscular, factor (-es) de suero, AMPK y moléculas de señalización de insulina (Gao, Gulve y Holloszy, 1994; Laurent et al. 2000; Goodyear y Kahn, 1998; Hansen et al. 1998; Wojtaszewski et al. 2000; Derave et al. 2000).

CAPITULO 2.- MARCO CONCEPTUAL.
**ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA LA MEJORA
DEL RENDIMIENTO Y LA RECUPERACIÓN: BEBIDAS
CON CARBOHIDRATOS.**

CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 2. Estrategias nutricionales para la mejora del rendimiento y la recuperación. Bebidas con carbohidratos.

2.1. Temporalización en el Consumo de Carbohidratos (CHO).

2.2. Cantidad de CHO.

2.3. Tipo de CHO Ingerido.

2.4. Forma de la Toma de CHO.

2.5. Factores Relacionados con la Síntesis del Glucógeno después del Ejercicio.

2.5.1. Estado de entrenamiento.

2.5.2. Horario de comidas.

2.5.3. Magnitud de la pérdida de glucógeno muscular.

2.5.4. Tipos de fibras.

2.6. Limitaciones de la Síntesis del Glucógeno Muscular.

ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO Y LA RECUPERACIÓN: BEBIDAS CON CARBOHIDRATOS.

Como se ha tratado en el capítulo 1º, la principal causa de la aparición de la fatiga durante el ejercicio prolongado es la reducción del glucógeno muscular, principal fuente de combustible durante este tipo de ejercicio.

El restablecimiento de estas reservas después del ejercicio, en el menor tiempo posible, es uno de los objetivos fundamentales que se persiguen con las estrategias nutricionales que analizamos en los capítulos 2º y 3º de esta investigación.

Una vez tratado en el capítulo 1º como se lleva a cabo la regulación de la síntesis del glucógeno muscular y los factores de los que depende, pasamos a tratar una de las estrategias nutricionales más extendidas entre deportistas para favorecer el restablecimiento de glucógeno muscular perdido después de la actividad.

En este capítulo vamos a analizar la bibliografía más relevante que recoge los principales factores que determinan la velocidad de recuperación de las reservas de energía a través del consumo de hidratos de carbono (CHO) (figura 2.1).

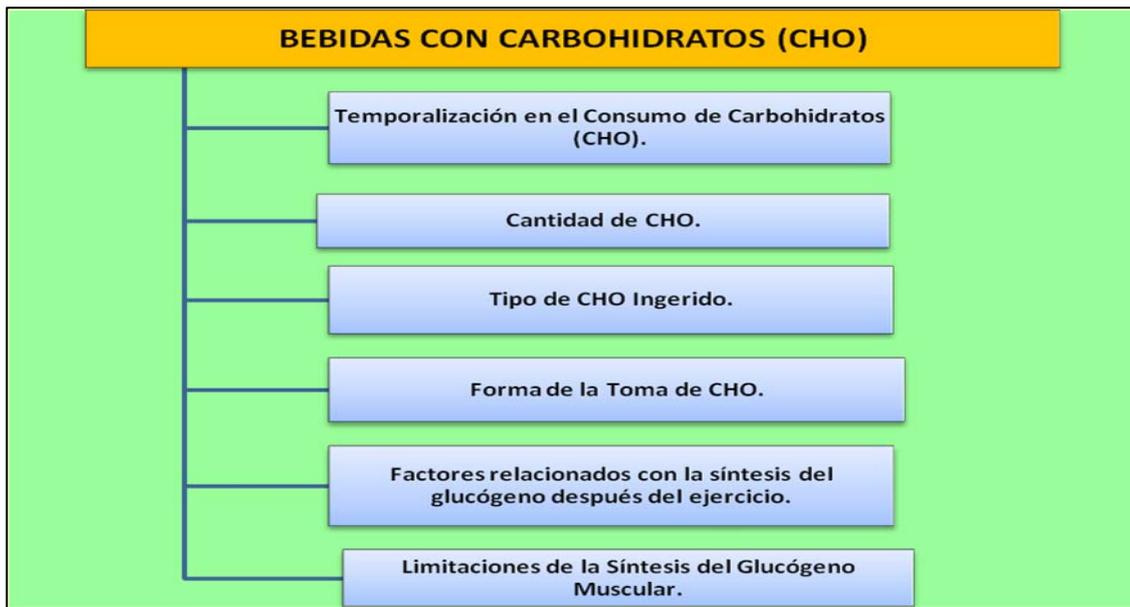


Figura 2.1. Estructura del capítulo 2°

La nutrición deportiva es un concepto complejo con características únicas para cada acto deportivo y cada deportista. Aunque la mayoría de los deportistas puedan satisfacer sus necesidades nutricionales antes y/o después del ejercicio, las actividades de prolongada duración requieren que los participantes dirijan también dichas necesidades durante el ejercicio. Los ejercicios de resistencia requieren la utilización de mayor cantidad de energía, lo que conlleva significativos incrementos en el consumo de carbohidratos y la oxidación de grasa. También pueden producirse pérdidas considerables de líquido y electrolitos a causa de la sudoración, sobre todo durante el ejercicio prolongando en situación de calor. Como consecuencia, la ingesta de líquido y nutrientes inadecuados durante la práctica del ejercicio de resistencia puede conducir a la deshidratación, hiponatremia (baja concentración de sodio en sangre), depleción glucogénica, hipoglucemia y fatiga central., Además, las deficiencias nutricionales durante una actividad prolongada pueden limitar la capacidad para una recuperación rápida tras el ejercicio, lo que puede afectar al rendimiento posterior, (Saunders, 2007).

Son numerosos los estudios que han investigado los enfoques nutricionales para minimizar estas cuestiones dando como resultado varias estrategias nutricionales que proporcionan efectos positivos para los deportistas de resistencia.

El consumo de carbohidratos durante el ejercicio prolongado con una duración de 2 horas o más casi siempre retrasa el inicio de la fatiga y mejora el rendimiento en actividades prolongadas, así como en actividades de menor duración y mayor intensidad (por ejemplo, ejercicio continuo que dure cerca de 1 hora y ejercicio intermitente de alta intensidad) (Jeukendrup, 2007).

Siguiendo a Jeukendrup (2007), en el ejercicio prolongado, una mayor contribución de los carbohidratos exógenos (carbohidratos ingeridos en bebidas u otros alimentos) ahorrará glucógeno hepático, prevendrá una caída en las concentraciones de glucosa en sangre y ayudará a mantener la tasa alta de oxidación de carbohidratos necesaria para sostener la intensidad del ejercicio. Sin embargo, aun cuando se ingieren carbohidratos, casi siempre hay un balance negativo de energía durante el ejercicio, es decir, el gasto de energía excede a su consumo. Por ejemplo, se ha reportado que en las principales carreras de ciclismo por etapas (incluyendo el Tour de France) los ciclistas ingieren en promedio 25 g de carbohidratos por hora (García-Roves et al., 1997, citado por Jeukendrup, 2007)). Esto es un consumo de energía de sólo 100 kcal/h, mientras que el gasto podría ser de al menos diez veces ese valor. En casos extremos de ejercicio que dure de 5-6 h, posiblemente esto podría ascender a un balance negativo de energía de 4000 a 5000 kcal.,

El balance de energía negativo que se desarrolla durante carreras extremadamente prolongadas tradicionalmente fue compensado por una cena pre-competencia excepcionalmente grande (Jeukendrup, Craig y Hawley, 2000); aún así, puede ser difícil para algunos atletas mantener el balance de energía (Saris, van Erp-Baart, Brouns, Westerterp y Hoor, 1989). Por supuesto, se necesita que la ingesta de energía durante la carrera no se restrinja a consumir sólo carbohidratos; también puede ingerirse grasa y proteína en un intento de minimizar el balance negativo de energía. Desafortunadamente, la grasa y la proteína pueden ser inhibidores potentes del vaciamiento gástrico, retrasando no sólo el suministro de energía, sino también de líquidos (Brouns y Beckers, 1993). Por estas razones, tiene sentido aumentar la ingesta de carbohidratos durante el ejercicio y así incrementar la oxidación de carbohidratos en los músculos que se ejercitan.

Sin embargo, ingerir demasiados carbohidratos puede tener efectos dañinos; las soluciones de carbohidratos altamente concentradas y las bebidas con una osmolalidad alta se han asociado con el desarrollo de malestar gastrointestinal (Rehrer, van Kemenade, Meester, Brouns y Saris ,1992a). Así, los atletas deben encontrar el balance apropiado entre ingerir suficientes carbohidratos para suministrar energía extra, pero no demasiados como para aumentar el riesgo de malestar gastrointestinal., Hay otros factores que complican la ingesta de carbohidratos: el desarrollo de malestar gastrointestinal parece ser muy individualizado y es dependiente de la intensidad y duración del ejercicio, el estado de hidratación, condiciones ambientales y otros factores (Jeukendrup, 2007).

El mecanismo causal de los efectos benéficos de la ingesta de carbohidratos

para el ejercicio que dura cerca de 1 h y tal vez para el ejercicio intermitente (algunas veces con duración mayor a 1 h) parece ser diferente que para el ejercicio continuo más prolongado y está asociado con efectos en el sistema nervioso central., Al comparar con el ejercicio más prolongado, se requiere ingerir menores cantidades de carbohidratos para el ejercicio de menor duración. Al igual que con el ejercicio prolongado, existe la posibilidad de malestar gastrointestinal si un atleta ingiere demasiados carbohidratos durante el ejercicio de alta intensidad (Jeukendrup, 2007).

La ingesta de bebidas con CHO, estimulan el balance del fluido y la euglucemia y aumentan el rendimiento durante actividades de resistencia de larga duración (Coggan y Coley, 1991; Coley, 2004; Jaukendrup, 2004; Toone y Betts, 2010; Tsintzas, Liu, Williams, Campbell y Gaitanos, 1993; Tsintzas, Williams, Bobbis y Greenhaff, 1996). Las pautas tradicionales sugieren ingerir bebidas isotónicas con el 4-8% de carbohidratos en intervalos regulares durante el ejercicio para mantener aproximadamente entre 600-1400ml de líquido y entre 30-60g de carbohidratos por hora (American College of Sport Medicine, et al., 2000, Coleman, 1988, Coggan and Coley, 1991 and Coley, 2004).

Varias investigaciones han demostrado que la ingestión de hidratos de carbono (16-75 g / hr) durante el ejercicio de más de 1 hora de duración puede mejorar la resistencia y el rendimiento al proporcionar una fuente de combustible para mantener los niveles de glucosa en sangre mientras que se produce un ahorro del glucógeno muscular (Bosch, Weltan, Dennis y Noakes, 1996; Burke, Kiens e Ivy, 2004; Febbraio, Chiu, Angus, Arkinstall y Hawley, 2000; Ivy, Res, Sprague, y Widzer, 2003; Jeukendrup, 2004; Van Essen y Gibala, 2006).

La ingestión de carbohidratos (1-1,2 g/kg/h) a intervalos frecuentes después del ejercicio (a menos de 30 minutos del cese del ejercicio y después del mismo, cada hora hasta 4 horas) después del ejercicio también ha demostrado ser beneficiosos en la restauración de glucógeno muscular y la mejora de la recuperación tras el ejercicio (Burke, Kiens e Ivy, 2004; Hiedra et al., 2002; Van Loon et al., 2000).

Los mecanismos por los que se produce la fatiga durante el ejercicio exhaustivo prolongado, se debe a una inadecuada oxidación de los carbohidratos, lo que produce una disminución de la glucosa en el plasma dando como resultado, algunas veces, una hipoglicemia, la cual limita la oxidación de los carbohidratos y causa fatiga muscular. Mantener las concentraciones de glucosa sanguínea y las tasas relativamente altas de oxidación de carbohidratos pueden mejorar el rendimiento durante el ejercicio (Jeukendrup, 2007).

La ingesta de carbohidratos durante el ejercicio exhaustivo mantiene la oxidación de la glucosa de la sangre y retrasa la fatiga de 30 - 60 min. Durante los últimos estadios de una prueba de ciclismo prolongado, cuando el glucógeno muscular es bajo, parece que la glucosa sanguínea puede proveer energía de los carbohidratos a tasas suficientes necesarias como para hacer esfuerzos al ~75 % del VO_2 máx., en ciclistas bien entrenados (Coley, 1994).

El consumo de soluciones de carbohidratos y electrolitos (CE) se recomienda comúnmente para ejercicios intensos de 1 hora de duración o más (Casa et al., 2000; Sawka, Burke, Eichner, Maughan, Montain y Stachenfeld, 2007).

La capacidad de estas bebidas para mantener los niveles de glucosa, sustituir electrolitos y las pérdidas de agua las hace ergogénicas para una gran variedad de ejercicios de resistencia (Coyle, 2004). Del mismo modo, la cafeína es comúnmente ingerida por los atletas debido a sus propiedades ergogénicas (Doherty y Smith, 2004). La ingestión de cafeína siempre se ha asociado con la capacidad de mejora de la resistencia (Doherty y Smith, 2004), sobre todo para pruebas de resistencia donde el protocolo utilizado sea completar una distancia fija lo más rápidamente posible o la producción de la mayor cantidad de trabajo posible en un determinado período de tiempo, como por ejemplo las pruebas contrarreloj (Hopkins, Hawley y Burke, 1999).

Varios estudios recientes (Ganio, 2010; Rollo y Williams, 2009; Rollo y Williams, 2010), han centrado sus investigaciones en los efectos ergogénicos de la ingesta de bebidas con carbohidratos y electrolitos en el rendimiento, concretamente en deportes como la carrera (Rollo y Williams, 2009; Rollo y Williams, 2010) y de carbohidratos y electrolitos, más cafeína, carnitina, taurina, vitaminas B (CE +) y en el ciclismo (Ganio, 2010).

Ganio (2010), observó una mejora en el rendimiento con la ingestión de la bebida (CE +). Esta mejora pudo deberse a los efectos de la cafeína sobre el SNC o de los efectos independientes o sinérgico de estos compuestos (cafeína más carnitina, taurina, vitaminas B).

A pesar de la utilización de la CE + en escenarios deportivos, hay pocos estudios sobre la capacidad de la CE + para mejorar el rendimiento. CE + puede

(Cureton, Millard-Stafford, Wingo, Trilk y Buyckx, 2007; Ganio, 2010) o no (Van Nieuwenhoven, Brouns y Kovacs, 2005) mejorar el rendimiento de resistencia en comparación con un placebo. Del mismo modo, cuando los hidratos de carbono y electrolitos se consumen con sólo cafeína (CE + CAF), el rendimiento de resistencia (utilizando como medida el tiempo de prueba) puede (Cox et al., 2002) o no puede (Jacobson, Febbraio, Arkininstall, y Hawley, 2001) mejorar.

Rollo y Williams (2009), investigaron la influencia de la ingesta de una solución 6,4% CHO-E, frente a una bebida placebo, que se administró 30 minutos antes de la prueba y cada 15 minutos durante la misma, en la distancia total completado durante una prueba de rendimiento de 1-hr en ejecución.

Con la ingestión de una solución 6,4% CHO-E se observó un aumento de la distancia recorrida durante 1 hora de carrera en cinta y un aumento de la concentración de glucosa en sangre antes de la prueba.

En otro estudio posterior de estos mismos autores reciente, en el que utilizaron el mismo protocolo, no se obtuvieron mejoras en el rendimiento. La diferencia entre los estudios se basó en que en el primero (Rollo y Williams, 2009) los corredores realizaron un ayuno previo al ejercicio y el 2º estudio (Rollo y Williams, 2010) los corredores fueron sometidos a una dieta rica en carbohidratos previa al ejercicio.

Tras la ingestión de una dieta rica en carbohidratos y el descanso adecuado, la disponibilidad de sustrato debería ser suficiente para el desempeño de una

contrarreloj aproximadamente 1 h de duración (McConell, Canny, Daddo, Nance et al., 2000; Sherman, Costill, Fink y Miller, 1981). Sin embargo, los ayunos prolongados (10-12 h) antes del ejercicio reducen las reservas de glucógeno hepático, así que puede poner en peligro la contribución de la glucosa en sangre para el metabolismo muscular durante el ejercicio (Nilsson y Hultman, 1974). Por lo tanto, la ingestión de una solución con carbohidratos y electrolitos inmediatamente antes y durante el ejercicio puede ayudar a superar las consecuencias de una reducción de glucógeno en el hígado, inducida por el ayuno.

Otra estrategia nutricional, que trataremos en el capítulo 3º, cada vez más utilizada por deportistas, que mejora el rendimiento en ejercicios de resistencia, reduce los indicadores del daño muscular y mejora la recuperación después del ejercicio, es la utilización de bebidas que contienen proteína combinada con carbohidrato (CHO +P).

2.1. Temporalización en el Consumo de Carbohidratos (CHO).

Diversos estudios han demostrado que la ingesta de CHO, para conseguir una mayor velocidad en la síntesis de glucógeno muscular, tras la realización de un ejercicio, no debe demorarse más de 2 horas.

Así, un estudio de Ivy, Katz, Cutler et al., (1988) observó que cuando se retrasa unas 2 horas el consumo de CHO después del ejercicio, la velocidad de síntesis del glucógeno muscular disminuye por debajo del 45%, en comparación con la ingesta de CHO inmediatamente después del ejercicio (tabla 2.1). Los autores

sugirieron que la reducción en la velocidad del almacenaje del glucógeno muscular era el resultado de una menor recepción de glucosa muscular. El aumento en el transporte de glucosa producido por el ejercicio, se invierte rápidamente en la ausencia de CHO. (Cartee , Young, Slepper et al., 1989; Goodyear , Hirshman, King et al., 1990).

Siguiendo esta línea de estudio, Goodyear, Hirshman, King et al., (1990) demostraron que 2 horas después del ejercicio, el número de transportadores de glucosa asociados a la membrana del plasma del músculo esquelético, habían vuelto a las concentraciones de antes del ejercicio. Por eso, no es improbable, que un retraso en el consumo de CHO después del ejercicio (Ivy, Katz, Cutler et al., 1988) fuera acompañado por un número reducido de transportadores de glucosa, lo que podría contribuir a velocidades más bajas en la síntesis del glucógeno muscular.

En otro estudio de Parkin, Carey, Martin et al., (1997) se retrasó unas dos horas la ingestión de una comida con un alto índice glucémico, lo que no afectó a la velocidad de la síntesis del glucógeno muscular durante un periodo de 8 horas después del ejercicio. Estos resultados parecen estar en contraste con los resultados previos obtenidos por Ivy et al., (1988) Sin embargo, este último estudio (Ivy et al., 1988), la velocidad de la síntesis del glucógeno muscular fue determinada sobre 4 horas después del ejercicio, mientras que en el de Parkin et al., (1997) calcularon velocidades en la síntesis del glucógeno muscular en un periodo de 8 horas.

Es posible que las velocidades en la síntesis del glucógeno muscular, en el estudio de Parkin et al., (1997) fueran más altas en el periodo inicial (las primeras

4-6 horas después del ejercicio) con una ingesta inmediata de CHO, comparado con una ingesta de CHO retrasada. Se debería advertir que en los participantes a los que se les administro la ingesta inmediata de CHO, ingirieron 0,8 g/kg/h durante las primeras 4 horas después del ejercicio y no se les administró CHO de ahí en adelante. No se puede descartar que si la ingesta de CHO hubiera sido continuada en un segundo periodo de 4 horas, esto debería haber dado como consecuencia un mayor almacenaje de glucógeno muscular 8 horas después del ejercicio.

Diversos estudios han demostrado que se produce un aumento de la síntesis neta de proteínas del cuerpo y piernas, y también el depósito neto de proteínas, cuando se consumen nutrientes inmediatamente después del ejercicio a diferencia de 3 horas más tarde.(Levenhagen, Gresham, Carlson , Maron, Borel y Flakoll , 2001).

Estos datos y los de Ivy et al., (1988) indican que la temporalización de la toma de nutrientes después del ejercicio puede afectar tanto a la velocidad de la síntesis del glucógeno muscular, como a la síntesis entera de las proteínas del cuerpo y piernas.

En estudios que han comparado los efectos ergogénicos de la ingesta de bebidas con carbohidratos, electrolitos y electrolitos más cafeína, taurina, vitaminas B, se han encontrado mejoras cuando la ingesta se realiza antes y durante el ejercicio (Rollo y Williams, 2009 ; Rollo y Williams, 2010).

Tras la ingestión de una dieta rica en carbohidratos el descanso adecuado, la disponibilidad de sustrato debería ser suficiente para el desempeño de contrarreloj

aproximadamente 1 h de duración (McConnell et al., 2000; Sherman et al., 1981). Sin embargo, los ayunos prolongados (10-12 h) antes del ejercicio reducen las reservas de glucógeno hepático, así que puede poner en peligro la contribución de de glucosa en sangre para el metabolismo muscular durante el ejercicio (Nilsson y Hultman, 1973). Por lo tanto, la ingestión de una solución con carbohidratos y electrolitos inmediatamente antes y durante el ejercicio puede ayudar a superar las consecuencias de una reducción de glucógeno en el hígado, inducida por el ayuno.

En el estado de saciedad, sin embargo, el glucógeno del hígado no está comprometido, por lo que la ingestión de hidratos de carbono-electrolitos pueden contribuir menos ,al aportar menos al metabolismo de los carbohidratos y al rendimiento durante el ejercicio (Jentjens, Cale, Gutch y Jeukendrup, 2003).

Tabla 2.1. Revisión bibliográfica de las investigaciones sobre la síntesis de glucógeno después del ejercicio muscular durante la recuperación a corto plazo (<8h) adaptado y ampliado de Jentjens y Jeukendrup (2003).

| Participantes | VO2max (ml/kg) | Protocolo de ejercicio | CHO ingerido (g/h) | CHO ingerido (g/kg/h) | Tiempo (Horas) ^b | Ingesta de otros nutrientes | Glucogeno postejercicio (mmol/kr dw) | Período (horas) ^c | Velocidad de síntesis del glucogeno (mmol/kr/dw) | Referencias Bibliográficas |
|---------------|----------------|---|--------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|
| 8 varones | | Ejercicio para depletar el glucógeno | 70 (Infusión) | 1 | 0-4 | | 33.3 | 0-4 | 85 | Bergström y Hultman (1967) |
| | | Sin ejercicio | 70 (infusión) | 1 | 0-4 | | 325 | 0-4 | 11.5 | |
| 5 varones | 51.5 | Ciclismo hasta el agotamiento, | 14 (glucosa) | 0.18 | 0.2 y 4 | | 137 | 0-5 | 9.0 | Blom y col., (1987) |
| 5 | 53.4 | int. 20 min | 26 glu | 0.35 | 0.2 y 4 | | 64 | 0-5 | 24.8 | Blom (1989) |
| 5 | 58.0 | 75% vo2max | 52 glu | 0.70 | 0.2 y 4 | | 98 | 0-5 | 24.4 | |
| 5 | 58.0 | | 26 sucr | 0.35 | 0.2 y 4 | | 34 | 0-5 | 26.5 | |
| 7 | 57.8 | | 25 fruct | 0.35 | 0.2 y 4 | | 98 | 0-5 | 13.7 | |
| 5 varones | 51.6 | Ciclismo hasta el agotamiento, int. 20 min 75% vo2max | 80.6 | 1.4/0.7/0.7 | 0.1 y 2 | | 94 | 0-3 | 40.0 | Blom (1989) |
| | | | 32 (infusión) | 0.37 | 0-3 | | 60 | 0-3 | 35.6 | |
| 4 varones | | Ciclismo al 70% vo2max hasta el agotamiento | | 0.35 | 0.2, 4 y 6 | | | 0-8 | 8.4 | Blom y col., (1980) |
| 4 | | | | 0.7 | | | | | 18.9 | |
| 4 | | | | 1.0 | | | | | 23.0 | |
| 7 varones | 42.3 | Ciclismo 30 min al 70% vo2max, 6x 1min. 140% vo2max y 45 min. Al 70% vo2max | 30.5 glucosa | 0.4 | 0 | | 50 | 0-2 | 22.7 | Bowtell (2000) |
| | | | 30.5 glu | 0.4 | 0 | | 34 | 0-2 | 17.4 | |
| | | | 20.6 sucr | 0.27 | 0 | | 21 | 0-2 | 14.7 | |
| 7 varones | 38.9 | Ciclismo 30 min al 70% vo2max, 6x 1min. 140% vo2max | 30.5 | 0.4 | 0-0.33 | | | 0-2 | 21.6 | Bowtell (1999) |
| | | | 30.5 | 0.4 | 0-0.33 | 8g glutamina | | 0-2 | 19.3 | |
| 8 varones | 55.7 | Ciclismo 75 min al 70% vo2max, 6x 1min. 125% al 70% vo2max | 75.4 | 1 | 0, 0.5h hasta 3.5h | | 107 | 0-4 | 31 | Carrithers y col., (2000) |
| | | | 53.4 | 0.71 | | Proteína+ Grasa | 118 | 0-4 | 28 | |
| | | | 64.8 | 0.86 | | Aminoácidos | 87 | 0-4 | 29 | |
| 8 varones | | Ciclismo hasta el agotamiento, con 1 pierna | 76 | 1.4/0.8/0.8 | 0.1 y 2 | | 25 | 0-3 | 40 | Casey y col., (1995) |
| | | | | | | | 18 (I) | 0-3 | 40.6 | |
| | | | | | | | 33 (II) | 0-3 | 30.3 | |

| Participantes | VO2max (ml/kg) | Protocolo de ejercicio | CHO ingerido (g/h) | CHO ingerido (g/kg/h) | Tiempo (Horas) ^b | Ingesta de otros nutrientes | Glucogeno postejercicio (mmol/kr dw) | Periodo (horas) ^c | Velocidad de síntesis del glucogeno ((mmol/kr/dw) | Referencias Bibliográficas |
|----------------------|----------------|--|--|-----------------------|-------------------------------|---|--------------------------------------|------------------------------|---|-----------------------------|
| 5 varones | 47 | Ciclismo hasta el agotamiento, 70% vo2max | 0 | 0 | | | 92.5 | 0-4 | 7 | Maehlum y col., (1978) |
| 6 varones | 43.4 | Ciclismo hasta el agotamiento, 70% vo2max | 40 | 0.55 | 0.25 | | 68 | 0-2.5 | 27.6 | Maehlum y col., (1978) |
| 11 varones | | 2h de ciclismo, int. 70-100% vo2max | 77 | 1.0 | 0.2 y 4 | | 116 | 0-6 | 37.4 | McCoy y col., (1996) |
| 6 varones | 60.5 | Ciclismo al 70% vo2max, 2h+4x30s sprints. | 31 31 | 0.4 0.4 | 0.2 y 4 0.2 y 6 | Pro+grasa Pro+grasa | 80 90 | 0-8 0-8 | 28.0 28.8 | Parkin y col., (1997) |
| 4 varones | 55.0 | Natación, carrera y ciclismo hasta el agotamiento | 36 | 0.51 | 2 | Pro+grasa | 98 | 0-5 | 35.1 | Piehl y col., (1974) |
| 13 varones | | 60 min de carrera en cinta rodante+60 min de ciclismo submáximo+sprints cortos hasta el agotamiento. | 150 84 mosmol/L 350 mosm/L 84 mosmol/L 350 Mosmol/L | 1.8 | 0, 0.5, 1 y 1.5 | | 53 58 | 0-2 0-2 2-4 2-4 | 50.2 29.9 18.8 23.2 | Piehl y col., (2000) |
| 8 varones | 51.0 | 2 h de ciclismo, 15min int. al 60-65% y 70-75% vo2max | 55.9 liquid 55.9 solido 55.9 infusio | 0.75 0.75 0.75 | 0 y 2 0 y 2 0-4 | | 119 105 131 | 0-4 0-4 0-4 | 21.8 23.5 24.0 | Reed y col., (1989) |
| 8 varones | | Ejercicio prolongado con una sola pierna. | | 2.0 | 0-4 | | | 0-4 | 85 | Roch-Norlund y col., (1972) |
| 10 varones | | Aprox. 1h y 20min. de ejercicio con todo el cuerpo. | 87 57 0 | 1 0.66 0 | 0 y 1 0 y 1 0 y 1 | Pro+grasa | 235 220 247 | 0-4 0-4 0-4 | 19.3 23.0 2.0 | Roy y col., (1998) |
| 8 varones | 56.9 | Ejercicios de bicicleta, 90 min al 65% Vo2max | 55 73 | 0.75 1.0 | 0 y 1 0 y 1 | Pro+grasa | 142 163 | 0-4 0-4 | 25.5 40.0 | Tarnopolsky y col., (1997) |
| 8 mujeres | 51.7 | | 46 61 | 0.75 1.0 | 0 y 1 0 y 1 | Pro+grasa | 142 163 | 0-4 0-4 | 23.5 34.5 | |
| 16 (varones/mujeres) | | Ejercicios de bicicleta, 90 min al 65% Vo2max | 0 | 0.0 | 0 y 1 | | 210 | 0-4 | 6.8 | |
| 5 varones | 61 | Ciclismo hasta el agotamiento: 2 min.int.a intensidad entre 50 y 90% vo2max | 88(sucrosa) 88(sucrosa) 0 | 1.2 1.2 0.0 | 0, 0.25, 0.5 hasta 4h | Hidrol. de proteína de suero | 90 69 78 | 0-4 0-4 0-4 | 40.5 38.3 12.0 | Van Hall y col., (2000) |
| 6 varones | | Ciclismo hasta el agotamiento: 2 min.int.a | 57.6 57.6 57.6 | 0.8 0.8 0.8 | 0.1 y 2 0.1 y 2 0.1 y 2 | Glutamina Hidrol. trigo Hidrol. suero | | 0-3 0-3 0-3 | 28.0 26.0 33.0 | Van Hall y col., (2000) |

2.2. Cantidad de CHO.

La resíntesis de las reservas de glucógeno depende de la cantidad de hidratos de carbono ingeridos. La cantidad óptima de carbohidratos ingeridos debe ser idealmente la cantidad que resulte en la máxima tasa de oxidación de carbohidratos exógenos sin causar malestar gastrointestinal (Jeukendrup, 2007).

Se han encontrado velocidades en la síntesis de glucógeno muscular más bajas cuando no se ingiere CHO después del ejercicio (7-12 mmol/kg dw/h). (Van Hall et al., 2000; Ivy et al., 1988; Maehlum y Hermansen, 1978; Tarnopolsky, Bosman, MacDonald et al., 1997).

La velocidad de almacenaje de glucógeno muscular, cuando se administra un suplemento de CHO inmediatamente después del ejercicio está en un intervalo de 20-50 mmol/ kg dw (peso seco)/h (tabla 2.1). (Blom, Hostmark, Vaage et al., 1987; Blom, 1989; Ivy et al., 1988; Maehlum, Hostmark y Hermansen, 1977; Maehlum, Felig y Wahren, 1978; Piehl Aulin, Soderlund y Hultman, 2000; Reed, Brozinick, Lee et al., 1989; Tarnopolsky et al., 1997; Zachwieja, Costill y Pascoe, 1991).

Sólo unos pocos estudios han investigado directamente el efecto de diferentes cantidades en la ingesta de CHO en las velocidades de síntesis de glucógeno muscular. (Blom et al., 1987; Ivy, Lee, Brozinick et al., 1988) Blom et al., (1987) demostraron que incrementando el consumo de CHO de 0,18 a 0,35 g/kg/h aumentaba la velocidad de almacenaje del glucógeno en más de un 150% (de 9,0 a 24,8 mmol/kg dw(peso seco)/h). Sin embargo, aumentando más la toma de

CHO de 0,35 a 0,7 g/kg/h no se consiguió un aumento en la velocidad de almacenaje del glucógeno muscular. Este estudio se corrobora con los resultados obtenidos en el estudio de Ivy et al., (1988) donde se investigó el efecto de la ingesta de CHO en cantidades moderadas y altas, sobre la síntesis de glucógeno muscular durante un periodo de 4 horas después del ejercicio. No se encontró ninguna diferencia en las velocidades de síntesis de glucógeno muscular cuando se proporcionó 0,75 o 1,5 g/kg/h de CHO.

Sin embargo, diversos estudios (Casey, Short, Hultman et al., 1995; McCoy, Proieto y Hargreaves, 1996; Piehl Aulin et al., 2000; Tarnopolsky et al., 1997; Van Hall et al., 2000; Van Loon, Saris, Kruijshoop y Wagenmakers, 2000b) han encontrado velocidades en la síntesis de glucógeno que eran más altas que las velocidades máximas de síntesis de glucógeno observadas en el estudio de Blom et al., (1987). Hay que tener en cuenta que Blom et al., (1987) observaron una velocidad remarcablemente alta en la síntesis del glucógeno cuando se ingerían 0,35 g/kg/h de CHO, lo que puede explicar el porqué no se encontró aumento en la síntesis del glucógeno muscular con un consumo más elevado de CHO (0,7 g/kg/h).

En el estudio de Van Loon et al., (2000b) se demostró que cuando la ingesta de CHO se aumentaba de 0,8 a 1,2 g/kg/h se produce una velocidad más altas en la síntesis de glucógeno muscular (16,6 vs 35,4 mmol/Kg dw (peso seco)/h, respectivamente). En este estudio, se proporcionaron suplementos de CHO en intervalos de 30 minutos, mientras que estudios en los que no se encontraron diferencias en las velocidades en la síntesis del glucógeno muscular con aumento del consumo de CHO, se proporcionó CHO en intervalos de 2 horas (Blom et al., 1987;

Ivy et al., 1988). Esto sugiere que los suplementos de CHO proporcionados en intervalos de 2 horas no pueden aumentar de forma adecuada y mantener la glucosa en sangre y los niveles de insulina durante 2 horas, (Ivy, 1998) lo que podría explicar la discrepancia entre los resultados de Van Loon et al., (2000b) y los resultados de otros. (Blom et al., 1987; Ivy et al., 1988). Esto podría indicar que pequeñas ingestas frecuentes de CHO dan como resultado diferentes velocidades de vaciado gástrico que una ingesta grande de CHO y esto debería aumentar la disponibilidad de glucosa para la síntesis de glucógeno muscular.

Sin embargo, se ha demostrado que un bolo grande se vacíe más rápidamente desde el estómago que un bolo pequeño. (Rehrer, Brouns, Beckers et al., 1994) Es entonces probable que el volumen total de vaciado desde el estómago en un cierto periodo de tiempo (o sea, en un periodo de 3 horas) no sea diferente cuando se proporcionan pequeñas tomas frecuentes, comparado con una o dos tomas grandes y por lo tanto, es improbable que las diferencias en el vaciado gástrico sean responsables del aumento de la velocidad en la síntesis del glucógeno.

Otros estudios también han obtenido velocidades muy altas en la síntesis del glucógeno (entre 40 y 43 mmol/kg dw (peso seco)/h) cuando se consumió 1,0-1,85 g/kg/h de CHO en intervalos frecuentes de 15 a 60 minutos, durante un periodo de recuperación de 3 a 4 horas, (Casey et al., 1995; Piehl Aulin et al., 2000; Doyle, Sherman y Strauss, 1993; Jentjens et al., 2001; Van Loon et al., 2000b), lo cual apoya los hallazgos de Van Loon et al., 2000b).

Aunque la cantidad de ingesta de CHO parece ser un factor importante para determinar la velocidad de la síntesis de glucógeno muscular, actualmente no se sabe cuánto CHO se necesita consumir después del ejercicio para maximizar la velocidad de síntesis de glucógeno muscular. La figura 2.2 ilustra las velocidades máximas obtenidas en la síntesis de glucógeno muscular en estudios donde se realizaron ingestas de diferentes cantidades de CHO en las primeras horas después del ejercicio. Esta gráfica muestra una tendencia hacia una velocidad más alta en la síntesis del glucógeno cuando se ingiere más CHO, aunque sin una estabilización clara.

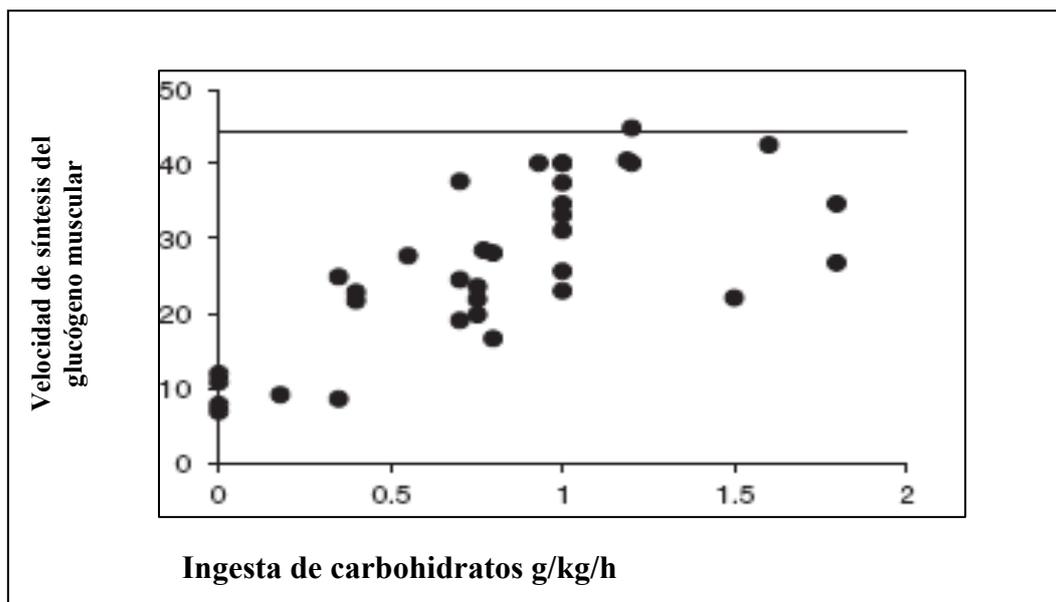


Figura 2.2 Adaptada de Jentjens y Jeukendrup (2003).

Además, se puede ver que a una cantidad dada de consumo de CHO, existe una gran variabilidad en la velocidad de la síntesis del glucógeno. Esto debería ser por las diferencias en los protocolos experimentales.

Otra razón para evitar la ingesta de soluciones con altas concentraciones de carbohidratos es que se ha demostrado que tales soluciones retrasan el vaciamiento gástrico y la absorción de líquidos. Pero el retraso del aporte de líquido se lleva al mínimo cuando se ingieren combinaciones de múltiples carbohidratos transportables.

Jentjens, Underwood, Achten, Currell, Mann y Jeukendrup (2006) observaron que el aporte de líquidos con una solución de glucosa más fructosa es mayor que con una solución de glucosa. Ambas soluciones de carbohidratos contenían cerca de 15 g de carbohidratos por 100 ml (es decir, una solución de carbohidratos al 15%), y tales soluciones con altas concentraciones de carbohidratos normalmente afectarían la entrega de líquidos. De manera interesante, la tasa de aporte de líquidos a la sangre con la bebida de glucosa más fructosa estuvo más cerca a la del agua sola que la de sólo glucosa. No obstante, en ambientes calientes y húmedos, especialmente a intensidades de ejercicio relativamente bajas, el aporte de líquidos es más importante que el aporte de carbohidratos y los atletas deben consumir soluciones de carbohidratos menos concentradas.

Considerando las limitaciones al comparar diferentes estudios, parece razonable concluir que las velocidades máximas en la síntesis del glucógeno ocurren

a un consumo de CHO de aproximadamente 1,2 g/kg/h. Está claro que la velocidad en el consumo de CHO para obtener velocidades máximas en la síntesis del glucógeno es más alta que las sugeridas anteriormente por algunos autores (Blom, et al., 1987; Ivy, 1998).

2.3. Tipo de CHO Ingerido.

Siguiendo a MacMillan (2002), los lípidos y carbohidratos son los principales sustratos energéticos utilizados por los músculos durante el ejercicio (Gollnick, Pernow, Essen, Jansson y Saltin, 1981). Mientras las reservas corporales de energía en forma de grasa son suficientes para muchos días de actividad, los depósitos de carbohidrato (glucógeno muscular y hepático) habitualmente no superan las 2000 calorías y pueden ser depletados en menos de una hora de ejercicio físico intenso (Gollnick, Piehl y Saltin, 1974; Riché, 1998).

Esto plantea al deportista la necesidad de reponer adecuadamente el glucógeno en base a una alimentación rica en carbohidratos y de desarrollar una óptima utilización de la grasa como combustible. Ambos objetivos están íntimamente relacionados con los niveles de glicemia y la secreción de insulina, hormona clave para la regulación del metabolismo de glúcidos y lípidos (Pilardeau, 1995). Como la glicemia y la insulinemia están condicionados por la velocidad de absorción del carbohidrato, la elección adecuada de la ración alimentaria según el tipo de carbohidrato puede determinar finalmente su comportamiento metabólico (Pilardeau, 1995; Kien, Richter, 1998).

Como hemos mencionado con anterioridad, al principio de este capítulo, durante el ejercicio prolongado, los beneficios en el rendimiento de la ingesta de carbohidratos probablemente se alcanzan por el mantenimiento o la elevación de las concentraciones de glucosa en plasma y el mantenimiento de tasas altas de oxidación de carbohidratos.

Algunos tipos de carbohidratos provenientes de una sola fuente se oxidan más rápidamente que otros (Jeukendrup et al., 2000b). Pueden dividirse en dos categorías arbitrarias: carbohidratos que pueden oxidarse a tasas de hasta aproximadamente 30 g/h y hasta 60 g/h (Figura 2.2.)

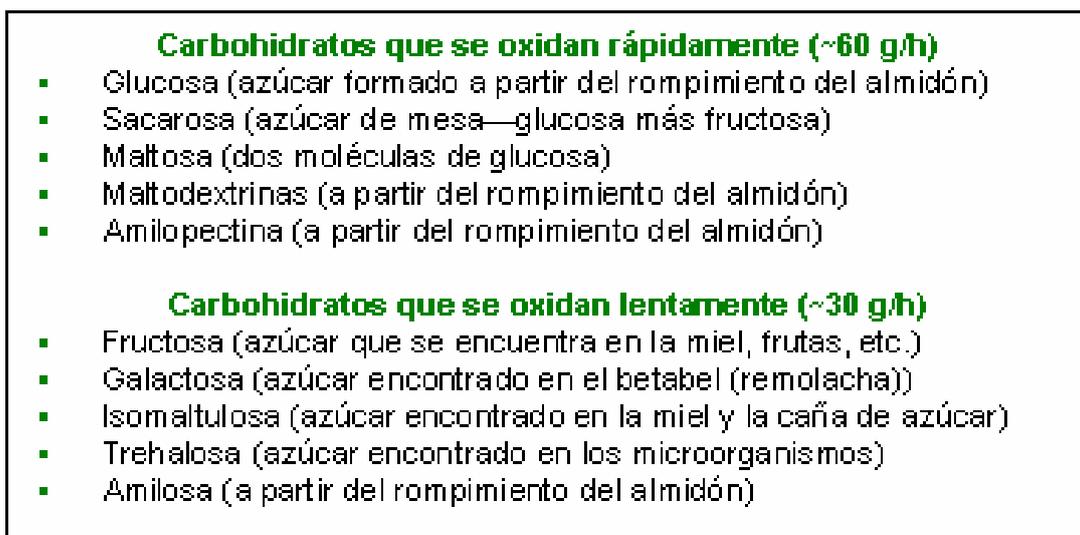


Figura 2.2. Tasas de oxidación de carbohidratos (Jeukendrup, 2007).

Los carbohidratos de un sola fuente, tal como la glucosa, sólo pueden oxidarse a tasas de aproximadamente 60 g/h. Cuando se ingiere una combinación de carbohidratos (por ej., glucosa y fructosa) se pueden alcanzar tasas de oxidación ligeramente mayores a 100 g/h si se ingieren grandes cantidades de carbohidratos (por ej., > 140 g/h) (Jeukendrup, 2007).

Son varios los factores que pueden influir en la oxidación de los carbohidratos exógenos suministrados en líquidos y alimentos sólidos, incluyendo el plan de alimentación, tipo y cantidad de los carbohidratos ingeridos y la intensidad del ejercicio. Estos factores afectan de manera independiente la tasa de oxidación de carbohidratos.

- **Cantidad de carbohidratos.**

La cantidad óptima de carbohidratos ingeridos debe ser idealmente la cantidad que resulte en la máxima tasa de oxidación de carbohidratos exógenos sin causar malestar gastrointestinal.,

Autores como Jeukendrup, Wagenmakers, Stegen, Gijsen, Brouns y Saris (1999) y Wallis, Yeo, Blannin y Jeukendrup (2007) han concluido que la tasa máxima a la cual una sola fuente de carbohidratos ingeridos puede oxidarse es alrededor de 60-70 g/h. Las tasas más altas de oxidación de glucosa exógena y el mayor ahorro de carbohidratos endógenos se observaron cuando se ingirieron carbohidratos a tasas moderadas (60 g/h) durante el ejercicio (Wallis et al., 2007). Este conocimiento implica que los atletas que ingieran un solo tipo de carbohidratos deben ingerir cerca de 60-70 g/h para un aporte óptimo de carbohidratos. Ingerir una cantidad mayor a esto no aumentará las tasas de oxidación de carbohidratos y es probable que se asocie a malestar gastrointestinal (Jeukendrup, 2007).

En la figura 2.3., adaptada de Jeukendrup (2004), se recogen varios estudios que investigan la oxidación de carbohidratos exógenos (ingeridos) durante el

ejercicio. La tasa de oxidación está trazada en relación a la tasa de ingesta. En verde están los valores provenientes de estudios en los cuáles se usó un solo tipo de carbohidratos. En negro están las tasas de oxidación de combinaciones de múltiples tipos de carbohidratos. La línea verde es una estimación del promedio de todos los estudios con un solo tipo de carbohidratos y la línea negra para los estudios de transporte de múltiples carbohidratos. Conforme aumenta la cantidad ingerida, también aumenta la tasa de oxidación, pero sólo hasta cierto punto. Ingerir más de 60-70 g/h de un solo tipo de carbohidratos no ocasionará un aumento adicional en su tasa de oxidación y es probable que el exceso se acumule en el intestino. Sin embargo, si se ingieren múltiples tipos de carbohidratos a tasas altas, puede lograrse un aumento en las tasas máximas de oxidación de carbohidratos exógenos, tal vez debido a que múltiples tipos de carbohidratos estimulan diferentes mecanismos de transporte para ser transferidos del intestino a la sangre y por lo tanto aumentar su aporte a los músculos.

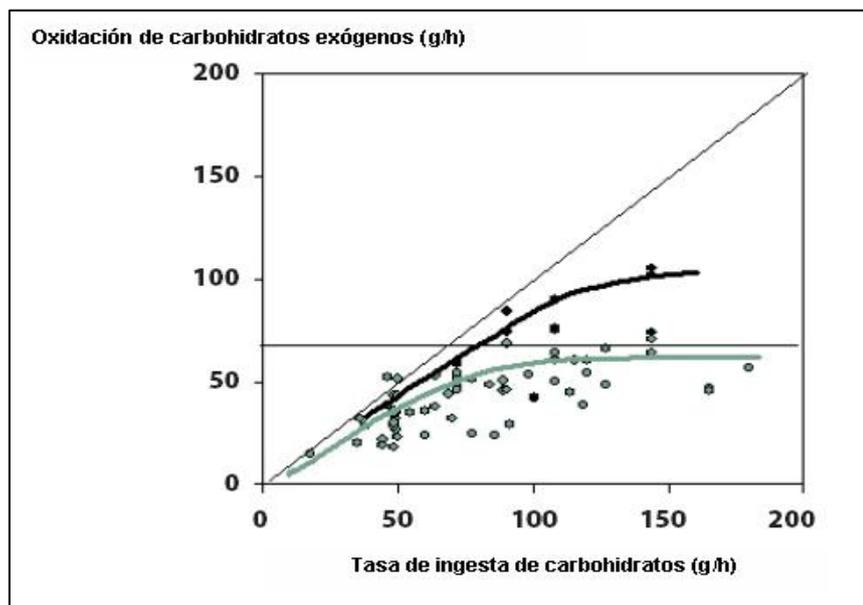


Figura 2.3. Oxidación de los carbohidratos ingeridos.

Conforme aumenta la cantidad ingerida, también aumenta la tasa de oxidación, pero sólo hasta cierto punto. Ingerir más de 60-70 g/h de un solo tipo de carbohidratos no ocasionará un aumento adicional en su tasa de oxidación y es probable que el exceso se acumule en el intestino. Sin embargo, si se ingieren múltiples tipos de carbohidratos a tasas altas, puede lograrse un aumento en las tasas máximas de oxidación de carbohidratos exógenos, tal vez debido a que múltiples tipos de carbohidratos estimulan diferentes mecanismos de transporte para ser transferidos del intestino a la sangre y por lo tanto aumentar su aporte a los músculos.

- **Tipo de carbohidratos (transporte de múltiples carbohidratos).**

Determinar el tipo de carbohidrato de la bebida de modo que el índice glucémico sea el más alto posible es un parámetro muy importante. Parece que la sacarosa (azúcar de mesa), los polímeros de glucosa (maltodextrina) o la combinación de diferentes CHO se absorben mejor que la glucosa. La ventaja que aporta la maltodextrina es su reducida osmolaridad, lo que permite una mayor absorción de agua (Villegas, Martínez, Abellán, Pérez, Vidal y Alemán, 2006).

Como ha sido revisado por Jeukendrup (2004), es probable que la oxidación de un solo tipo de carbohidratos exógenos esté limitada a aproximadamente 60 g/h debido a que hay una limitación en su tasa de absorción intestinal. Se ha sugerido que al ingerir tasas altas de una sola fuente de carbohidratos (por ej., glucosa o fructosa o maltodextrinas), las proteínas transportadoras específicas que ayudan a que se absorba ese carbohidrato desde el intestino se saturan. Una vez que esto

ocurre, consumir más de este tipo de carbohidrato no resultará en una mayor absorción intestinal y aumento en las tasas de oxidación.

Jentjens, Moseley, Waring, Harding y Jeukendrup (2004a); Jentjens, Venables y Jeukendrup (2004b); Jentjens, Achten y Jeukendrup (2004c); Jentjens, R. L., and A. E. Jeukendrup (2005a); Jentjens, Shaw, Birtles, Waring, Harding y Jeukendrup (2005b); Jentjens et al., (2006); Wallis et al., (2007), observaron tasas de oxidación muy altas con combinaciones de glucosa más fructosa, con maltodextrinas más fructosa y con glucosa más sacarosa más fructosa. Las tasas más altas se observaron con una mezcla de glucosa y fructosa ingerida a una tasa de 144 g/h. Con este régimen de alimentación, la oxidación de carbohidratos exógenos llegó a un máximo de 105 g/h. Esto es 75% mayor que lo que previamente se pensó era el máximo absoluto.

- **Intensidad del ejercicio.**

Con el aumento de la intensidad del ejercicio, la masa muscular activa progresivamente llega a ser más dependiente de los carbohidratos como fuente de energía. Sin embargo, la oxidación de los carbohidratos exógenos parece mantenerse constante a intensidades de 50-60% del VO_2 max o mayores (Pirnay et al., 1982).

Siguiendo a Jenkins, Wolever y Taylor (1981) y Wolever, Jenkins, Jenkins et al., (1991), los CHOs o comidas con CHO pueden ser funcionalmente clasificadas de acuerdo con el incremento de los niveles de glucosa en sangre. Esto ha llevado al

concepto de *Índice Glucémico* (IG), que es una medida para la respuesta de glucosa en sangre observada después de ingerir un cierto producto alimentario con una cierta cantidad de glucosa (normalmente 50 g), comparado con la respuesta de glucosa en sangre observada cuando se ingiere una cantidad igual de glucosa pura o pan blanco (con una cantidad igual de glucosa).

En la figura 2.4. se observan los cambios en la glucemia postprandial tras el consumo de glucosa, pan blanco y pan integral., Utilizando la glucosa como patrón, el área bajo su curva glucémica se establece en un valor arbitrario de 100 unidades. Al comparar las áreas de las curvas asociadas a otros alimentos con esa área, se obtienen los índices glucémicos de dichos alimentos.

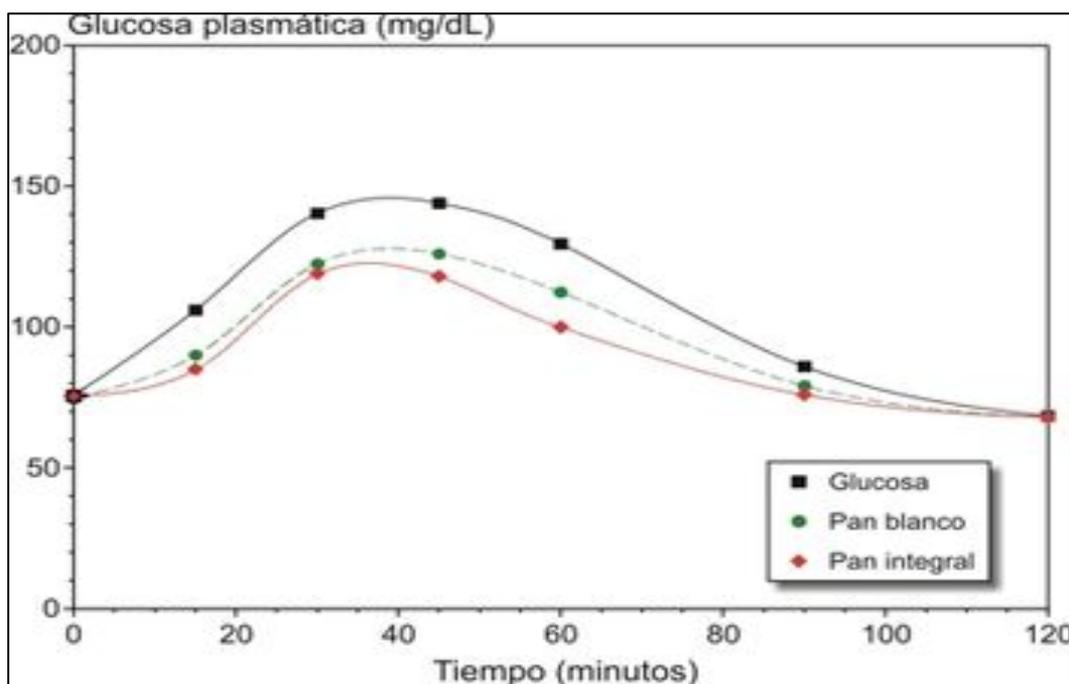


Figura 2.4. Cambios que se producen en los niveles de glucemia tras de alimentos con diferente I.G, tomado de Wolever et al.,(1991).

El IG refleja la velocidad de la digestión y absorción de una comida rica en CHO (o una ingesta de solo CHO) y está influenciada por factores cambiantes incluyendo:

- Tipo de CHO.
- Contenido de grasa dietética, proteína y fibra presente en la comida (Wolever et al., 1991).

Según Pérez-Guisado (2009), el tipo de hidrato de carbono ingerido puede influir en la velocidad de síntesis del glucógeno, de tal forma que se ha comprobado que la glucosa y la sacarosa son igual de efectivas cuando se consumen en rangos del orden de 1,5 g/kg de peso cada 2 h, mientras que la fructosa es menos efectiva (Blom et al., 1988).

Tabla 2.2. Consumo óptimo y tipo de carbohidratos durante el ejercicio.

| EVENTO | COSTO ENERGÉTICO | INGESTA DE CARBOHIDRATOS RECOMENDADA PARA UN RENDIMIENTO ÓPTIMO | TIPO DE CARBOHIDRATOS |
|--|------------------|---|---|
| Ejercicio máximo con duración menor a 45 min (Sprints en bicicleta; La mayoría de los eventos de natación; La mayoría de los eventos de carrera – incluyendo carrera de 10 km) | >18 kcal/min | No se requiere | |
| Ejercicio Máximo con duración de 45-60 min (Ciclismo: prueba contrareloj de 1 km; Juego intenso de básquetbol; Fútbol: 1 tiempo) | 14-18 kcal/min | Menos de 30 g/h | Glucosa, sacarosa, maltosa, maltodextrinas, amilopectina, fructosa, galactosa, isomaltulosa, trehalosa, amilosa |
| Deportes de equipo con duración ~90 min (Partido de fútbol) | 5-10 kcal/min | Hasta 50 g/h | Glucosa, sacarosa, maltosa, maltodextrinas, amilopectina, fructosa, galactosa, isomaltulosa, trehalosa, amilosa |
| Ejercicio submáximo con duración mayor a 2 h | 5-7 kcal/min | Hasta 60 g/h | Glucosa, sacarosa, maltosa, maltodextrinas, amilopectina, fructosa, galactosa, isomaltulosa, |

| | | |
|--|-------------------------------|---|
| (Partido de tenis recreativo: Ciclismo recreativo; Excursionismo y orientación) | | trehalosa, amilosa |
| Ejercicio máximo o cercano al máximo con duración de más de 2 h (Carrera de maratón; Ciclismo: actividad individual; Partido de tenis competitivo; Carrera en ski de 50 km) | 7-10 kcal/min 50- 70 g/h | Glucosa, sacarosa, maltosa, maltodextrinas, amilopectina |
| Triatlón Ironman, Tour de France (Carrera por etapas) | 10-14 kcal/min 60-90 g/h | Sólo puede lograrse al ingerir múltiples tipos de carbohidratos: glucosa, fructosa, sacarosa, maltodextrinas, amilopectina, etc |

Los resultados parecen ser claros en cuanto al tipo de hidrato de carbono para emplear, ya que los que tienen alto índice glucémico, como la glucosa, la sacarosa y los almidones ricos en amilopectina, se transforman en glucógeno mucho más rápidamente que los hidratos de carbono con bajo índice glucémico, como la fructosa o los almidones ricos en amilosa. (Butterfield , Gates , Fleming , Brooks , Sutton y Reeves, 1992; Calders , Matthys , Derave y Pannier , 1999; Ivy , 2000). Esta diferencia en el índice glucémico entre amilosa-amilopectina se debe a las diferentes conformaciones estructurales que presentan y que hacen que la amilopectina sea atacada con mayor facilidad por las enzimas digestivas (Pérez-Guisado, 2008).

Se ha comprobado que la glucosa y la sacarosa son igual de efectivas cuando se consumen en rangos del orden de 1,5 g/kg de peso cada 2 h, mientras que la fructosa es menos efectiva (Blom et al.,1988).

Números estudios, han comparado el efecto de tomas de solo CHO y comidas con CHO que difieren en el IG sobre la síntesis del glucógeno muscular.

Algunos han comprobado velocidades bajas en la síntesis del glucógeno muscular cuando se ingiere fructosa (bajo IG) comparado con la ingesta de glucosa (alto IG). (Blom et al., 1987; Conlee, Lawler y Ross, 1987; Van den Bergh, Houtman, Heerschap et al., 1996) Esto es posible a causa de una velocidad de absorción más lenta de la fructosa por el intestino (Fujisawa, Mulligan, Wada et al., 1993; Henry, Crapo y Thorburn, 1991) y el hecho de que la fructosa requiere la conversión a glucosa por el hígado antes de que pueda ser metabolizado en el músculo esquelético. (Henry et al., 1991; Mayes, 1993).

Así, cuando se requieren velocidades altas en la síntesis del glucógeno muscular, la ingesta de glucosa se prefiere por encima de la fructosa. Sin embargo, una infusión de fructosa puede ser más beneficiosa en la restauración del glucógeno hepático comparado con una infusión de glucosa, ya que da lugar a velocidades más altas en la síntesis de glucógeno hepático. (Conlee et al., 1987; Nilsson y Hultman, 1974).

Otros estudios han encontrado velocidades similares en la síntesis del glucógeno muscular cuando se ingiere tanto glucosa como sucrosa (moderado IG) (Blom et al., 1987; Casey, Mann, Banister et al., 2000). La sucrosa contiene cantidades equimolares de glucosa y fructosa y por consiguiente, sólo la mitad de la cantidad de glucosa está directamente disponible para la síntesis del glucógeno

muscular. Esto parece deberse a que la fructosa, en virtud de su metabolismo predominante en el hígado en comparación con la glucosa, puede inhibir el consumo de glucosa hepática después del ejercicio y a causa de esta glucosa de más puede escapar del hígado y puede estar disponible para la síntesis del glucógeno muscular (Blom et al., 1987).

Sin embargo, en un estudio de Bowtell, Gelly, Jackman et al., (2000) se consiguió un mayor almacenaje de glucógeno muscular después de consumir una bebida de polímero de glucosa (que contiene 61 g de CHO) que una bebida de de sucrosa (Bowtell et al., 2000). La discrepancia entre estos hallazgos y los de Blom et al., (1987) se puede atribuir a diferencias en la duración del periodo de suplementación y/o la cantidad de CHO proporcionada (2 horas contra 5 y 61 g contra 130, respectivamente).

En un estudio de Van Hall et al., (2000) se observaron velocidades altas en la síntesis del glucógeno muscular ($\sim 40,5$ mmol/kg dw (peso seco)/h) cuando se ingirieron grandes cantidades de sucrosa ($\sim 1,2$ g/kg/h) durante un periodo de 4 horas después del ejercicio.

En un estudio de Jentjens y Jeukendrup (2003), las velocidades encontradas en la síntesis del glucógeno después de la ingesta de sucrosa fueron casi similares a aquellas obtenidas en otros estudios después de la ingesta de glucosa (Jentjens et al., 2001 y Van Loon et al., 2000b). Así, cuando se ingieren cantidades de moderadas a grandes de sucrosa después del ejercicio esto puede dar velocidades similares en la síntesis del glucógeno comparado con cantidades correspondientes de glucosa.

Concluyendo, ya que el almacenaje de glucógeno está influenciado tanto por la insulina como por un suministro rápido de glucosa al músculo esquelético, se ha propuesto que comidas con alto IG pueden aumentar la síntesis de glucógeno después del ejercicio por encima de comidas con IG moderado y alto. (Burke, Collier y Hargreaves, 1998). Kiens y Richter (1998) y otros Burke et al., (1998) compararon las velocidades en la síntesis del glucógeno muscular después del ejercicio tras ingerir dietas con alto contenido en CHO, pero que se diferenciaron en el IG. Después de la realización de un ejercicio para reducir el glucógeno se proporcionó a los participantes una dieta isocalórica de IG bajo o alto, cada una de las cuales proporcionaba un 70% de la energía desde CHO. Se observó que los niveles de insulina del plasma estaban en un promedio del 98% más alto durante las primeras 6 horas después del ejercicio cuando se consumió la dieta de IG alto y las concentraciones de glucosa del plasma fueron similares entre las dos dietas. La dieta de CHO con alto IG dio como resultado velocidades ~61% más altas en la síntesis del glucógeno muscular comparadas con la dieta de CHO con bajo IG (40 contra 24 mmol/kg dw (peso seco)/h).

La velocidad en la síntesis del glucógeno muscular observadas después del consumo de la dieta de CHO con alto IG fue casi similar a las velocidades en la síntesis de glucógeno encontradas en estudios en los que los participantes habían ingerido grandes cantidades de CHO (~1,2 g/kg/h) (Van Hall et al., 2000; Jentjens et al., 2001; Van Loon et al., 2000b).

Desafortunadamente, no se ha informado sobre la cantidad exacta de CHO presente en las dietas en los estudios de Kiens, Raben, Valeur et al., (1990) que hace difícil las comparaciones con otros estudios. Sin embargo, los datos indican claramente que cuando se ingiere una dieta de CHO con alto IG (tabla 2.3), se obtienen velocidades más altas en la síntesis del glucógeno muscular durante las horas iniciales, después del ejercicio.

Tabla 2.3. Listado de índices glucémicos, adaptado de D'Assisi (2003)

| Lista de los Índices Glucémicos Básicos | | | |
|--|-----|---|-----|
| Índice Glucémico Alto "Carbohidratos Malos" | | Índice Glucémico Bajo "Carbohidratos Buenos" | |
| Maltosa (Azúcar de Cerveza) | 100 | Arroz Integral | 50 |
| Glucosa (Marcador de glucemia) | 100 | Pan de Trigo | 50 |
| Pan blanco | 95 | Pasta de Trigo | 45 |
| Papas | 95 | Alubias verdes frescas | 40 |
| Miel, mermelada o jalea | 90 | Avena | 40 |
| Copos de maíz, pochoclo | 85 | Pan de centeno | 40 |
| Zanahorias | 85 | Guisantes verdes | 40 |
| Azúcar refinada | 75 | Cereales de grano integral | 35 |
| Maíz | 70 | Productos lácteos | 35 |
| Remolachas | 70 | Arroz silvestre | 35 |
| Arroz blanco | 70 | Frutas frescas | 35 |
| Pasteles, pastas | 70 | Lentejas | 30 |
| Papas hervidas | 70 | Grabansos | 30 |
| Pastas con harina blanca | 65 | Alubias, guisantes secos | 30 |
| Bananas | 60 | Soja (la mayoría) | 15 |
| Pasas de uva | 60 | Vegetales verdes | <15 |

2.4. Forma de la ingesta de CHO

Hay muy pocos estudios sobre cuál es la forma más beneficiosa de administrar los suplementos de CHO después del ejercicio.

Sólo se han realizado dos estudios para investigar el efecto de comidas líquidas contra sólidas con CHO (con un alto IG) sobre la síntesis del glucógeno en las primeras horas después del ejercicio (tabla 2.1) (Keizer, Kuipers y Van Kranenburg., 1987; Reed et al., 1989).

Keizer et al., (1987) demostraron que las velocidades en la síntesis del glucógeno eran similares después del consumo de comida con CHO líquidas o sólidas (24,8 contra 24,6 mmol/kg dw (peso seco)/h, respectivamente). Por lo tanto, se puede concluir que tanto las comidas con CHO líquidas como las sólidas (con un alto IG) son igualmente efectivas proporcionando CHO para la síntesis del glucógeno muscular después del ejercicio (Coleman, 1994; Keizer et al., 1987; Reed et al., 1989). Esto es algo sorprendente ya que los suplementos líquidos de CHO se vacían más rápidamente del estómago y se digieren más fácilmente que los sólidos (Rehrer et al., 1994). Sin embargo, se debería advertir que en los estudios descritos anteriormente la velocidad de toma de CHO fue relativamente baja (0,75-0,85 g/kg/h). No se puede descartar que cuando se consumen grandes cantidades de CHO, las tomas líquidas de CHO puedan dar como resultado velocidades más altas en la síntesis del glucógeno muscular que las sólidas.

Recientemente, Saunders et al., (2007), han utilizado en un estudio para comparar los beneficios de los CHO o CHO+P en una prueba de ciclismo hasta el agotamiento, ingestas en forma del gel.

Normalmente se recomiendan las formas líquidas de CHO porque la absorción y entrega de fluido es más rápida desde una solución comparada con la comida sólida y de este modo la rehidratación se mejorará.

2.5. Factores Relacionados con la Síntesis del Glucógeno después del Ejercicio.

En la figura 2.5. recogemos los principales factores que están relacionados con la síntesis del glucógeno muscular después del ejercicio.

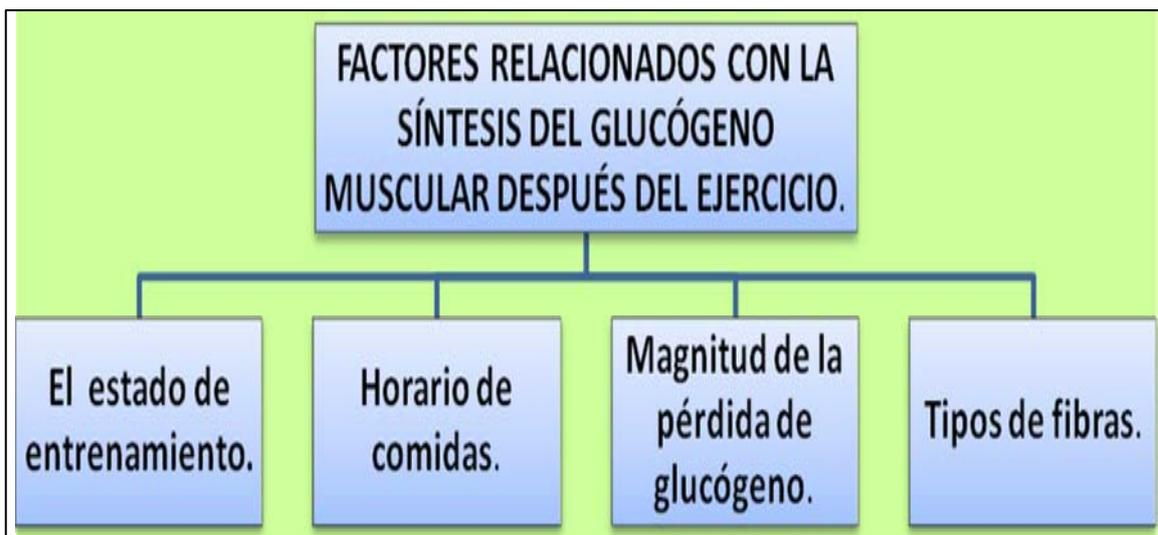


Figura 2.5. Factores relacionados con la síntesis del glucógeno muscular post-ejercicio.

2.5.1. El Estado de Entrenamiento.

El ejercicio físico es un importante estímulo para la regulación de múltiples procesos metabólicos y transcripcionales en el músculo esquelético. Por ejemplo, el ejercicio incrementa la captación de glucosa, la perfusión capilar, la velocidad de síntesis de glucógeno, la sensibilidad a la insulina, lleva a una remodelación estructural de las células y a una hipertrofia compensatoria.

El entrenamiento produce diversas adaptaciones a nivel muscular que pueden contribuir a que haya una mayor sensibilidad a la insulina (Borghouts y Keizer , 2000; Ebeling , Bourey , Konanyi et al., 1993; Goodyear y Kahn, 1998; Hardin, Azzarelli , Edwards et al., 1995) como son:

- Mayor contenido de GLUT-4 (Gulve y Spina, 1995; Host, Hansen , Nolte et al., 1998; Philips , Han , Green et al., 1996).
- Transducción de la señal de insulina (Houmard, Shaw , Hickey et al., 1999; Kirwan , del Aguila , Hernandez et al., 2000).
- Incremento del flujo de sanguíneo (Ebeling et al., 1993; Hardin et al., 1995).

Todas estas adaptaciones favorecen la captación de glucosa y posiblemente podría llevar a un aumento de la velocidad de síntesis del glucógeno muscular. Es por ello probable que atletas entrenados tengan velocidades más altas en la síntesis de glucógeno que individuos que son sedentarios.

Estudios como los llevados a cabo por Jentjens, y Jeukendrup (2003), confirman que se produce una mayor velocidad de almacenaje de glucógeno muscular en individuos entrenados, que en no entrenados.

Hickner , Fisher , Hansenet al., (1997), después de un ejercicio de reducción de glucógeno, proporcionaron a 6 ciclistas entrenados y a 6 desentrenados, comidas con alto contenido en CHO, suministrando 1,4 g/kg/h de CHO durante las primeras

6 horas después del ejercicio. La velocidad de almacenaje del glucógeno muscular fue dos veces mayor en los ciclistas entrenados que en los desentrenados (51 contra 22 mmol/kg/ dw(peso seco)/h) (tabla 2.1.) y el contenido de GLUT-4 muscular inmediatamente después del ejercicio fue 3 veces más alto en los ciclistas entrenados que en los participantes desentrenados.

Estos mismos autores también investigaron el efecto del entrenamiento de resistencia sobre la síntesis del glucógeno muscular (Greiwe , Hickner , Hanseny et al., 1999). Los participantes realizaron un programa de 10 semanas de entrenamiento que consistió en 3 días a la semana de ejercicios de bicicleta a gran intensidad. Se midió la síntesis del glucógeno muscular antes y después del programa de entrenamiento. La velocidad en la síntesis del glucógeno muscular fue marcadamente mayor después de 10 semanas de entrenamiento con ejercicios de resistencia.

Este hallazgo está de acuerdo con los resultados de los estudios realizados en entrenamiento con ratas (Nakatani , Han , Hansen y col., 1997; Ren , Semenkovich , Gulve et al., 1994) y apoya los datos de Hickner et al., (1997).

Además, se encontró un contenido más alto de GLUT-4 después del entrenamiento, y se correlacionaron el contenido de GLUT-4 después del ejercicio con las concentraciones de glucógeno muscular 6 horas después del ejercicio. Esta relación está de acuerdo con los hallazgos de Hickner et al., (1997) y McCoy , Proieto y Hargreaves (1996).

Otros estudios (Gulve y Spina , 1995; Host et al., 1998; Philips et al., 1996; Kawanaka , TabataI, Katsuta et al., 1997, Ren et al., 1994) , han observado un rápido aumento en los transportadores de GLUT-4 después de 2, 5 y 7 días de entrenamiento y lo que puede ir acompañado por un aumento de la captación de glucosa estimulado por la insulina (Ren et al., 1994; Host et al., 1998; Kawanaka et al., 1997).

Además, el entrenamiento aumenta la transducción de la señal de la insulina, lo cual se ha asociado con un incremento de la recepción de glucosa (Houmard et al., 1999 y Kirwan, del Aguila , Hernandez et al., 2000). Como los individuos entrenados tienen concentraciones de GLUT-4 más altas (Greiwe et al., 1999; Gulve y Spina , 1995; Hickner et al., 1997; Ebeling et al., 1993; Philips et al., 1996) y una actividad de la señal de insulina más alta, (Kirwan et al., 2000) pueden ser capaces de sintetizar glucógeno muscular a una velocidad más rápida que individuos desentrenados (Greiwe et al.,1999; Ebeling et al., 1993; Philips et al.,1996).

Host et al., (1998) demostraron que el aumento del contenido de GLUT-4 y del transporte de glucosa estimulado por insulina eran completamente invertidos en las 40 horas después del último bloque de ejercicio, tras tanto 5 días como 5 semanas de entrenamiento. Esto sugiere que la vida media de la proteína GLUT-4 es corta (Hansen et al., 1998; Ren et al., 1994). Por eso, para mantener un aumento de la GLUT-4 inducido por entrenamiento, es necesario ejercitarse casi cada día.

El aumento en la velocidad de síntesis del glucógeno muscular, obtenidas en individuos entrenados, comparado con desentrenados, puede ser también el

resultado de una mayor actividad de la enzima glucógeno sintasa (Ebeling et al., 1993; Hickner et al.,1997; Piehl, Adolfsson y Nazar, 1974).

En el estudio de Hickner et al., (1997) la actividad de la glucógeno sintasa fue 2 veces más alta, inmediatamente después del ejercicio, en individuos entrenados que en desentrenados. Sin embargo, no se encontró correlación entre la actividad de la glucógeno sintasa y las velocidades de acumulación del glucógeno por encima de las 6 horas iniciales después del ejercicio. Además, los estudios han encontrado velocidades en la síntesis del glucógeno muscular 2 veces más altas en ratas entrenadas que en ratas sedentarias a pesar de tener una actividad similar de glucógeno sintasa (Nakatani et al., 1997; Ren et al., 1994;). Es por ello improbable que la glucógeno sintasa juegue un papel importante en el aumento de la velocidad de síntesis del glucógeno observados en atletas entrenados.

Se debe tener en cuenta que en los estudios de Greiwe et al., (1999) y de Hickner et al., (1997) las concentraciones de glucógeno muscular inmediatamente después del ejercicio fueron significativamente diferentes entre el estado entrenado y el desentrenado. Como se verá más adelante, la magnitud de la reducción del glucógeno muscular parece afectar a la velocidad en la síntesis del glucógeno muscular. Sin embargo, es improbable que se obtuviera una velocidad más alta en la síntesis del glucógeno muscular en los individuos entrenados en comparación con los desentrenados, siendo el contenido de glucógeno muscular después del ejercicio más alto en los individuos entrenados, lo que habría bajado la síntesis del glucógeno muscular en vez de aumentarla.

Se ha sugerido que el aumento de la sensibilidad a la insulina en atletas, es en parte resultado del aumento del flujo de la sangre, inducido por el entrenamiento (Ebeling et al., 1993; Kirwan et al., 2000). Se ha encontrado una correlación positiva entre el flujo de sangre basal y la captación de glucosa mediado por insulina en atletas (Ebeling et al., 1993). Aunque especulativo, es posible que un flujo basal sanguíneo en atletas entrenados pueda incrementar la entrega de glucosa al músculo y esto lleve a velocidades más altas en la síntesis del glucógeno comparado con individuos desentrenados. Se necesitan más estudios para investigar si el flujo sanguíneo es un factor delimitante para la síntesis del glucógeno en individuos desentrenados.

2.5.2. Horario de comidas.

Se ha sugerido que la ingesta de suplementos de CHO a intervalos frecuentes mantiene altas las concentraciones de insulina y glucosa del plasma, y puede contribuir a altas velocidades en la síntesis del glucógeno muscular (Doyle et al., 1993; Ivy, 1998; Van Loon et al., 2000).

Esta hipótesis está apoyada por estudios que encontraron velocidades altas en la síntesis del glucógeno muscular (40-45 mmol/kg dw(peso seco)/h) cuando se suministraron grandes cantidades de CHO (1,2-1,6 g/kg/h) a intervalos regulares (≤ 30 minutos). (Doyle et al., 1993; Van Loon et al., 2000).

Como se ha mencionado antes, la velocidad de vaciado gástrico será mayor cuando se aumenta el volumen del contenido ingerido (Rehrer et al., 1994).

Es probable que las velocidades de vaciado gástrico sean similares cuando una bebida de CHO se ingiere en tomas repetitivas, a diferencia de un bolo grande, ya que el volumen total de fluido consumido es el mismo. Por eso, la velocidad de vaciado gástrico no puede explicar las velocidades más altas en la síntesis del glucógeno muscular observadas cuando se suministran suplementos de CHO a intervalos frecuentes.

Hasta el momento, ningún estudio ha investigado directamente el efecto de diferentes horarios de comida en la velocidad de síntesis del glucógeno. Parece haber evidencia de que las tomas en serie son más beneficiosas para conseguir velocidades más altas en la síntesis del glucógeno muscular, que realizar una única toma. (Van Loon et al., 2000). Además, la ingesta de comidas pequeñas de CHO a intervalos frecuentes puede reducir el riesgo de molestias gastrointestinales (como sensación de hinchazón).

2.5.3. Magnitud de la Pérdida del Glucógeno Muscular.

La magnitud de la pérdida de glucógeno muscular parece ser un factor importante en la regulación de la síntesis del glucógeno muscular.

Bonen , Ness , Belcastro et al., (1985) investigaron la síntesis del glucógeno muscular después del ejercicio en dos grupos de participantes que habían perdido concentraciones de glucógeno muscular en el vasto externo de ambas piernas del 80 o el 35%, lo cual se conoce como LG (concentraciones bajas de glucógeno después

del ejercicio) y MG (concentraciones moderadas de glucógeno después del ejercicio), respectivamente. Inmediatamente y 2 horas después del ejercicio con bicicleta, los participantes consumieron una bebida de glucosa (0,75 g/kg/h). La velocidad en la síntesis del glucógeno fue más altas para la condición LG comparado con la condición MG. Sin embargo, los resultados se pueden confundir porque las medidas de los grupos experimentales fueron diferentes (7 contra 3) y el ejercicio de pérdida de glucógeno en la condición LG terminó con ejercicio intermitente intenso.

Zachwieja et al., (1991) realizaron estudios más controlados, en los que trataron de determinar el efecto de la pérdida del glucógeno muscular en la velocidad de síntesis del glucógeno. Para generar diferentes cantidades en la pérdida del glucógeno en el vasto externo de cada pierna, los participantes realizaron 30 minutos de bicicleta con una pierna al 75% del (VO_{2max}), seguido de 10 sprints de una duración máxima de un minuto con la misma pierna (LG).

La última tarea consistió en montar en bicicleta con las dos piernas durante 30 minutos a una carga de trabajo del 75% de la VO_{2max} (MG) de las dos piernas. Después del ejercicio, los participantes ingirieron una solución de CHO del 24% cada 20 minutos para obtener una toma de CHO de 0,7 g/kg/h durante un periodo de 6 horas. Tanto la velocidad en la síntesis del glucógeno como la actividad de la glucógeno sintasa fueron significativamente más altas en la pierna con LG que en la pierna con MG. Los resultados indican que a un mayor grado de pérdida de glucógeno, la velocidad en la síntesis del glucógeno muscular es más alta durante las primeras horas después del ejercicio.

En los estudios descritos antes, no fue posible determinar si el incremento de la velocidad en la síntesis del glucógeno fue el resultado de una magnitud más alta en la pérdida de glucógeno muscular o de una concentración más baja de glucógeno que permanece en el músculo después de la pérdida de glucógeno inducida por el ejercicio.

Recientemente, Price, Laurent, Petersen et al., (2000) han investigado el efecto de diferentes concentraciones de glucógeno muscular después del ejercicio, sobre la velocidad de síntesis del glucógeno cuando la magnitud del glucógeno, durante un ejercicio inicial de pérdida de glucógeno se mantuvo igual., De esta forma, la utilización del glucógeno muscular y la duración e intensidad del ejercicio realizadas fueron similares entre las condiciones, y por ello la concentración del glucógeno muscular que quedó después del ejercicio fue la única variable diferente.

Price et al., (2000) mostraron que la velocidad en la síntesis del glucógeno muscular fue más alta en la “condición baja de glucógeno después del ejercicio” en comparación con la “condición alta de glucógeno después del ejercicio”. Los resultados de este estudio indicaron claramente que la velocidad de almacenamiento de glucógeno muscular está más fuertemente influenciada por la concentración real de glucógeno que quedó en el músculo después del ejercicio que por una gran disminución del glucógeno muscular como resultado de un ejercicio previo (Price et al., 2000).

Estos hallazgos y los de otros, (Laurent , Hundal , Dresneret al., 2000) apoyan la hipótesis de que la clave en la regulación de la velocidad en la síntesis de glucógeno durante las primeras horas después del ejercicio es la concentración de glucógeno muscular después del mismo.

Como se ha mencionado antes, la velocidad más alta de la síntesis del glucógeno en los músculos más agotados se debería atribuir a o bien a una actividad más alta de la glucógeno sintasa (Cohen , 1986; Danforth , 1965; Nielsen , Derave , Kristiansen et al., 2001; Zachwieja et al., 1991) o a un transporte incrementado de la glucosa a los músculos (Fell , Terblanche , Ivy et al., 1982) a causa de un mayor número de transportadores de GLUT-4 (Derave , Lund, Holman et al., 1999; Derave, Hansen , Lund et al., 2000) en la membrana de la célula, o posiblemente una combinación de estos factores (Azpiazu , Manchester, Skurat et al., 2000).

2.5.4. Tipos de Fibra Muscular.

La mayoría de los estudios realizados sobre la síntesis del glucógeno muscular, se han analizado en biopsias de músculos con fibras mixtas. Sólo unos pocos estudios han intentado determinar las velocidades en la síntesis del glucógeno en fibras musculares humanas sencilla, pero han utilizado métodos diferentes (métodos histoquímicos contra métodos bioquímicos) para cuantificar el glucógeno muscular, por lo que es un factor que ha podido influir en que los resultados de dichos estudios resulten contradictorios (Jentjens y Jeukendrup, 2003).

Mientras que algunos estudios han obtenido velocidades más altas en la síntesis del glucógeno muscular en fibras de tipo II o fibras FT (fibras de contracción rápida) comparado con fibras de tipo ST (fibras de contracción lenta), utilizando métodos histoquímicos (por ejemplo, intensidad en la tinción del ácido periódico de Schiff) (Piehl , 1974; Vollestad , Blom y Gronnerod , 1989), otros estudios han encontrado velocidades mayores de almacenaje de glucógeno en fibras de tipo I, utilizando métodos bioquímicos. (Casey et al., 1995; Essen y Henriksson, 1974).

En un estudio de Casey et al., (1995) las velocidades en la síntesis del glucógeno en fibras del músculo esquelético del tipo I y tipo II se investigaron usando análisis bioquímicos. Siete participantes realizaron ejercicio con bicicleta con una pierna hasta el agotamiento. Después del ejercicio, se proporcionaron a los participantes bebidas de glucosa a las 0 horas (1,4 g/kg/h), 1 hora (0,8 g/kg/h) y a las

2 horas (0,8 g/kg/h) después del ejercicio. Durante el periodo inicial de 3 horas después del ejercicio se encontró una velocidad de un 25% más alta en la síntesis del glucógeno muscular en fibras de tipo I en comparación con las de tipo II (41 contra 31 mmol/kg dw(peso seco)/h).

Sin embargo, las concentraciones del glucógeno muscular después del ejercicio fueron un 46% más bajas (no significativa) en fibras musculares de tipo I en comparación con las de tipo II y esto puede haber confundido ligeramente los resultados.

Hay que tener en cuenta que entre 3 y 10 horas después del ejercicio, la velocidad de la síntesis del glucógeno en fibras de tipo I disminuyeron un 60%, mientras que la velocidad en la síntesis del glucógeno en fibras de tipo II se mantuvo. Las velocidades en la síntesis del glucógeno muscular durante este periodo fueron significativamente más bajas en fibras de tipo I en comparación con las de tipo II. El patrón de la síntesis del glucógeno en ambos tipos de fibra pareció estar estrechamente relacionado con la concentración de glucógeno muscular de la fibra, lo cual apoya los hallazgos en muestras de biopsia muscular mixta. (Maehlum et al., 1977; McCoy et al., 1990; Zachwieja et al., 1991).

El aumento en la velocidad inicial en la síntesis del glucógeno en fibras de tipo I debería ser un resultado de una captación incrementada de glucosa en este tipo de fibra. En humanos, se ha encontrado que la captación de glucosa en todo el cuerpo después de la estimulación con insulina está correlacionada positivamente con el porcentaje de fibras de tipo I y negativamente con el porcentaje de fibras de

tipo IIb. Ya que el músculo esquelético es responsable de la mayor parte de la disponibilidad de glucosa estimulada por la insulina, (DeFronzo, Jacot, Maeder et al., 1981) se debería esperar una captación más alta de glucosa en fibras tipo I.

Gaster, Poulsen, Handberg et al., (2000) demostraron una mayor cantidad de GLUT-4 en las fibras tipo I que en las de tipo II. Además, se ha demostrado que la velocidad de la síntesis del glucógeno y el contenido de GLUT-4 están positivamente correlacionados con el porcentaje de fibras tipo I (Hickner et al., 1997). De esta forma, una cantidad más alta de GLUT-4 en fibras de tipo I, debería explicar las velocidades más altas en la síntesis del glucógeno en las fibras de tipo I. Se debería advertir aquí que aunque la densidad de GLUT-4 es más alta en fibras de tipo I en comparación con las de tipo II, la magnitud de la diferencia es relativamente pequeña (15-20%) (Daugaard, Nielsen, Kristiansee et al., 2000; Gaster et al., 2000). Estos autores han sugerido que el contenido de GLUT-4 de una fibra muscular individual está relacionada más con el nivel de actividad de la fibra que con el tipo de fibra real (Gaster et al., 2000; Daugaard et al., 2000).

En un estudio de Phiel (1974), se usó un método histoquímica para examinar la síntesis del glucógeno muscular en diferentes tipos de fibras. Las velocidades en la síntesis del glucógeno tendían a ser mayores en fibras de tipo II que en fibras de tipo I, lo cual está en contraste con el resultado de Casey, Short, Hultman y col., (1995). Aunque la discrepancia entre los dos estudios debería ser a causa de los diferentes métodos usados para cuantificar la síntesis del glucógeno, debería ser también el resultado de las diferencias en los protocolos experimentales de ejercicio

usados para disminuir las reservas de glucógeno muscular (o sea, las diferencias del patrón de reclutamiento de tipos de fibra).

En el estudio de Casey et al., (1995) los participantes hicieron ejercicio en un volumen de trabajo submáximo hasta el agotamiento, mientras que los participantes del estudio de Phiel (1974) realizaron 2 horas de ejercicio submáximo prolongado ,seguido inmediatamente de turnos repetidos de ejercicios máximos cortos. Durante el ejercicio de alta intensidad en periodos cortos la velocidad de glucogenolisis es más alta en fibras de tipo II que en las de tipo I (Pascoe y Gladden, 1996).

La alta velocidad de utilización de glucógeno en fibras de tipo II probablemente esté acompañada de concentraciones altas de lactato (ácido láctico) en sangre y músculos, inmediatamente después del ejercicio, pudiendo ser usados como sustratos para la síntesis del glucógeno, (Bangsbo, Golnick, Graham et al., 1991; MacDougall, Ward, Sale et al., 1977; Parkin et al., 1997). Se ha estimado que entre el 13 y el 27% del lactato presente en el músculo después del ejercicio de alta intensidad y de periodos cortos se convierte en glucógeno (Bangsbo, Golnick , Graham et al., 1991).

Por ello, las velocidades más altas en la síntesis del glucógeno de las fibras de tipo II, observadas en el estudio de Phie (1974), podrían ser debidas a una mayor disponibilidad de lactato para la síntesis del glucógeno en este tipo de prolongado induce a un daño muscular severo, que puede afectar a la síntesis de glucógeno

muscular (O'Reilly, Warhol, Fielding et al., 1987; Sherman , Costill , Fink et al., 1987).

Según Jentjens y Jeukendrup, (2003), sólo un estudio (Doyle et al., 1993) ha investigado el efecto de ejercicio concéntrico y excéntrico sobre la velocidad de la síntesis del glucógeno muscular durante las primeras horas después del ejercicio. En este estudio, los participantes montaron en bicicleta durante 70 minutos al 70% VO_{2max} , seguido inmediatamente de un de ejercicio con intervalos de alta intensidad para reducir las reservas de glucógeno en fibras musculares de contracción rápida y en las de contracción lenta.

Después del ejercicio para la reducción de glucógeno, los participantes realizaron diez sets de diez repeticiones tanto de contracciones concéntricas como excéntricas en piernas opuestas. Durante las primeras 4 horas después del ejercicio, los participantes ingirieron 1,6 g/kg/h de CHO, que fueron proporcionadas a intervalos de 15 minutos. Los autores concluyeron que las velocidades en la síntesis del glucógeno muscular durante las primeras 4 horas después del ejercicio no fueron diferentes después en el ejercicio excéntrico en comparación con el ejercicio concéntrico.

Las velocidades en la síntesis del glucógeno muscular 48 horas después del ejercicio fueron un 25% más baja después del ejercicio excéntrico en comparación con el ejercicio concéntrico. Estos hallazgos están apoyados por un estudio de Widrick, Costill, Fink et al., (1993), que demostró que la síntesis del glucógeno muscular se vio afectada de 24-72 horas después de ejercicio excéntrico, mientras

que no se encontró afección alguna durante las primeras 6 horas después del ejercicio.

En resumen, y teniendo como base los datos señalados, se puede concluir que la síntesis del glucógeno muscular durante las primeras 4-6 horas después del ejercicio no es diferente después de un ejercicio excéntrico en comparación con uno concéntrico. Sin embargo, la síntesis del glucógeno muscular después de ejercicio concéntrico parece estar afectada durante las siguientes 18-72 horas después del ejercicio o posiblemente incluso más. (Jentjens y Jeukendrup, 2003).

Los mecanismos que afectan a esta disminución en la velocidad de síntesis, no se conocen con exactitud, pero podrían deberse a:

- Un contenido reducido de GLUT-4 (Asp , Daugaard, Richter et al., 1995).
- Un periodo de resistencia a la insulina (Kirwan , Hickner , Yarashesis et al., 1992) 1-2 días después de ejercicio excéntrico poco habitual.,
- El daño muscular, a menudo observado después del ejercicio excéntrico, seguido por la infiltración de células inflamatorias (leucocitos, linfocitos y macrófagos) en los músculos dañados, y que incrementan el uso de glucosa y la producción de lactato, encontrándose menos glucosa para la síntesis del glucógeno muscular (Costill, Pascoe, Fink et al., 1990; Forster, Morri, Sheare et al., 1989; Scheerer, Amaral y Caldwell, 1988).

Se debe advertir que hay generalmente un retraso de algunas horas a varios días entre que ocurre el daño en la fibra muscular y la acumulación de la mayoría de las células inflamatorias (Smith, 1991). Aunque especulativo, el curso del tiempo de la síntesis del glucógeno muscular después de ejercicio excéntrico debería estar relacionado con la respuesta de las células inflamatorias al daño muscular.

2.6. Limitaciones de la Síntesis del Glucógeno Muscular.

Como se ha visto con anterioridad, la insulina no es un factor limitador de la síntesis del glucógeno cuando la toma de CHO es suficiente ($\geq 1,2$ g/kg/h) y proporcionada en intervalos regulares (Jentjens et al., 2001).

La disponibilidad de CHO, si es probablemente un factor limitador de la velocidad para la síntesis del glucógeno muscular. Esta disponibilidad depende de:

- La velocidad del vaciado gástrico.
- La absorción intestinal del CHO ingerido.
- La producción de glucosa por el hígado.
- La entrada de glucosa al músculo.

Estudios que han examinado el vaciado gástrico en relación con la oxidación exógena de CHO han demostrado que la velocidad del vaciado gástrico no es el paso limitador en la oxidación de la glucosa ingerida de forma oral (Moodley, Noakes, Bosch et al., 1992; Rehrer, Wagenmakers, Beckers et al., 1992). Es por lo tanto improbable que la velocidad del vaciado gástrico limite la velocidad de la síntesis del glucógeno.

Algunos estudios han observado velocidades extremadamente altas en la síntesis del glucógeno muscular, hasta 130 mmol/kg/ dw (peso seco)/h cuando se ingerían grandes cantidades de glucosa (hasta 2,1 g/kg/h) tras una reducción de glucógeno postejercicio (Hansen, Asp, Kiens et al., 1999; Parkin et al., 1997;

Roch-Norlund , Bergstrom y Hultman , 1972). Estas velocidades en la síntesis del glucógeno estaban por encima de las velocidades máximas de síntesis del glucógeno de 40-50mmol/kg dw/h, a menudo encontradas en estudios donde se ingirió oralmente glucosa después del ejercicio (tabla 2.1) (Blom , 1989; Casey et al., 1995; Doyle et al.,1993; Hickner et al., 1997; Van Loon et al., 2000). Es por lo tanto probable, que la velocidad de la síntesis del glucógeno muscular sea, al menos en parte, limitada por la velocidad de ingestión y absorción de CHO por el intestino y el posterior transporte de glucosa en el torrente sanguíneo regulado por el hígado.

Se ha sugerido que el límite más alto para la absorción de glucosa en humanos es aproximadamente 1,0-1,7 g/min (Duchman , Ryan , Schedl et al., 1997; Radziuk y Bondy , 1982), pudiendo ser ligeramente mayor después del ejercicio (Hamilton , Gibbons , Bracy et al., 1996; Rose , Howlett , King et al., 2001).

En una masa muscular activa de 10 kg durante el ejercicio con bicicleta (Gollnick et al., 1981) la velocidad máxima de almacenaje de glucógeno muscular tras el consumo oral de glucosa debería estar en una escala de entre 0,28 y 0,32 g/min. Así, la velocidad máxima en la síntesis del glucógeno en la pierna parece ser un 65%-85% más baja que la velocidad máxima de absorción por el intestino, lo que indica que parte de la glucosa absorbida está oxidada o es extraída por otros tejidos (o sea, el hígado, (Casey et al., 2000) u otros grupos musculares y/o tejido graso) o se sintetiza a grasa en los músculos previamente ejercitados. Por eso, la capacidad de transporte del intestino para la glucosa no puede ser el único factor que determine la velocidad máxima de la síntesis del glucógeno muscular.

Estudios de Bowtell et al., (2000) y Bowtell, Gelly, Jackman et al., (1999) han mostrado que cuando se ingiere una dosis baja de glucosa después del ejercicio (61g de CHO en un periodo de 2 horas), ~26% de la glucosa que desaparece de la sangre es usada para la síntesis del glucógeno en los músculos de la pierna previamente ejercitada. Esto sugiere que la síntesis del glucógeno muscular no es la ruta predominante de la glucosa ingerida en las primeras horas después del ejercicio.

Hansen et al., (1999) también realizaron un estudio para determinar la velocidad de captación de la glucosa por el músculo previamente ejercitado, no siendo superior a 0.9 g/min.

En teoría, la velocidad de captación de glucosa en el músculo previamente ejercitado podría ser un factor limitador para la síntesis del glucógeno muscular. Aunque los mecanismos no se conocen, estos resultados indican claramente que la mayoría de la glucosa que entra en la circulación sistemática después del ejercicio es usada por los tejidos de forma diferente que los músculos previamente ejercitados. El destino de la glucosa, que no se usa para la síntesis del glucógeno en músculos agotados de glucógeno, queda por determinar.

En conclusión, según Jentjens y Jeukendrup (2003):

- La absorción intestinal de la glucosa puede ser un factor limitador de la velocidad para la síntesis del glucógeno muscular cuando se ingieren grandes cantidades (>1 g/min) de glucosa después del ejercicio.

- Una gran parte de la glucosa absorbida parece ser extraída por los tejidos en vez de por el músculo ejercitado, y puede por ello, limitar la cantidad de glucosa disponible para maximizar las velocidades en la síntesis del glucógeno muscular.
- La capacidad de transporte de glucosa del músculo previamente ejercitado puede limitar la síntesis del glucógeno.
- Lo más probable es que la síntesis del glucógeno muscular esté limitada por una combinación de factores (es decir, absorción de glucosa y/o entrega al torrente sanguíneo, extracción de glucosa por otros tejidos y la capacidad de transporte de glucosa del músculo).

Para finalizar este capítulo, se puede concluir, que los atletas deberían consumir CHO después de un ejercicio intenso, ya que esto puede aumentar la velocidad del almacenaje de glucógeno muscular. Esta estrategia de toma de CHO puede ser especialmente importante cuando hay menos de 8 horas entre dos turnos de ejercicio.

**CAPITULO 3.- MARCO CONCEPTUAL.
ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA LA
MEJORA DEL RENDIMIENTO Y LA
RECUPERACIÓN: BEBIDAS CON CARBOHIDRATOS
Y/O AMINOÁCIDOS Y PROTEÍNAS**

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 3. Estrategias nutricionales para la mejora del rendimiento y la recuperación: bebidas con carbohidratos y/o aminoácidos y proteínas.

3. 1. Tipos de proteínas

3.2. Cantidad de proteína.

3.3. Tiempo de ingesta de las proteínas.

3.4. Mecanismos fisiológicos de la ingesta de CHO +PRO para la mejora del rendimiento.

3.5. Efectos en la recuperación de la ingesta de carbohidratos y proteínas durante el ejercicio.

3.5.1. Balance proteico.

3.5.2. Daño muscular y posterior rendimiento.

ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO Y LA RECUPERACIÓN: BEBIDAS CON CARBOHIDRATOS Y/O AMINOÁCIDOS Y PROTEINAS.

Una vez analizados los beneficios ergogénicos que produce la ingesta de CHO en la mejora del tiempo de prueba y la recuperación y los factores de los que dependen , pasamos a analizar otra estrategia nutricional, como ya se ha mencionado en el capítulo 2º, cada vez más utilizada por deportistas, que mejora el rendimiento en ejercicios de resistencia, reduce los indicadores del daño muscular y mejora la recuperación después del ejercicio, es la utilización de bebidas que contienen proteína combinada con carbohidrato (CHO +P).

En la figura 3.1 detallamos la estructura del capítulo 3º.



Figura 3.1 Estructura del capítulo 3º.

Uno de los beneficios comúnmente supuestos de la suplementación con aminoácidos es que ciertos aminoácidos (e.g., arginina, histidina, lisina, metionina, ornitina y fenilalanina) pueden estimular la liberación de la hormona de crecimiento, de la insulina y/o de los glucocorticoides, y de esta manera promover los procesos anabólicos (Kreider, Miriel y Bertun, 1993).

Los efectos ergogénicos de la suplementación con aminoácidos de cadena ramificada (AACR): lucina, isoleucina y valina, sobre las respuestas psicológicas y fisiológicas al ejercicio (Bloomstrand , Hassmen y Newsholme, 1991; Kreider, 1998; Wagenmakers, 1998) son (figura 3.2.):

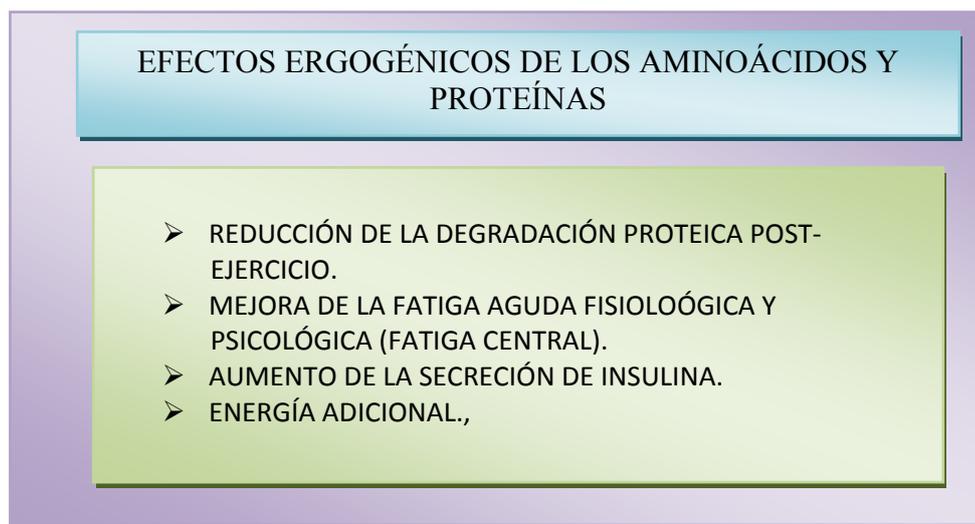


Figura 3.2. Efectos ergogénicos de la ingesta de aminoácidos y/o proteínas.

- La suplementación con AACR reduce la degradación proteica inducida por el ejercicio y/o la liberación de enzimas musculares (un indicador del daño muscular) posiblemente promoviendo un perfil hormonal anti catabólico (Carli , Bonifazi , Lodi , Lupo , Martelli yViti , 1992). Teóricamente, la suplementación con AACR durante el entrenamiento intenso puede ayudar a minimizar la degradación proteica y por lo tanto conducir a una mayor ganancia de masa libre de grasa.

Aunque varios estudios respaldan esta hipótesis, se necesitan investigaciones adicionales para determinar los efectos a largo plazo de la suplementación con AACR durante el entrenamiento sobre los marcadores del catabolismo, la composición corporal y la fuerza (Kreider, 1998).

- La disponibilidad de AACR durante el ejercicio parece que contribuye a la mejora de la fatiga central (Newsholme, Parry-Billings, McAndrew et al., 1991). Durante ejercicios de resistencia, los AACR son absorbidos más por los músculos que por el hígado con el propósito de contribuir al metabolismo oxidativo. La fuente de AACR para el metabolismo oxidativo muscular durante el ejercicio es la reserva plasmática de AACR, la cual es repletada a través del catabolismo corporal total de proteínas durante el ejercicio de resistencia (Davis, 1995; Kreider, 1998; Newsholme et al., 1991).

Sin embargo, la oxidación de AACR en el músculo durante el ejercicio prolongado puede exceder la capacidad catabólica para incrementar la disponibilidad de AACR, por lo cual la concentración plasmática de los mismos puede disminuir durante el ejercicio de resistencia prolongado (Blomstrand, Celsing y Newshome, 1988; Blomstrand et al., 1991). Esta disminución puede resultar en un incremento del índice triptofano libre / AACR. El triptofano libre y los AACR compiten para entrar en el cerebro a través de un transportador de aminoácidos (Newsholme et al, 1991). De esta manera, la disminución en los AACR en la sangre facilita la entrada de triptofano al cerebro. El incremento de la concentración de triptofano en el cerebro promueve la formación del neurotransmisor 5-hidroxitriptamina (5-HT). En estudios con animales y con humanos se ha mostrado que la 5-HT induce al sueño,

la depresión de la excitabilidad de las motoneuronas, influencia las funciones autonómica y endocrina, y suprime el apetito.

El desequilibrio en el índice triptofano libre / AACR ha sido implicado como una posible causa de fatiga aguda fisiológica y psicológica (fatiga central). También se ha hipotetizado que el aumento crónico en la concentración de 5-HT, la cual puede ocurrir en atletas que mantienen un elevado volumen de entrenamiento, algunos de los signos y síntomas reportados del síndrome de sobreentrenamiento: hipotensión postural, anemia, amenorrea, inmunosupresión, supresión del apetito, pérdida de peso, depresión y disminución del rendimiento (Newsholme et al., 1991; Gastmann y Lehmann, 1998; Kreider, 1998).

La adición de carbohidratos a un suplemento proteico se basa en el deseo de estimular la secreción de insulina. La insulina es crítica para regular la absorción de glucosa en los tejidos. Interesantemente, el ejercicio sirve para mejorar la respuesta de los músculos esqueléticos a la glucosa provocando una mayor sensibilidad de los músculos a los efectos de la insulina (Mikines, Sonne, Farrell, Tronier y Galbo, 1988; Richter, Mikines, Galbo y Kiens, 1989). La importancia de esto, respecto de la remodelación muscular y de la síntesis de proteínas, es que la insulina también estimula la absorción de aminoácidos (Biolo, Tipton, Klein y Wolfe, 1997). Aunque los carbohidratos por si solo proveen un efecto menor sobre la mejora en el balance proteico muscular después del ejercicio (Borsheim, Tipton, Wolf y Wolfe ,2002; Roy, Tarnopolsky, Macdougall, y Yarasheski, 1997), la combinación de carbohidratos y proteínas o aminoácidos en un suplemento puede contribuir a una

absorción más efectiva de proteínas y a una mejora de la tasa de síntesis de proteínas musculares.

En un estudio reciente, un grupo de investigadores comparó la ingesta de carbohidratos solamente (CHO), con carbohidratos y proteínas (CHO+P), y carbohidratos, proteínas y leucina (CHO+P+Leucina) sobre la tasa de síntesis de proteínas musculares después de un entrenamiento con sobrecarga (Koopman et al., 2005). Los resultados mostraron que la combinación de carbohidratos y proteínas fue superior a los carbohidratos solos para estimular el balance neto de proteínas corporales. Además, la inclusión de leucina, un aminoácido esencial, provocó un estímulo mayor para la síntesis de proteínas musculares en comparación con la mezcla de carbohidratos y proteínas.

La insulina estimula tanto la recepción de la glucosa muscular como la activación de la glucosa sintasa, (Ivy, 1998), enzima limitadora de velocidad para la síntesis de glucógeno. Partiendo de esta idea, varios estudios han intentado aumentar los niveles de insulina después del ejercicio para optimizar la velocidad de la síntesis del glucógeno muscular. (Jentjens et al., 2001; Rotman et al., 2000; Van Hall et al., 2000; Van Loon et al., 2000; Zawadzki et al., 1992).

Van Loon et al., (2000b); Zawadzki et al., (1992) afirmaron que se consiguen velocidades más altas en la síntesis del glucógeno muscular con la ingesta de algunas proteínas y/o aminoácidos en combinación con tomas moderadas de CHO (~0,8 g/kg/h) comparado con la ingesta de la misma cantidad de CHO sin proteínas y/o aminoácidos.

Sin embargo, cuando se incrementó la ingesta de CHO de 0,8 a 1,2 g/kg/h se obtuvieron como resultado unas velocidades más altas en la síntesis del glucógeno muscular (Van Loon et al., 2000), (tabla 2.1). Cuando la ingesta estaba compuesta de una mezcla de proteína-aminoácidos insulínotropicos con una cantidad más grande de CHO (1,2 g/kg/h) no se produjo un incremento mayor de la velocidad de síntesis del glucógeno muscular, a pesar de que se produjo una respuesta de insulina mucho más alta (Jentjens et al., 2001). Los resultados de este estudio y los de otros (Van Hall et al., 2000 y Van Loon et al., 2000) sugieren que la insulina no es el factor limitador para la síntesis del glucógeno muscular cuando la toma de CHO total es alta (1,0-1,2 g/kg/h).

En la misma línea Niles, Lachowetz, Garfi, Sullivan, Smith, Leyh et al., (2001), concluyeron que la suplementación con una bebida que contenga CHO y P, después de un ejercicio que deplete las reservas de glucógeno, puede facilitar una mayor tasa de resíntesis de glucógeno que una bebida que contenga solo carbohidratos, así como acelerar los procesos de recuperación y mejorar el rendimiento en los ejercicios consecutivos de resistencia, realizados durante un mismo día.

El estímulo fisiológico más importante para la secreción pancreática de insulina es una concentración aumentada de glucosa en la sangre. Además, ciertos aminoácidos (Floyd, Fajans, Pek et al., 1970; Van Hall, Saris, Van de Schoor y Wagenmakers, 2000; Van Loon et al., 2000c) y proteínas (Nuttall, Mooradian, Gannon et al., 1984; Rabinowitz, Merimee, Maffezolli et al., 1994; Rotman et al., 2000; Van Hall et al., 2000; Van Loon et al., 2000; Zawadzki et al., 1992;) ejercen

un efecto sinérgico en la liberación de insulina cuando se administra por separado o en combinación con una carga de CHO.

Varios estudios han comparado el efecto de la adición de proteínas y/o aminoácidos a bebidas deportivas carbohidratadas sobre el rendimiento físico (tabla 3.1.). Algunos han demostrado una mejora en el rendimiento con esta adición (Burke, 1999; Fogt e Ivy, 2001; Hiedra, Res, Sprague, y Widzer, 2003; Ivy et al., 2003; Niles et al., 2001; Ready, Seifert y Burke, 1999; Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2007; Saunders et al., 2009; Schedl, Muaghan y Gisolfi, 1994; Williams, Ivy y Raven, 1999; Williams, Raven, Fogt y Ivy, 2003; Zawadski et al., 1992) y otros no muestran diferencia entre las suplementaciones de proteína y/o aminoácidos más hidratos de carbono y las que solo utilizan hidratos de carbono (Cepero et al., 2009; Cepero et al., 2010; Cheuvront , Carter, Montain y Sawka , 2004; Davis, Gale, Volve y Alderson, 1999; Gasier y Olson, 2010; Madsen, MacLean, Kiens y Christensen, 1996; Osterberg et al., 2008; Romano-Ely et al., 2006; Skillen et al., 2008; Tonne y Betts, 2010; Van Essen y Gibala, 2006; Van Hall, Raaymakers, Saris y Wagenmakers, 1995).

Tabla 3.1. Comparación de las características de las bebidas en los estudios sobre el rendimiento en resistencia.

| Estudio | Líquido/h(ml) | Bebida | CHO/h(g) | Proteínas/h(g) | Tipo de proteína | Efectos significativos |
|---------------------------|---------------|--------|----------|----------------|-------------------|------------------------|
| Ivy et al.,(2003) | 600 | CHO | 47 | 0 | Suero concentrado | Si |
| | | CHO+P | 47 | 12 | | |
| Saunders et al.,2004 | 508 | CHO | 37 | 0 | Suero concentrado | Si |
| | | CHO+P | 37 | 9 | | |
| Van Essen y Gibala (2006) | 1000 | CHO | 60 | 0 | Suero aislado | No |
| | | CHO+P | 60 | 20 | | |
| Romano-Ely et al.,(2006) | 600 | CHO | 56 | 0 | Suero concentrado | No |

| | | CHO+P | 45 | 11 | | |
|--------------------------|--|---------|-----------|--------|--|------------------------|
| Saunders et al., (2006) | 1000 | CHO | 60 | 0 | Caseína hidrolizada | Si |
| | | CHO+P | 60 | 18 | | |
| Saunders et al., (2007) | 560 | CHO | 41 | 0 | Suero concentrado | Si |
| | | CHO+P | 41 | 10 | | |
| Moore et al.,(2007) | 577 | CHO | 35 | 0 | Caseína hidrolizada | Si |
| | | CHO+P | 35 | 7 | | |
| | | CHO+P | 35 | 14 | | |
| Osterberg et al., (2008) | 250 cada 15 minutos. | CHO | | | | No |
| | | CHO+P | | | | |
| Skiller et al., 2008 | 1500 (500 antes, durante y después) | CHO | 23 (4,6%) | 0 | Leucina, valina, isoleucina y arginina | No |
| | | CHO+AA | 18 (3,6%) | 5 (1%) | | |
| Valentine et al., (2008) | 250 cada 15 minutos. | CHO | 7,75% | 0 | Suero concentrado | No |
| | | CHO+CHO | 9,69% | 0 | | |
| | | CHO+P | 7,75% | 1,94% | | |
| Cepero et al., (2009) | 1000 | CHO | 9% | 0 | Proteína | No |
| | | CHO+P | 7% | 2% | Caseína | |
| Saunders et al., (2009) | 200 cada 5Km+150 después del ejercicio | CHO | 60 | 0 | Hidrolizado de proteína caseína. | Si en los últimos 5km. |
| | | CHO+P | 60 | 14,4 | | |
| Cepero et al., (2010) | 1000 | CHO | 9% | 0 | Proteína caseína | No |
| | | CHO+Pc | 7% | 2% | Proteína de suero de leche. | |
| | | CHO+Ps | 7% | 2% | | |
| Gasier y Olson (2010) | 600ml en 5 dosis | CHO | 8.9% | 0 | Proteína de suero de leche. | No |
| | 3000ml en total | CHO+Ps | 1.81% | 7.22% | | |
| Toone y Betts (2010) | 1053+_75 | CHO | 95 | 0 | Proteína de suero | No |
| | | CHO+P | 72+-5 | 22+-2 | | |

La captación de aminoácidos a partir de fuentes de proteínas ingeridas es variable y depende de muchos factores (Tipton, 2007) como el tipo de proteína (Tipton, Elliott, Cree, Wolf, Sanford y Wolfe, 2004; Wilkinson, Tarnopolsky, Macdonald, MacDonald, Armstrong y Phillips, 2007) o aminoácidos (Borsheim, Aarsland y Wolfe, 2004; Tipton, Ferrando, Phillips, Doyle y Wolfe, 1999; Tipton et al., 2004), al mismo tiempo los nutrientes ingeridos (Borsheim et al., 2004; Elliot, Cree, Sanford, Wolfe y Tipton, 2006; Miller, Tipton, Chinkes, Wolf y Wolfe, 2003), y el momento de ingesta en relación al ejercicio (Tipton et al., 2001; Tipton, Elliott, Cree, Aarsland, Sanford y Wolfe, 2007).

En los siguientes apartados se pretende hacer un estudio y análisis amplio de estos factores (Figura 3.3).



Figura 3.3. Factores de los que depende la absorción de la ingesta de proteínas.

3.1. Tipos de proteínas utilizadas junto al carbohidrato.

Las proteínas pueden ser hidrolizadas, produciendo pequeñas cadenas de aminoácidos denominadas péptidos. Diversos estudios (Di Pasquale, 1997) han mostrado que los hidrolizados de proteínas que contienen mayormente di y tripéptidos son absorbidos más rápidamente que los aminoácidos libres y mucho más rápido que las proteínas intactas. Además, recientemente se ha observado que la ingesta de hidrolizados de proteínas tiene un fuerte efecto insulínico. Por lo tanto, las bebidas utilizadas en la recuperación deportiva que contienen hidrolizados de proteínas pueden ser de gran valor ergogénico (Manninen, 2004).

Esta mayor tasa de absorción considerablemente mayor de los aminoácidos cuando están en forma de dipéptidos y en comparación a una mezcla de aminoácidos libres, parece estar relacionada con una mayor capacidad de transporte de aminoácidos (Di Pasquale, 1997). Esto es por tanto un beneficio para aquellos atletas que desean maximizar el transporte de aminoácidos hacia los músculos.

Van Loon et al., (2000b), demostraron que la ingesta de esta mezcla de aminoácidos de hidrolizados de proteínas altamente insulínicas, en combinación con una toma moderada de CHO (0,8 g/kg/h), obtenían como resultado velocidades aumentadas en la síntesis de glucógeno muscular comparado con la ingesta de solo CHO.

Sin embargo, no hay estudios que confirmen si esta ventaja de la ingesta de estos alimentos tiene efecto respecto a un incremento más rápido en la masa

muscular o en una mejora en la recuperación. No obstante, las ventajas descritas (mayor absorción de aminoácidos, mayor valor biológico) siguen siendo atractivas para los consumidores (Manninen, 2004).

En cuanto al tipo de aminoácido, parece ser que los esenciales son mucho más efectivos que los no esenciales (Tipton, Gurkin, Matin et al., 1999) y que el consumo de aminoácidos esenciales tras el entrenamiento, es tan efectivo a la hora de estimular la síntesis proteica, como la combinación de aminoácidos esenciales con carbohidratos (Rasmussen , Tipton, Miller et al., 2000) (tabla 3.2).

Tabla 3.2. Clasificación de los aminoácidos en esenciales y no esenciales. * Aminoácidos considerados esenciales en ciertas circunstancias especiales en donde se incrementan las demandas orgánicas (entrenamiento, competición, etc.).¹La histidina es un aminoácido considerado esencial durante la infancia. Tomado de Naclerio (2007).

| Aminoácidos Esenciales | Aminoácidos no Esenciales |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Leucina | Alanina * |
| Isoleucina | Arginina * |
| Valina | Glutamina * |
| Lisina | Taurina * |
| Treonina | Cisteina * |
| Metionina | Tirosina * |
| Fenilalanina | Histidina * ¹ |
| Triptofano | Glisina |
| | Acido Aspartico |
| | Acido Glutámico |
| | Serina |
| | Prolina |
| | Hidroxiprolina |
| | Asparagina |

No obstante, se ha demostrado que la ingestión simultánea de aminoácidos esenciales y carbohidratos en solución, ya sea una o tres horas después de la sesión de entrenamiento, es capaz de provocar un incremento en la síntesis proteica de hasta el 400% cuando se compara con los valores normales de reposo (Tipton et al., 2001).

Esto sería un hecho a tener muy en cuenta, pues aunque se piensa que la ingestión oral de aminoácidos no es tan efectiva a la hora de estimular la síntesis proteica cuando se compara con la infusión intravenosa de los mismos, hay estudios que demuestran que ambas formas estimulan la síntesis proteica de manera similar (Biolo et al., 1997; Tipton et al., 1999).

Floyd, Fajans, Pek et al., (1970a) y Floyd, Fajans, Pek et al., (1970b), comprobaron que la combinación de aminoácidos con glucosa, cuando se administra intravenosamente, produce niveles más altos de insulina en el plasma. Sin embargo, la ingesta oral de arginina en combinación con CHO no es efectiva para conseguir un aumento en los niveles de insulina en plasma (Yaspelkis e Ivy , 1999; Van Loon et al., 2000c) y las velocidades de síntesis de glucógeno muscular (Yaspelkis e Ivy , 1999) comparado con la ingesta de CHO solo.

Bloomstrand et al., (1991) publicaron a principios de los 90 que las actividades de resistencia y el rendimiento mental podían aumentar con la ingesta de aminoácidos de cadena ramificada (AACR), pero estudios posteriores, no encontraron mejoras en el rendimiento con la administración de AACR (Madsen et al., 1996; Van Hall et al., 1995). Otros, además, demostraron que la toma de AACR

inducía algunos efectos metabólicos negativos tales como el incremento de amoniaco en los niveles de plasma (MacLean, Gram y Saltin, 1996, Madsen et al., 1996 y Van Hall et al., 1995).

Colombani, Kovacs, Frey-Rindova et al., (1999) compararon las consecuencias metabólicas del consumo de CHO y CHO+P usando un hidrolizado de proteína de leche durante la marcha de una maratón. Observaron un incremento de los niveles de aminoácidos en el plasma durante la maratón con el suplemento CHO+P, sin alteraciones en los niveles de amoniaco, indicador de la fatiga. Basado en dichos estudios, se propuso que los beneficios metabólicos que se obtienen cuando se aplica un suplemento de proteínas o perfiles equilibrados de aminoácidos son superiores que cuando se ingieren suplementos de AACR.

En varios estudios llevados a cabo por Van Loon et al., (2000a) y Van Loon et al., (2000c), para investigar el potencial insulínico de varios aminoácidos libres, hidrolizados de proteínas y proteínas intactas, los resultados indicaron que la ingesta oral de hidrolizados de proteínas y aminoácidos en combinación con carbohidratos resulta en un efecto insulínico tan grande como el 100% mayor al observado con la ingesta de carbohidratos solamente.

Van Loon et al., (2000a); Van Loon et al., (2000c) basaron sus investigaciones en aclarar qué tipo, combinación y cantidad de aminoácidos libres o fuentes proteicas maximizarían la respuesta de insulina cuando se añade una bebida con CHO. Demostraron que la ingesta de una bebida que contenía una mezcla de hidrolizado de proteína de trigo, leucina libre y fenilalanina libre (0,4 g/kg/h) en combinación con CHO (0,8 g/kg/h) aumentaba considerablemente los niveles de

insulina sin causar malestar gastrointestinal., Mezclas que contenían grandes cantidades de aminoácidos libres (arginina, leucina, fenilalanina y glutamina) dieron como resultado niveles de insulina similares o incluso más altos pero estas mezclas no fueron agradables y causaron más dolor gastrointestinal (Van Loon et al., 2000c).

Estudios recientes de Cepero et al., (2009); Cepero et al., (2010) y Hoffman, (2007), en los que se ha utilizado hidrolizado de proteína, han basado sus investigaciones en el análisis de los efectos de dos tipos de hidrolizado: proteína de suero de leche y proteína caseína (figura 3.5).

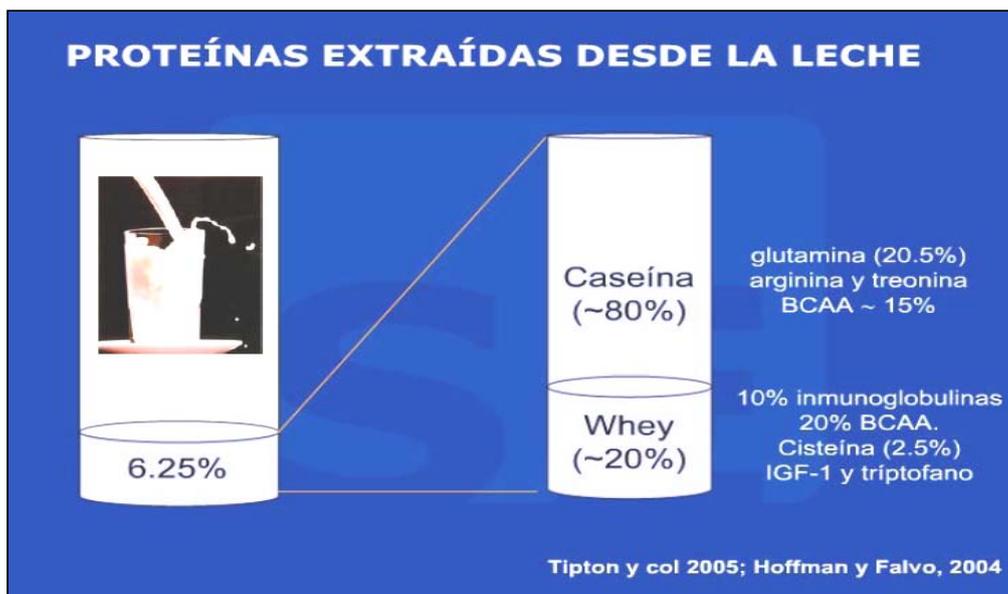


Figura 3.5. Tipos de proteínas utilizadas en investigaciones recientes, tomado de Soro (2010)

Zawadzki et al., (1992) observó un aumento de la velocidad en la síntesis del glucógeno durante un periodo de 4 horas después del ejercicio, con la ingesta de

un suplemento combinado de CHO +proteína de suero de leche, comparado con un suplemento de sólo CHO (tabla 3.3).

En un estudio posterior, Calbet y MacLean (2002) observaron que la administración combinada de glucosa e hidrolizado de proteínas estimula la liberación sinérgica de insulina, sin tener en cuenta la fuente de las proteínas. Estos autores concluyeron que los hidrolizados peptídicos son absorbidos a una tasa mayor en el intestino delgado que las proteínas totales de leche administradas como una solución de leche, y reflejada por un rápido incremento en la concentración plasmática de aminoácidos de cadena ramificada en la sangre periférica (tabla 3.3).

Además, los hidrolizados de proteínas de suero provocaron una mayor disponibilidad de aminoácidos durante el período post prandial de 3 horas. De acuerdo con Calbet y MacLean (2002), la asociación de altos niveles de aminoácidos plasmáticos y de insulina podría explicar la superioridad de los hidrolizados peptídicos sobre las proteínas totales, para promover una mejor utilización del nitrógeno, especialmente cuando se los administra en combinación con glucosa.

Un estudio reciente de Hoffman (2007), ha analizado las diferencias entre la ingesta de suero y caseína sobre la acumulación proteica, indicando que ambas pueden tener diferentes propiedades digestivas. La caseína, proteína predominante en la leche, existe en forma de micelas, que es una partícula coloidal de gran tamaño. La micela de caseína forma un gel en el estómago que hace que su digestión sea lenta. Como resultado, la caseína provee una liberación sostenida pero lenta de aminoácidos hacia el torrente sanguíneo, que a veces dura varias horas (Boirie et al.,

1997). Esto supone una mejor retención y utilización de nitrógeno para el cuerpo. El suero da cuenta del 20% de la leche bovina (la caseína da cuenta del porcentaje restante) y contiene altos niveles de aminoácidos esenciales y ramificados y es absorbido por el cuerpo mucho más rápido que la caseína (tabla 3.3).

En una comparación entre la suplementación con caseína y suero, Boirie et al., (1997) demostraron que la ingesta de 30 g de caseína versus 30 g de suero, tenía efectos significativamente diferentes sobre la ganancia de proteínas pos prandial.,

Estos investigadores mostraron que tras la ingesta de suero, la aparición de aminoácidos en el plasma es más rápida, de mayor magnitud y transitoria. En contraste, la caseína es absorbida mucho más lentamente, produciendo un aumento mucho menor en la concentración plasmática de aminoácidos. La ingesta de proteínas en suero estimuló la síntesis de proteínas en un 68% mientras que la ingesta de caseína estimuló la síntesis de proteínas en un 31%. Cuando los investigadores compararon el balance post prandial de leucina, 7 horas después de la ingesta, el consumo de caseína resultó en un balance de leucina significativamente mayor, mientras que no se observaron cambios en relación con el valor basal tras el consumo de suero. Estos resultados sugieren que el suero estimula una rápida síntesis de proteínas, pero una gran parte de estas proteínas son oxidadas (utilizadas como combustible), mientras que la caseína puede resultar en una mayor acumulación proteica durante un período de tiempo más prolongado (tabla 3.3).

Un estudio posterior mostró que la ingesta repetida de proteína de suero (una cantidad igual de proteínas pero consumida en un período prolongado [4 horas] en

comparación con una única ingesta) produjo una mejor oxidación neta de leucina que una única ingesta de caseína o suero (Dangin, Boirie, Guillet, y Beaufre, 2002). La ingesta fraccionada genera un flujo de aminoácidos más sostenido y mejora la respuesta anabólica muscular incluso respecto a cuando se ingiere la misma cantidad de proteínas desde la caseína (Dangin et al., 2002) (tabla 3.3).

De acuerdo con esto, la mejor forma de suministrar las proteínas para potenciar los efectos anabólicos, es ingerir pequeñas dosis de proteínas de suero (2.3 gr) cada 20 min durante 2 horas, ya que la tasa máxima de síntesis proteica estimulada por el flujo creciente de aminoácidos ha sido establecida entre 6 a 7 gr por hora. Este nivel de flujo se logra con una ingesta única de proteínas de caseína (aunque se tarda más tiempo en lograrlo) o por un aporte sostenido de proteínas de suero, que al ingerirse en dosis pequeñas y frecuentes no causan un subida y caída brusca de sus concentraciones como las observadas cuando se ingiere una dosis única de 20 a 30 gr (Bilsborough y Mann 2006) (tabla 3.3).

Tanto la caseína como el suero son proteínas completas, pero su composición de aminoácidos es diferente (figura 3.6). Específicamente, el contenido de leucina, el cual tiene un importante rol en el metabolismo de las proteínas musculares, es mayor en el suero que en la caseína. De esta manera, la tasa de digestión de proteínas puede ser más importante que la composición de aminoácidos de las proteínas. Estos resultados fueron respaldados por Tipton et al., (2001), quienes también reportaron que las diferencias en las propiedades digestivas entre la caseína y el suero resultan en un menor y mayor incremento en la síntesis de proteínas musculares, respectivamente. Sin embargo, la síntesis neta de proteínas musculare en un período

de 5 horas no fue diferente entre las dos proteínas cuando la ingesta (20 g de cada proteína) se realizó una hora después del entrenamiento con sobrecarga (tabla 3.3).

Aparentemente tanto la caseína como el suero son efectivas para estimular la síntesis de proteínas musculares. No obstante, las diferencias en las propiedades digestivas de las proteínas, resultan en un patrón diferente de síntesis proteica con la ingesta de suero, resultando en una mayor respuesta aguda en comparación con un aumento más gradual en la síntesis de proteínas tras la ingesta de caseína (figura 3.6). Aunque la síntesis neta total de proteínas musculares parece ser similar entre las proteínas, no está claro si el incremento agudo observado tras la ingesta de suero representa una mayor ventaja para mejorar la recuperación y la remodelación de los músculos esqueléticos (Hoffman, 2007).

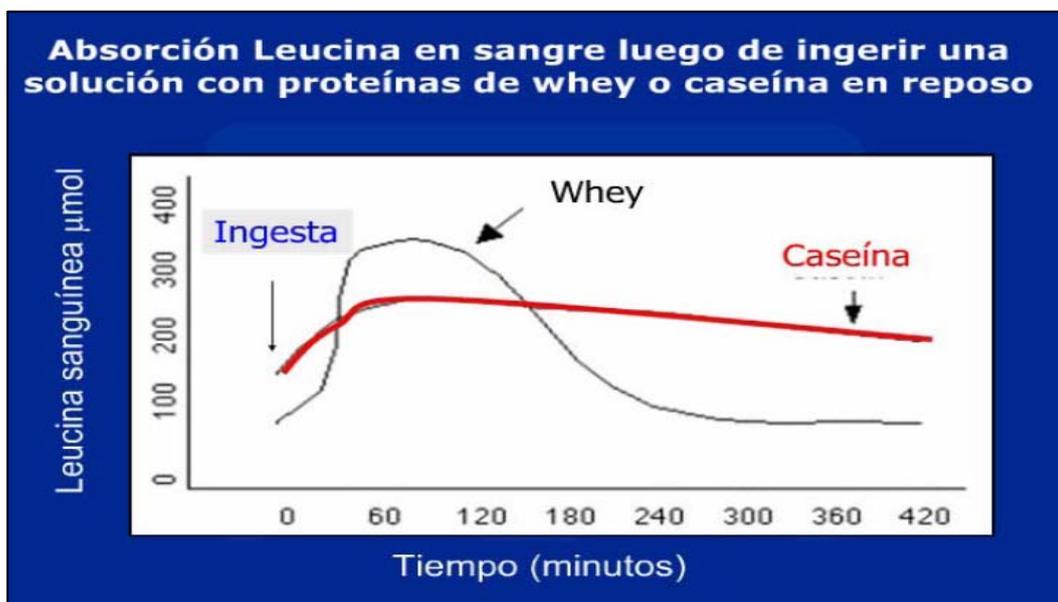


Figura 3.6. Absorción de leucina en sangre tras la ingesta de proteína de suero o proteína caseína, adaptado de Soro (2010).

La proteína de suero puede proveer un incremento inmediato mayor en la tasa de síntesis de proteínas. Sin embargo, la combinación de proteína de suero y caseína puede ser efectiva para generar elevaciones inmediatas y prolongadas en la tasa de síntesis de proteínas. Los aminoácidos también son efectivos para incrementar la tasa de síntesis de proteínas pero parecen ser más efectivos cuando se consumen inmediatamente antes del entrenamiento que cuando se consumen después del entrenamiento (Hoffman, 2007) (tabla 3.3).

Otros estudios (Hoffman y Falvo, 2004, Tipton y Wolfe 2003, Tipton et al., 2004) también han evaluado las diferencias en las respuestas orgánicas que se determinan al ingerir proteínas de suero o de caseína, obteniendo diferencias significativas en la velocidad de absorción post prandial causadas por una más lenta y sostenida asimilación de las proteínas de caseína respecto a las de suero (tabla 3.3).

Si bien, en las horas inmediatamente posteriores a la ingesta las proteínas de suero han mostrado un balance neto superior de proteínas musculares, es posible que gran parte de los aminoácidos captados por el músculo sean oxidados en lugar de ser utilizados como materia prima para producir un incremento de la síntesis proteica (Hoffman y Falvo, 2004). De acuerdo con esto, se ha mencionado que para evaluar los efectos metabólicos a largo plazo, el análisis de la tasa de absorción plasmática de aminoácidos causada por la ingesta de diferentes proteínas sea un factor más importante que la composición (Tipton y Wolfe, 2003) (tabla 3.3).

La mayoría de los autores coinciden en que para potenciar adecuadamente el anabolismo muscular, la estrategia más idónea sería ingerir un preparado en donde se combinen proteínas desde diferentes fuentes (Tipton y Wolfe 2003).

Pérez-Guisado (2009), señala que la mejor combinación de proteínas es la que lleva proteína de suero y caseína (en una proporción aproximada de 4 a 1 respectivamente) (tabla 3.3), superando incluso a la combinación de proteínas de suero-aminoácidos ramificados-glutamina (Kerksick, Rasmussen, Lancaster et al., 2006). En relación a la proteína de suero, aunque ésta puede proveer un incremento inmediato mayor que la caseína en la tasa de síntesis de proteínas, la combinación de ambas tiene la ventaja de generar elevaciones inmediatas y prolongadas en dicha tasa de síntesis proteica (Hoffman, 2007). Si pretendemos maximizar la recuperación del glucógeno muscular perdido, se debería de continuar con una ingesta de hidratos de carbono a un ritmo aproximado de 1.2g/kg y hora (Ivy, 2004).

Tabla 3.3. Estudios más importantes que han comparado la ingesta de proteína de suero (Ps) y proteína caseína (Pc)

| ESTUDIOS | COMPARACIÓN BEBIDAS CHO+P Y CHO | RESULTADOS |
|---|--|---|
| Zawadzki et al., (1992) | CHO CHO+Ps | Mayor velocidad en la síntesis de glucógeno durante 4h. con CHO+Ps |
| Boire et al., (1997) | Ps frente Pc | Aparición de aminoácidos en plasma más rápida de mayor magnitud y transitoria de Ps. Sin embargo Pc obtuvo un aumento mayor de leucina 7 horas después. |
| Tipton et al., (2001) | Ps frente Pc | Ps obtuvo mayor contenido de leucina. |
| Calbet et al., (2002) | CHO+Ps frente a proteínas totales de leche | Mayor absorción de hidrolizados peptídicos por el intestino y mayor disponibilidad de AA durante el período post-prandial con Ps. |
| Dangin et al., (2002) | Ps frente a Pc Ps administrado durante 4h frente a 1 sola ingesta de Ps y Pc. | Mayor oxidación neta de leucina con la ingesta prolongada de Ps que con una sola de Ps o Pc. |
| Tipton y Wolfe (2003) Hoffman (2007) | Combinación de Ps+Pc | Mayor efectividad para generar elevaciones inmediatas y prolongadas en la tasa de síntesis proteica. |
| Tipton et al., (2003) Hoffman y Falvo (2004) Hoffman (2007) | Ps frente Pc | Ps se absorbe más rápidamente que Pc cuya absorción puede durar horas. |
| Bilsborough y Mann (2006) | Ps | Mejor forma de administrar Ps es (2.3 gr) cada 20 min. Durante 2 horas. |
| Pérez-Guisado (2009) | Combinación de Ps+Pc | La mejor proporción para combinar Ps y Pc es de 4 a 1 respectivamente. |

3.2. Cantidad de proteína.

Determinar los niveles óptimos de proteína es un esfuerzo difícil, ya que la proteína probablemente interactúe con numerosos aspectos de la composición de la bebida tales como el contenido en carbohidrato de esta, el volumen total de la bebida ingerida, el tipo de proteína, la osmolalidad, las tolerancias individuales, etc. Sin embargo, como el carbohidrato es la mayor fuente de energía durante los deportes de resistencia de competición, parece un hecho razonable el asumir que el contenido proteínico deba ser considerablemente menor que el contenido en carbohidrato de las bebidas isotónicas (lo normal es 6-10% por volumen) (Saunders, 2007).

Estudios publicados que han demostrado un efecto ergogénico en la ingesta de CHO+P (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2007), la proteína ha constituido el 20% del total de las calorías de la bebida, con niveles de $\leq 2\%$ por volumen.

En estudios donde la ingesta fue distinta a líquidos, las tomas de proteínas variaron del 9.25 al 11.75 g/h. En los estudios antes mencionados (Moore et al., (2007); Saunders et al., 2006) se observó la mejora del rendimiento en la resistencia con los niveles de toma de proteína o proteína hidrolizada que variaron del 15% al 33% de las calorías en la bebida, aproximadamente 1-2% por volumen.

En un estudio de Saunders, (2007), se comparó la ingesta entre las bebidas CHO+P con variación en el contenido de proteínas, caseína hidrolizada, sobre el rendimiento durante una prueba simulada de biatlón. Los sujetos practicaron tres

pruebas que consistían en 8km corriendo, 50km pedaleando y una segunda carrera (hasta el agotamiento) mientras consumían 1500ml de una bebida con un 6% de carbohidrato a lo largo de la parte de ciclismo del evento. Cada prueba variaba en la cantidad de proteínas ingeridas durante la prueba (0,10 o 20 g/l). El tiempo hasta el agotamiento durante la segunda carrera fue considerablemente mayor en las pruebas con CHO+P que con las de CHO, mientras que no hubo diferencias entre los 10 y 20 ml de las pruebas de CHO+P (Moore et al., 2007). Aunque en datos estadísticos no es significativo, el promedio para los 20g/l en la prueba de proteína fue menor que el 10g/l de la misma prueba, lo que sugiere un límite más alto para el contenido proteínico óptimo de las bebidas CHO+P.

En el estudio de Van Essen y Gibala (2006), el contenido en proteínas de las bebidas CHO+P era también de 20g/l (33% de calorías totales). Cuando se combinó con la elevada tasa de la ingesta de líquido en este estudio, es posible que la elevada tasa de ingesta de proteínas (20g/l) rebasase la dosis óptima para los beneficios en el rendimiento de la resistencia, ya que todos los estudios antes mencionados demostraron una mejora en el rendimiento utilizando las tasas de ingestión de aproximadamente 7-18g/h (Ivy et al., 2003; Moore et al.,(2007); Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2006; Saunders et al., 2007).

Phillips, citado por Van Loon, Kies y Saris, (2007), indicó que los requerimientos diarios de proteínas para atletas de resistencia estaba entre 1,2 y 1,4 g de proteína por kg de peso corporal (entre 10% y el 30% del consumo total de energía). El autor concluyó, que no sería necesario un aumento de estas cantidades,

ya que el metabolismo de las proteínas se vuelve más eficiente en sujetos entrenados, por lo que no sería necesario aumentarla.

3.3. Tiempo de ingesta de las Proteínas.

El mecanismo metabólico por el que se produce un cambio en los niveles de la proteína se basa en el equilibrio entre las tasas de síntesis y degradación. Un aumento de la síntesis en relación con la degradación, dará como resultado un balance proteico positivo y una ganancia de proteínas (mejor saldo neto de proteínas musculares) (Biolo et al., 1997; Tipton, 2007).

La respuesta primaria del metabolismo proteico muscular al ejercicio se produce después de la realización del ejercicio, más que durante el mismo. Durante el ejercicio, la síntesis de proteínas musculares puede disminuir (Dreyer, Fujita, Cadenas, Chinkes, Volpi y Rasmussen, 2006) o cambiar con respecto a los niveles de reposo (Durham, Miller, Yeckel et al., 2004). Después del ejercicio, la síntesis y degradación de proteína muscular se incrementan tanto como 24-48 horas (Biolo, Maggi, Williams, Tipton y Wolfe, 1995; Phillips, Tipton, Aarsland, Wolf y Wolf, 1997). Si el aumento de la síntesis de proteínas es mayor que la degradación, se obtiene un incremento del saldo de proteínas musculares (Biolo et al., 1995; Phillips et al., 1997). Sin la ingestión de nutrientes, en particular una fuente de aminoácidos, este saldo no llega a positivo (Biolo et al., 1995; Phillips et al., 1997; Tipton et al., 1999).

Se ha prestado una gran atención a la ingestión de aminoácidos y otros nutrientes después del ejercicio, sin embargo sólo un mínimo de investigación se ha centrado en la respuesta del músculo a la ingestión de nutrientes antes del ejercicio (Tipton, 2007).

El impacto del momento de la ingesta de proteínas en relación con el ejercicio, sobre el metabolismo proteico muscular, ha comenzado a recibir mayor atención durante los últimos años (Levenhagen et al., 2001; Rasmussen et al., 2000; Roy, Luttmer, Bosman y Tarnopolsky , 2002; Roy et al., 1997; Tipton et al., 2001; Tipton et al., 2007; Tipton, 2007; Van Loon, 2007; Hoffman, 2007).

En los diferentes estudios que han comparado diversas estrategias de suplementación, se ha demostrado que el momento de la suplementación es un aspecto importante. Uno de los estudios iniciales acerca de los efectos del momento de suplementación sobre la hipertrofia muscular fue llevado a cabo en sujetos ancianos (74.1 ± 1 años) que se iniciaban en un programa de entrenamiento de la fuerza (Esmarck, Andersen, Olsen, Richter, Mizuno y Kjaer, 2001), consumiendo un suplemento líquido a base de proteínas (10 g de proteínas, 7 g de carbohidratos y 3 g de grasas) inmediatamente después o dos horas después de cada sesión. Los resultados mostraron que el área de sección cruzada muscular y el área de sección cruzada de las fibras individuales se incrementaron significativamente en los sujetos que consumieron el suplemento inmediatamente después del ejercicio pero no cambiaron en aquellos sujetos que consumieron el suplemento dos horas después de cada sesión de entrenamiento.

Cribb y Hayes (2006) examinaron el efecto de la ingesta de proteínas (40 g de suero) y carbohidratos (43 g de glucosa) en fisicoculturistas jóvenes (21-24 años) recreacionales que consumieron los suplementos inmediatamente antes y después del entrenamiento con sobrecarga o en la mañana y la tarde. El grupo que consumió el suplemento inmediatamente antes y después de las sesiones de entrenamiento exhibió ganancias significativamente mayores en la masa magra corporal, en el área de sección cruzada de las fibras tipo II y en el contenido de proteínas contráctiles, e incrementos superiores en la fuerza en comparación con el grupo que consumió las proteínas en la mañana y en la tarde.

El momento de la ingestión de aminoácidos después del ejercicio ha sido investigado por diferentes autores (Levenhagen et al., 2001; Rasmussen et al., 2000; Roy et al., 1997), pero sólo recientemente se ha examinado y comparado la respuesta anabólica del músculo a la ingesta antes de hacer ejercicio, con las respuestas de la ingesta después del ejercicio.

Tipton et al., (2001), administraron a voluntarios no entrenados 6 g de aminoácidos esenciales, más 35 g de hidratos de carbono inmediatamente antes del inicio e inmediatamente después del ejercicio, observando que la captación de aminoácidos fue mayor cuando se ingirieron los nutrientes antes de la sesión de ejercicio que inmediatamente después.

En otra investigación anterior que utilizó métodos idénticos (Rasmussen et al., 2000), la respuesta anabólica fue superior al ingerir aminoácidos / carbohidratos antes del ejercicio, que después de hacer ejercicio. Por otra parte, la respuesta

anabólica inmediata a la ingestión de estos nutrientes es similar si se ingieren en 1 ó 3 h después del ejercicio (Rasmussen et al., 2000).

Las posibles diferencias en el impacto de la ingestión de aminoácidos, hidrolizados de proteínas, o las proteínas, ya sea antes o después ejercicio ha sido abordadas por Rasmussen et al., 2000; Tipton et al., 2001; Tipton, Elliott, Cree, Aarsland, Sanfor, y Wolfe, 2007).

El tiempo de ingesta de los nutrientes ha mostrado ser un factor clave para determinar una respuesta anabólica muy potente. Tipton y Wolf (2003), mencionan una serie de estudios en donde se demuestra que la ingesta de una solución de 35 gr de hidratos de carbono junto con 6 gr de aminoácidos esenciales antes de iniciar un entrenamiento de fuerza produce un estímulo muy poderoso sobre la captación de aminoácidos musculares respecto a cuando esta se ingiere inmediatamente luego de finalizar el ejercicio, 1 hora y hasta 3 horas después (Rasmussen, et al., 2000). En la figura 3.7 se muestran las diferencias determinadas en la captación de fenilalanina muscular al ingerir una solución con hidratos de carbono y aminoácidos en diferentes momentos con respecto a una sesión de entrenamiento de fuerza (Tipton y Wolf, 2001).

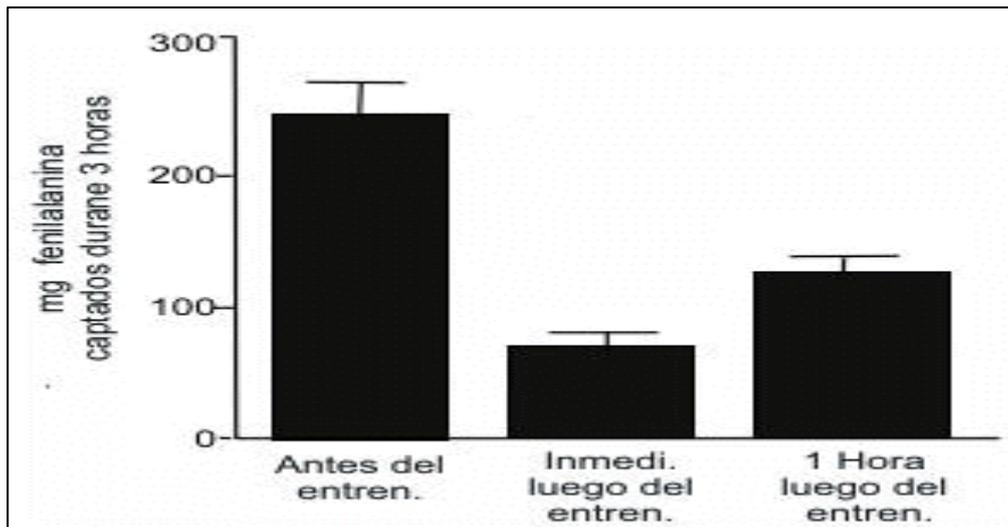


Figura 3.7. Captación muscular de fenilalanina al ingerir una solución con 6 gr de aminoácidos esenciales y 35 gr de hidratos de carbono antes, inmediatamente y 1 hora luego de un entrenamiento de fuerza (tomado de Tipton y Wolf, 2001).

Los estudios previos que han mostrado los beneficios de ingerir proteínas pre ejercicio, han utilizado suplementos a base de aminoácidos (Tipton et al., 2001). Sin embargo este beneficio no se observa con la ingesta de proteínas totales. Estas diferencias no se comprenden del todo, pero se ha especulado que uno de los mecanismos responsables de estas diferencias puede estar relacionado con las diferencias en el transporte de aminoácidos esenciales hacia los músculos activos (Tipton et al., 1999).

El incremento en la concentración arterial de aminoácidos es aproximadamente 100% mayor que en reposo tras la ingesta de aminoácidos esenciales pero solo un 30% mayor tras la ingesta de proteínas de suero (Tipton et al., 1999; Tipton et al., 2007). Además, el transporte de fenilalanina a los músculos

activos durante el ejercicio se incrementa unas 7.5 veces después de la ingesta de aminoácidos esenciales pero solo unas 4.4 veces después de la ingesta de proteínas de suero. Es posible que la inclusión de carbohidratos a los suplementos de aminoácidos (no se incluyeron carbohidratos en los suplementos a base de proteínas de suero) influenciara la respuesta de los músculos a la ingesta de aminoácidos a través de estimular una mayor respuesta de la insulina y resultando en una mayor absorción de aminoácidos por parte de los músculos (Hoffman, 2007).

La Figura 3.8 resume los resultados de diversas investigaciones en donde se compara la captación de fenilalanina que expresa el balance neto de proteínas musculares cuando se ingieren nutrientes de diferente composición y en diferentes momentos respecto a la realización de una sesión de entrenamiento de fuerza.

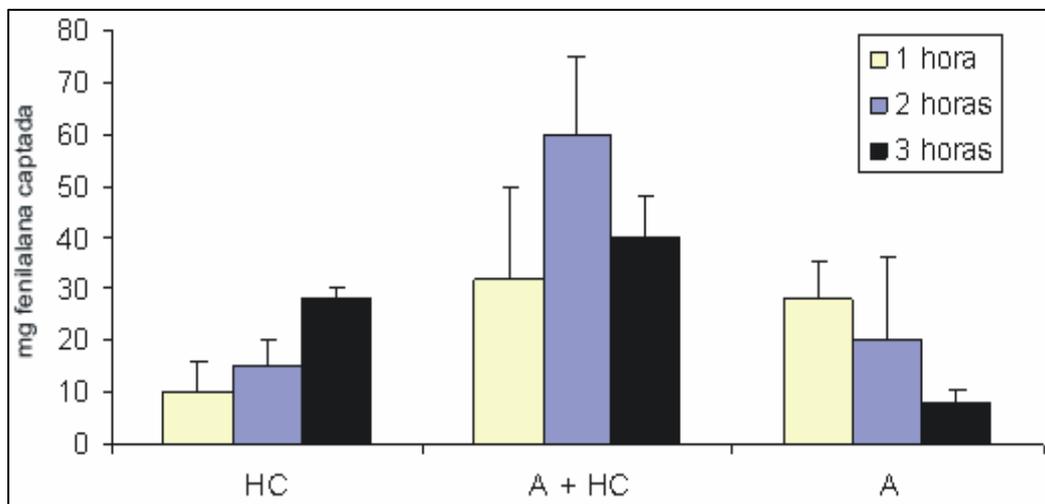


Figura 3.8 . Efecto del momento de la ingesta y la composición de los nutrientes sobre el balance neto de proteínas musculares (n = 6) HC: hidratos de carbono, A: aminoácidos (tomado de Tipton y Wolfe, 2003).

Aunque los resultados contradictorios aún no han sido explicados, parece evidente que la administración de aminoácidos y / o proteínas / hidrolizados de proteínas antes y / o durante el ejercicio podría aumentar la disponibilidad de aminoácidos en el músculo inmediatamente después de terminar el ejercicio. Este último podría ser para estimular aún más la acumulación neta de proteínas musculares durante la recuperación.

Por otra parte, los datos sugieren que la coingesta de proteína / hidrolizado de proteína durante el ejercicio de resistencia puede mejorar significativamente la capacidad de rendimiento. Esta coingesta durante o después del ejercicio también puede mejorar el rendimiento en una sesión de ejercicios posteriores. Esto último podría atribuirse a una atenuación de daño del músculo esquelético (Van Loon, 2007).

La ingesta de CHO después del ejercicio, juega un papel muy importante cuando se requieren velocidades máximas en la síntesis del glucógeno muscular. Aunque la ingesta de proteínas y/o aminoácidos no siempre puede tener un efecto sobre la síntesis del glucógeno muscular, hay evidencia de que la ingesta de aminoácidos en combinación con (Rasmussen et al., 2000) y sin CHO (Tipton et al., 1999), puede aumentar la síntesis de proteína después del ejercicio y el balance neto de proteína muscular. Un aumento en los niveles de insulina cuando las concentraciones de aminoácidos del plasma son altas puede aumentar más el balance de proteínas neto (Gelfand y Barrett, 1987; Hillier, Fryburg, Jahnet al., 1988).

La ingesta de nutrientes durante el ejercicio prolongado puede tener también importantes implicaciones para la recuperación tras el ejercicio. Numerosos estudios han demostrado que el consumo de CHO+P en deportistas de resistencia, durante la recuperación del ejercicio, mejora varios aspectos de la misma. La ingesta de CHO+P puede mejorar la repleción glucógena (Ivy, Goforth, Damon, McCauley, Parsons y Price, 2002, Van Loon, et al., 2000, Williams et al., 2003, Zawadzki et al., 1992), el equilibrio proteínico (Koopman et al., 2004), los indicios de daño muscular.

El consumo de CHO+P durante la recuperación tras el ejercicio se ha convertido en una práctica bastante común para los deportistas de resistencia.

Una visión general de la literatura reciente sobre el proyecto de propiedades ergogénicas de la coingesta de proteínas durante el ejercicio ha sido proporcionada por Saunders (2007) y Saunders et al., (2009), demostrando que la ingestión de un hidrolizado de proteínas durante el ejercicio mejoraba el rendimiento.

Van Loon (2007), en una revisión de la literatura, concluye que la coingesta de proteína durante las primeras horas de la recuperación después del ejercicio. puede acelerar la síntesis de glucógeno muscular cuando se ingieren tasas de menos de 0.8-1.0 g de carbohidratos por cada kg de peso corporal por hora. Para atletas bien entrenados la tasas de ingestión de hidratos de carbono son superior a 1.2 g kg/ hora. Por otra parte, afirma que la coingesta de proteínas después de ejercicio estimula la síntesis proteica muscular y reduce la degradación de proteína muscular, resultando en un saldo neto positivo de proteínas musculares. Datos más recientes

indican que la coingesta de carbohidratos durante la recuperación después del ejercicio no acelerar aún más la síntesis de proteínas musculares.

Los estudios que han examinado los beneficios de la ingesta de proteínas han demostrado que cuando la ingesta se produce cerca del entrenamiento (por ejemplo, inmediatamente antes o durante la hora después del ejercicio) mejora significativamente la tasa de proteínas musculares y la síntesis proteica muscular en comparación a cuando se retrasa la ingestión a períodos más largos de tiempo (Rasmussen et al., 2000; Tipton et al., 1999; Tipton et al., 2001).

Estos resultados sugieren que el tiempo de la ingesta del suplemento de proteínas podría ser críticamente importante para la estimulación de las adaptaciones musculares que se producen durante el entrenamiento prolongado. Sin embargo, hay pocos estudios que han examinado el efecto del momento de la ingesta de proteínas en el entrenamiento prolongado.

Varias investigaciones han demostrado que la ingestión de proteínas antes e inmediatamente después del ejercicio de resistencia es un estímulo potente para el aumento del tamaño muscular y la mejora en el rendimiento en comparación con los suplementos de hidratos de carbono sólo, en jóvenes entrenados previamente (19-23 años), (Hoffman et al., 2007) o no entrenados (Andersen et al., 2005; Willoughby et al., 2007).

Otros, sin embargo no observaron ningún cambio en la masa muscular o la fuerza después de 12 semanas de suplementación en personas no entrenadas, de edad avanzada (Candow, Chilibeck, Facci, Abeyssekara y Zello, 2006).

Estudios recientes sugieren que la ingestión de aminoácidos libres más hidratos de carbono antes del ejercicio, tiene como resultado una respuesta anabólica superior que si se ingiere después de éste (Tipton, 2007).

Zachwieja (1996), recoge un resumen de los estudios más relevantes realizados sobre la ingesta de proteínas inmediatamente antes o después del ejercicio y su repercusión sobre la mejora del proceso de recuperación. Con respecto a la ingesta de proteínas y aminoácidos antes y después del ejercicio, señala que el consumo de carbohidratos inmediatamente después del ejercicio facilita el restablecimiento del glucógeno muscular (energía almacenada en forma de carbohidratos), el cual es un componente importante del proceso de recuperación. Algunos creen que una mezcla de carbohidratos y proteínas acelerará este proceso, pero al menos cinco estudios cuidadosamente controlados han demostrado que el agregado de proteínas, aminoácidos o proteínas hidrolizadas a un suplemento de carbohidratos no es más efectivo para la resíntesis de glucógeno que la ingesta de una cantidad similar de calorías en forma de carbohidratos solamente (Carrithers et al., 2000; Jentjens et al., 2001; Rotman, Slotboom, Kreis, Boesch, Jequier, 2000; Van Hall et al., 2000; Van Loon et al., 2000b).

El consumo de alimentos o bebidas que contienen cantidades pequeñas de proteínas inmediatamente antes o después del ejercicio, todavía puede tener validez, especialmente en el entrenamiento con pesas. Las investigaciones han demostrado que

la ingesta de aminoácidos solamente (Tipton et al., 1999) o en combinación con los carbohidratos después del entrenamiento con pesas estimula la síntesis de proteínas e incrementa el balance neto de proteínas en el músculo.

Otros estudios sugieren que la síntesis de proteínas musculares se estimula más cuando se consume una bebida de carbohidratos y aminoácidos antes del ejercicio con pesas, en lugar de consumirla inmediatamente después (Rasmussen et al., 2000).

Con respecto a la ingesta de proteínas y aminoácidos durante el ejercicio y sus efectos sobre el rendimiento, Zachwieja (1996) indica que sólo unos pocos aminoácidos pueden ser usados por los músculos como combustible y su oxidación representa tan solo 2 a 5% del gasto total de energía, inclusive durante el ejercicio intenso. La mayoría de la energía para el ejercicio proviene de los carbohidratos y las grasas. Los mejores estudios científicos han sido incapaces de demostrar que el consumo de aminoácidos de cadena ramificada durante el ejercicio mejoren el rendimiento (Davis, Welsh, De Volve, Alderson, 1999; Tipton et al., 2001). De hecho, un efecto adverso debido a la ingesta de aminoácidos durante el ejercicio es el exceso de acumulación de amonio (un producto del desdoblamiento de los aminoácidos), el cual puede contribuir a la fatiga (Van Hall et al., 1995).

Se ha sugerido que el consumo de una mezcla de proteínas y carbohidratos durante la actividad física puede incrementar los niveles de insulina en sangre a niveles superiores de lo que lo hacen los carbohidratos solos, incrementando así el uso de carbohidratos en el músculo y contribuyendo más a retardar la fatiga (Zachwieja, 1996).

Pérez-Guisado (2009), en una revisión realizada sobre la importancia del momento en que se realiza la ingesta de nutrientes, concluye, en referencia a la coingesta de CHO+P, que la ingestión de una pequeña cantidad de aminoácidos esenciales con un poco de carbohidratos justo antes de la sesión de entrenamiento, puede ser más efectiva a la hora de estimular la síntesis proteica y mejorar el balance nitrogenado que la ingestión de nutrientes inmediatamente después del entrenamiento (Tipton et al., 2001).

La recomendación de consumir carbohidratos una hora antes del ejercicio no está exenta de polémicas, pues mientras que hay estudios que demuestran que no se producen ni efectos beneficiosos ni perniciosos (Coyle, 1995; Horowitz y Coyle, 1993), otros estudios consideran que esta práctica puede conducir a una hipoglucemia y prematura fatiga (Foste, Costill y Fonk, 1979).

Con respecto a la coingesta después del ejercicio, Pérez-Guisado (2009), indica que incluso ingiriendo 100 g de hidratos de carbono en solución, una hora después de la sesión de entrenamiento, el balance nitrogenado continúa siendo negativo a pesar de que se produce una mejora significativa en dicho balance si se compara con no tomar nada (Borsheim, Cree, Tipton et al., 2004). Sin embargo, las mejoras que se producen para evitar el catabolismo muscular, son mucho más rápidas al ingerir aminoácidos (Borsheim et al., 2002; Rasmussen et al., 2000).

Se ha comprobado que la ingestión de hidratos de carbono (1 g/Kg de peso) después de entrenar con pesas puede favorecer el descenso de la degradación proteica miofibrilar y la excreción de nitrógeno ureico (Roy et al., 1997), es decir,

evitaría el catabolismo proteico. Tras la realización del ejercicio físico, cuando se compara la ingestión de únicamente hidratos de carbono, con la de hidratos de carbono más proteínas, la segunda opción es más efectiva, pues acelera en mayor medida la recuperación muscular tras la sesión de entrenamiento (Cade, Reese, Privette et al., 1992), Además, la ingestión de hidratos de carbono con proteínas tras el ejercicio físico acelera la resíntesis de glucógeno muscular (Ivy , 2004) tanto en ejercicios de tipo aeróbico (Tarnopolsky, Bosman, Macdonald et al., 1997; Zawadzki et al., 1992) como anaeróbico (Roy et al., 1997; Roy y Tarnopolsky, 1998).

En un estudio reciente Tonne y Betts (2010), compararon dos bebidas una con solo CHO al 9% y otra de CHO +P (6,8% CHO, más 2,2% de proteína). Las bebidas se administraron durante la realización de una prueba de 45-min en cicloergómetro con intensidad variable hasta el agotamiento, que terminó con una contrarreloj de 6-km. En consecuencia, el tiempo total del ejercicio fue de aproximadamente 62 min contrarreloj.

Estos autores observaron que el tiempo para completar la prueba contrarreloj de 6-km fue 433 ± 21 s en los ensayos con la ingesta de la bebida CHO y 438 ± 22 s en los ensayos con la bebida CHO-P. Sin embargo, ninguna otra variable medida en este estudio fue significativamente diferente entre los ensayos.

Tonne y Betts (2010) concluyeron que para ejercicios de una duración de 60 minutos de bicicleta a intensidad variable, la ingesta de bebidas CHO+P, cuando se ingiere durante el ejercicio, no es eficaz.

La reducción de la cantidad de hidratos de carbono en la bebida y su sustitución por proteína no es una estrategia nutricional para este tipo de actividad. Esto es debido a que se produce un retraso en la aparición de hidratos de carbono en el tracto digestivo.

Parece ser que en cuanto al tipo de aminoácido, los esenciales son mucho más efectivos que los no esenciales (Tipton et al., 1999) y que el consumo de aminoácidos esenciales tras el entrenamiento, es tan efectivo a la hora de estimular la síntesis proteica, como la combinación de aminoácidos esenciales con carbohidratos (Rasmussen et al., 2000). No obstante, se ha demostrado que la ingestión simultánea de aminoácidos esenciales y carbohidratos en solución, ya sea una o tres horas después de la sesión de entrenamiento, es capaz de provocar un incremento en la síntesis proteica de hasta el 400% cuando se compara con los valores normales de reposo (Tipton et al., 2001).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, no resulta extraño que una buena medida para maximizar la recuperación de la sesión deportiva, sea tomar antes de que pasen 30 min., tras la finalización de la misma, una dosis de hidratos de carbono y proteína de aproximadamente 1g/kg y 0.5g/kg respectivamente. Además de lo anterior, sería beneficioso hacer una comida rica en hidratos de carbono dentro de las dos primeras horas tras la finalización de la sesión deportiva (Carli et al., 1992). Estas estrategias nutricionales han demostrado ser eficaces a la hora de acelerar la resíntesis de glucógeno y alcanzar un mejor perfil anabólico que favorezca la recuperación (Kraemer, Volek , Bush , Putukian , Sebastianelli , 1998; Tarnopolsky et al., 1997; Zawadzki et al., 1992).

Hay una gran cantidad de información aún por determinar para establecer conclusiones de forma definitiva sobre el momento óptimo de la ingestión de nutrientes en relación con el ejercicio. Hay muchos factores que pueden influir en la respuesta anabólicos, incluyendo el sexo (Tipton, 2001), edad (Dangin, Guillet, Garcia-Rodenas et al., 2003), y nivel de entrenamiento (Phillips, Parise, Roy, Tipton, Wolfe y Tarnopolsky, 2002; Phillips, Tipton, Ferrando y Wolfe , 1999) de la persona; tipo de proteína (Tipton et al., 2004, Wilkinson et al., 2007) o la forma de aminoácidos ingerida (Tipton et al., 2001; Tipton et al., 2007), y otros nutrientes al mismo tiempo ingerida (Borsheim et al., 2004; Elliot et al., 2006; Miller et al., 2003; Tipton et al., 2001).

Se necesitan más investigaciones para demostrar qué aminoácidos o hidrolizados de proteínas antes o durante el ejercicio son esenciales para tener una óptima disponibilidad de aminoácidos después del ejercicio.

3.4. Mecanismos fisiológicos de la ingesta de carbohidratos y proteína para la mejora del rendimiento.

A pesar de que se están incrementando las pruebas a favor de que la ingesta de CHO+P podría mejorar el rendimiento en la resistencia, no es posible un consenso en este punto ya que se han obtenido resultados contradictorios.

Algunos estudios han demostrado un rendimiento mejorado con la adición de

los aminoácidos (Burke, 1999; Fogt e Ivy, 2001; Hiedra et al., 2003; Ivy et al., 2003; Niles et al., 2001; Ready et al., 1999; Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2007; Schedl, Muagha, y Gisolfi, 1994; Williams et al., 1999; Williams et al., 2003; Zawadski et al., 1992) y otros no muestran diferencia entre las suplementaciones de aminoácidos más hidratos de carbono y las que solo utilizan hidratos de carbono (Cheuvront et al., 2004; Davis et al., 1999; Gasier y Olson, 2010; Madsen et al., 1996; Romano-Ely et al., 2006; Skillen et al., 2008; Tonne, y Betts, 2010; Van Essen y Gibala de 2006, Van Hall et al., 1995).

De los estudios más recientes que han observado beneficios sobre el rendimiento de bebidas CHO+P (Hiedra et al., 2003; Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2007; Saunders et al., 2009), se emparejó el contenido de CHO en las bebidas, pero no en el contenido calórico total, que fue mayor para las bebidas CHO+P. Los resultados informaron que la proteína, cuando se añade a una bebida con 6/8% de CHO puede mejorar el tiempo de prueba, debiéndose esta mejora, con respecto a las bebidas con solo CHO, al mayor contenido calórico.

Estudios que han igualado el contenido calórico total de ambas bebidas como el de Romano-Ely et al., (2006) y Valentine et al., (2008), no describieron diferencias en el tiempo hasta el agotamiento entre bebidas isocalóricas CHO+P y CHO. Esto sugiere que un factor primordial para los beneficios de la ingesta de CHO+P es la disponibilidad adicional de calorías en bebidas CHO+P. Estos hallazgos apoyan la idea de que se produce un beneficio, mediado por proteínas, cuando las bebidas no están igualadas en el contenido total de calorías.

Sin embargo, otros estudios recientes en los que no se igualó el contenido calórico total no obtuvieron diferencias en el rendimiento con la ingesta de CHO+P en comparación con las bebidas con solo CHO (Cepero et al., 2009; Cepero et al., 2010; Gasier y Olson, 2010; Osterberg et al., 2008; Van Essen y Gibala, 2006).

Recientemente, Toone y Betts (2010), compararon los efectos de dos bebidas (una bebida CHO al 9% y otra bebida de una mezcla de 6.8% de CHO y un 2,2 % de P, igualadas en el contenido calórico total). Las bebidas se administraron durante la realización de una prueba de 45-min en cicloergómetro con intensidad variable hasta el agotamiento, que terminó con una contrarreloj de 6-km. En consecuencia, el tiempo total del ejercicio fue de aproximadamente 62 min contrarreloj.

Estos autores observaron que el tiempo para completar la prueba contrarreloj de 6-km fue 433 ± 21 s en los ensayos con la ingesta de la bebida CHO y 438 ± 22 s en los ensayos con la bebida CHO-P. Sin embargo, ninguna otra variable medida en este estudio fue significativamente diferente entre los ensayos.

Tonne y Betts (2010) concluyeron que para ejercicios de una duración de 60 minutos de bicicleta a intensidad variable, la ingesta de bebidas CHO+P, cuando se ingiere durante el ejercicio, no es eficaz.

La reducción de la cantidad de hidratos de carbono en la bebida y su sustitución por proteína no es una estrategia nutricional para este tipo de actividad. Esto es debido a que se produce un retraso en la aparición de hidratos de carbono en el tracto digestivo.

Pese a estos hallazgos, sigue siendo difícil identificar el mecanismo preciso mediante el cual la capacidad de ejercicio se ha mejorado en otros estudios (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2007), teniendo en cuenta que las mezclas de carbohidratos y proteínas ingeridas en las investigaciones llevadas a cabo, suponían un 20-25% de energía más disponible para el metabolismo que las soluciones de control que contienen hidratos de carbono solo.

Estudios previos que describen los efectos ergogénicos del CHO+P compararon bebidas administradas a velocidades de 37–47 g CHO/h (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2004 y Saunders et al., 2007), por debajo de las velocidades de oxidación máximas del carbohidrato exógeno. Así, no está claro si la adición de proteínas a bebidas con carbohidratos proporcionadas a velocidades máximas de oxidación exógena (60–90 g CHO/hr); (Jentjens et al., 2004a; Jentjens et al., 2004b; Jeukendrup y Jentjens, 2000) provocará mayores mejorías en el rendimiento.

Aunque actualmente es especulativo, hay numerosos mecanismos potenciales que podrían contribuir de forma plausible a los efectos ergogénicos de la ingesta de CHO+P. Estos mecanismos deberían ser examinados cuidadosamente en posteriores estudios sobre la ingesta de CHO+P durante el ejercicio.

Algunos de estos mecanismos son:

a) Las proteínas proporcionan una pequeña contribución a la producción de energía durante el ejercicio de resistencia, tal vez entre el 5% y el 10% de la demanda de energía total (Brooks y Mercies, 1994; Dohm, 1986). Sin embargo, la proporción aumentaría cuando el ejercicio se practica en un estado de depleción glucógena, como ocurre durante las últimas etapas del ejercicio de resistencia (Lemon, 1998; Van Hall, MacLean, Saltin y Wagenmakers, 1996; Wagenmakers, Brookes, Coakley, Reilly y Edwards, 1989).

b) Diversos estudios han demostrado que la ingesta de CHO+P durante el ejercicio de resistencia puede incrementar la oxidación proteínica. Koopman et al., (2004) observaron que la toma de CHO+P durante el ejercicio prolongado daba como resultado el doble de aumento en la oxidación proteínica en comparación con CHO.

c) También es posible que la ingesta de CHO+P sustente mayores índices en el metabolismo aeróbico influenciado por los intermediarios del ciclo del ácido tricarboxílico (ATC). El flujo del ciclo ATC puede incrementar más de 80 veces durante el ejercicio y en varios aminoácidos jugar papeles integrales en los procesos anapleróticos (Wagenmakers, 1998). El ciclo ATC sufre un drenaje de carbono durante el ejercicio prolongado de intensidad moderada como resultado, tal vez, de unos incrementos progresivos en la oxidación de la leucina que coincide con la depleción glucógena ((Wagenmakers, 1998). Este declive en los intermediarios del ciclo ATC parece relacionado a una capacidad dañada para conocer las demandas para la producción de ATP (Dohm, 1986; Wagenmakers, Beckers, Brouns et al.,

1991; Wagenmakers, 1998). Si la ingesta de CHO+P puede compensar las disminuciones en los intermediarios del ciclo ATC durante el ejercicio prolongado, este mecanismo podría explicar las mejorías observadas en el tiempo hasta el agotamiento y el rendimiento en el último ejercicio de la prueba cronometrada.

d) Las bebidas con CHO+P también pueden producir un efecto ergogénico sobre la fatiga central., Esto es debido al efecto potencial proteínico sobre la fatiga central., La ratio del triptófano libre (f-TRP) para los BCAA aumenta durante el ejercicio, lo que causa un incremento de los niveles de serotonina del cerebro y conduce de forma potencial a un comienzo de la fatiga durante el ejercicio de resistencia (Chaouloff, Kennett, Serrurier, Merino y Curzon, 1986; Blomstrand, 2006; Davis y Bailey, 1996; Davis, Alderson y Gales, 2000; Newsholme, Acworth y Blomstrand, 1987; Skillen et al., 2008). La ingesta de CHO+P durante el ejercicio podría influenciar enormemente ambos aspectos de esta ratio de forma positiva. Se ha demostrado que la ingesta de carbohidratos atenúa los cambios en los niveles de f-TRP durante el ejercicio (Davis, Bailey, Woods, Galiano, Hamilton y Bartoli, 1992) lo que podría reducir la fatiga central.,

e) También es posible que la proteína ayude al rendimiento de la resistencia facilitando el transporte del combustible más rápidamente, a través de las paredes intestinales. Los aminoácidos tienen múltiples trayectorias a partir de los intestinos (Stevens, Ross y Wright, 1982) y estimulan la absorción del líquido y los electrolitos por los mecanismos únicos de glucosa (Hellier, Thirumalai y Holdsworth, 1973). También consigue una mayor captación y retención del combustible/líquido, que podría mejorar el rendimiento, ya que podrían tener

propiedades hidratantes similares (Colombani et al., 1999) o superiores (Flakoll, Judy, Flinn, Carr y Flinn, 2004; Seifert, Hannon y DeClercq, 2005) a las bebidas con CHO.

f) Un gran número de estudios han observado un aumento de la secreción de insulina durante la recuperación del ejercicio cuando los participantes ingieren carbohidratos con proteínas añadidas (Berardi, Price, Noreen y Lemon, 2006; Betts y Colet, 2005; Betts, Williams, Boobis y Tsintzas, 2008; Betts, Williams, Duffy y Gunner, 2007; Jentjens et al., 2001; Kaastra et al., 2006; Rotman et al., 2000; Van Hall et al., 2000a; Van Hall et al., 2000b; Van Loon et al., 2000a; Van Loon et al., 2000b; Zawadzki et al., 1992), que puede favorecer el aumento de la captación de glucosa y el almacenamiento de glucógeno en algunas situaciones (Berardi et al., 2006; Hiedra et al., 2003; Van Hall et al., 2000a; Van Loon et al., 2000b).

g) Finalmente, la ingesta de CHO+P puede repercutir en la estimulación de insulina durante el ejercicio (Ivy et al., 2003; Saunderson, 2007; Van Essen y Gibala, 2006). Ivy et al., (2003) observaron niveles elevados de insulina con la ingesta de CHO+P al compararlo con agua, pero dichos niveles no eran estadísticamente más altos que una prueba con CHO. Saunders (2007) demostró una tendencia muy similar con niveles de insulina ligeramente mayores (pero no de forma significativa) en pruebas con ingesta de CHO+P que con solo CHO. Así, aunque se requieren investigaciones adicionales para determinar claramente los efectos de la ingestión de CHO+P en los niveles de insulina, los estudios sugieren que es improbable que este factor contribuya de forma significativa a una mejora en el rendimiento.

3.5. Efectos en la recuperación de la ingesta de carbohidratos y proteínas durante el ejercicio.

El papel tradicional del carbohidrato en las bebidas isotónicas ha sido el de optimizar el rendimiento retrasando la deshidratación y la hipoglucemia así como influenciando en gran medida la depleción glucógena y la fatiga central., Sin embargo, la toma de nutrientes durante el ejercicio prolongado puede tener también importantes implicaciones para la recuperación tras el ejercicio.

Números estudios han demostrado que el consumo de CHO+P durante la recuperación del ejercicio prolongado mejora varios aspectos de la misma en los deportistas de resistencia. Aunque algunas de estas áreas de investigación continúen siendo controvertidas, diversos autores han visto que la ingesta de CHO+P puede mejorar:

- La repleción glucógena (Hiedra et al., 2003; Ivy et al., 2002; Koopman et al., 2004; Van Loon et al., 2000b; Williams et al., 2003; Zawadski et al., 1992).
- El equilibrio proteico (Koopman et al., 2004).
- Los índices de daño muscular (Luden et al., 2007; Romano-Ely et al., 2006; Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2006; Shimomura et al., 2006; Skillen et al., 2008).
- Y el posterior rendimiento (Niles et al., 2001; Saunders et al., 2004; Skillen et al., 2008; Williams et al., 2003).

Como resultado, el consumo de CHO+P durante la recuperación tras el ejercicio se ha convertido en una práctica bastante común para los deportistas de resistencia. Sin embargo, es menos aceptado la influencia de la ingesta de CHO+P durante el ejercicio para la recuperación muscular.

3.5.1. Balance proteínico.

Varios estudios han demostrado que durante los ejercicios de resistencia la degradación proteínica aumenta (Koopman et al., 2004; Phillips, Atkinson, Tarnopolsky y MacDougall, 1993; Wolfe, Goodenough, Wolfe, Royle y Nadel., 1982).

Sheffield-Moore, Yeckel, Volpi et al., (2004) observaron que el fallo proteínico se intensifica inmediatamente después de un ejercicio aeróbico de intensidad moderada.

A pesar de que la síntesis de la proteína también se comienza a recuperar a partir de los niveles de descanso, el balance total neto proteico se mantenía negativo pasadas 3 horas tras el ejercicio sin intervención nutricional (Sheffield-Moore et al., 2004). Las bebidas CHO+P podrían mejorar el balance entre la síntesis proteínica y la degradación durante y después del ejercicio.

La ingesta de CHO después del ejercicio, juega un papel muy importante cuando se requieren velocidades máximas en la síntesis del glucógeno muscular.

Aunque la ingesta de proteínas y/o aminoácidos no siempre tiene un efecto sobre la síntesis del glucógeno muscular, hay evidencia de que la ingesta de aminoácidos en combinación con (Rasmussen et al., 2000) y sin CHO (Tipton et al., 1999), puede aumentar la síntesis de proteína después del ejercicio y el balance neto de proteína muscular. Varios estudios han mostrado que un aumento en los niveles de insulina cuando las concentraciones de aminoácidos del plasma son altas puede aumentar más el balance neto de proteínas (Gelfand, Barrett, 1987; Hillier, Fryburg, Jahn et al., 1988).

Dicho efecto estimulante sobre el balance proteico neto puede ser en parte consecuencia del efecto estimulante de la leucina sobre la síntesis de proteínas musculares, independientemente del incremento en los niveles de insulina (Anthony, Anthony, Kimball, Vary y Jefferson, 2000).

Koopman et al., (2004) observaron que el balance neto de proteínas era negativo a lo largo de 6 horas de ciclismo/carrera en $\sim 50\%$ VO_{2max} con la ingesta de CHO (0,7 gr CHO por kg/ h). Sin embargo, la ingesta de CHO+Pro (0,7 g CHO kg/ h + 0,25g Pro kg/ h) aumentaba significativamente la síntesis proteínica y disminuía la degradación proteínica dando como resultado un balance neto de proteína positivo durante y después del ejercicio. En un estudio en el que se examinaba la ingesta de CHO+P durante la recuperación del ejercicio de resistencia, Miller, Maresh, Armstrong, Ebbeling, Lennon y Rodriguez, 2002) observaron que el agarre de la fenilalanina en la etapa post ejercicio era bastante mejor tras la administración de CHO+P, que tras administración de CHO o la toma de proteína sola. Los autores concluyeron que la hiperinsulinemia inducida por el carbohidrato

no era adecuada para la síntesis proteica tras el ejercicio sin un suministro adecuado de aminoácidos. Los resultados de algunos estudios completos hasta la fecha sugieren que esta combinación puede ser, además, beneficiosa para el balance proteínico cuando el CHO+P se consume durante el ejercicio de resistencia.

Los beneficios que han observado estos estudios para elevar marcadamente los niveles de insulina y la disponibilidad de aminoácidos plasmáticos a través de la manipulación dietaria, puede ser de gran valor para las bebidas deportivas utilizadas en la recuperación.

3.5.2. Daño muscular y posterior rendimiento.

Diversos estudios, han demostrado que la recuperación después del ejercicio podría mejorarse con la ingestión de CHO+P durante el mismo. Esta hipótesis está apoyada por un gran número de estudios recientes, que han observado que los indicadores del daño muscular post ejercicio disminuyen con la ingesta de CHO+P (tabla 3.4).

Tabla 3.4 Estudios más importantes que analizan los indicadores del daño muscular y el rendimiento posterior con la ingesta de CHO+P.

| Estudio | Administración de la bebida | Indicadores de daños | ↓ con CHO+P | Rendimiento posterior | Efectos significativos |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------|---|------------------------|
| Saunders et al.,(2004) | Durante/tras | CK | Si | TTE al 85% VO2max | Si |
| Millard-Stafford et al.,(2005) | Tras | CK | No | TTE al 90%VO2max | No |
| | | Dolor | Si | 5km TT | No |
| Romano-Ely et al.,(2006) | Durante/tras | CK | Si | TTE al 80%VO2max | No |
| | | LDH | Si | | |
| | | Dolor | Si | | |
| St.Lauren et al.,(2006) | Durante | CK | Si | Respuesta en la extensión de la etapa al 70% I-RM | Si |
| | | Mioglobina | Si | | |
| | | Dolor | No | | |
| Luden et al.,(2007) | Tras | CK | Si | 5 a 8km a través del campo TT | No |
| | | Dolor | Si | | |
| Skillen et al., 2008 | Antes/durante y después | CK | Si | 90min al 75% Vo2max hasta el 85% Vo2max al final de la prueba | Si |
| | | Dolor | Si | | |
| | | Estado de ánimo | Si | | |
| | | Fatiga general | Si | | |
| Valentine et al., (2008) | Durante | CK | Si | 4 carreras hasta el agotamiento al 75% Vo2max | Si |
| | | Mioglobina | Si | | |
| | | Dolor | Si | | |
| Cepero et al., (2009) | Después | CK | Si | Ciclismo 1h al 75% Vo2max+20 km en el menor tiempo posible | No |
| | | Daño Muscular | Si | | |
| Saunders et al., (2009) | Durante y después | CK | Si | 60Km+ 5km de subida con 5% de inclinación | No |

| | | Daño Muscular | Si | | |
|-----------------------|---------|-----------------|----|--|----|
| Cepero y col. (2010) | Después | CK | Si | Ciclismo 1h al 75% Vo2max+20 km en el menor tiempo posible | No |
| | | Daño Muscular | Si | | |
| Gasier y olson (2010) | Después | Estado de ánimo | Si | 2000m de natación+6.4km de carrera Serie de ejercicios calisténicos +400 m carrera al 85%VO2max. | No |

La ingesta de CHO+P atenúa los niveles en plasma de CK (Luden et al., 2007; Romano-Ely et al., 2006; Saunders et al., 2004; Skillen et al., 2008) y LDH, y las valoraciones subjetivas del dolor muscular (Gasier y Olson, 2010; Flakoll et al., 2004; Luden et al., 2007; Millard-Stafford, Warren, Thomas, Doyle, Snow y Hitchcock, 2005; Romano-Ely et al., 2006; Skillen et al., 2008) en comparación con la ingestión de CHO. Además, estos beneficios se han observado en estudios que comparaban las bebidas CHO+P y CHO igualadas en contenido de carbohidrato (Luden et al., 2007; Millard-Stafford et al., 2005; Saunders et al., 2004) o en el total de calorías (Romano-Ely et al., 2006). Estas reducciones podrían tener importantes implicaciones para el rendimiento en la realización de un ejercicio posterior.

Pese a esta hipótesis, otros estudios no han visto mejoras en el rendimiento posterior tras la ingesta de CHO+P a pesar de las reducciones en los niveles de plasma CK durante el post ejercicio (Luden et al., 2007; Romano-Ely et al., 2006; Skillen et al., 2008). Las diferencias en estos descubrimientos puede ser el resultado de diferencias relativas en el daño muscular dentro de estos estudios, dado que se obtuvo una mayor respuesta del CK post ejercicio, sin la utilización de proteína durante la prueba, en el estudio que mostraba una mejoría significativa en el

rendimiento posterior (~1300 u/l) (48), que en los estudios donde no se mostraban diferencias en el rendimiento posterior (~300-580 u/l) (Luden et al., 2007; Romano-Ely et al., 2006). Esta hipótesis se apoya en anteriores estudios en los que se determinaba que los sujetos que sufrían mayores atenuaciones en CK con la ingesta de CHO+P experimentaban de forma significativa mejorías más elevadas en el rendimiento posterior (Combest, Saunders, Kane y Todd, 2005).

De modo similar, Luden et al., (2007); publicaron que los corredores, al terminar recorridos mayores semanalmente, observaban atenuaciones máximas en el CK post ejercicio con la coingesta de CHO+P. Estos deportistas de mayores recorridos también tuvieron una mejor tendencia al desarrollo del rendimiento posterior con el tratamiento CHO+P.

De todos estos estudios, se observa que la ingesta de CHO+P podría reducir los indicadores del daño muscular en los deportistas de resistencia. Estas alteraciones podrían producir importantes efectos en el rendimiento posterior si las atenuaciones en el daño muscular fueran lo suficientemente extensas como para tener importancia práctica para la función muscular. Aunque estos estudios sugieren que el CHO+P es potencialmente importante para la recuperación en deportistas de resistencia, es difícil determinar si estos beneficios son el resultado de la alimentación administrada durante el ejercicio, ya que los estudios mencionados anteriormente administraron CHO+P después del ejercicio (Luden et al., 2007; Millard-Stafford et al., 2005), o en otros estudios, durante el ejercicio y después del mismo (Romano-Ely et al., 2006 ; Saunders et al., 2004; Skillen et al., 2008).

Sin embargo, en una investigación posterior, se comparó los efectos de la recuperación muscular de una bebida CHO+P (78g CHO/h +19g P/h) con aquellas bebidas CHO igualadas calóricamente (97g CHO/h), una bebida CHO igualada en carbohidratos (78g CHO/h) y una bebida placebo (0g CHO/h) que se administraron durante el ejercicio hasta la extenuación. Aunque las bebidas solo fueron administradas durante el ejercicio, el tratamiento CHO+P produjo reducciones significativas en el CK después del ejercicio (Laurent, Todd, Saunders, Valentine y Flohr, 2006). Además, el rendimiento muscular durante un test de prolongación de etapa de 24h post ejercicio fue considerablemente mayor tras la prueba CHO+P que en las pruebas restantes.

Estos datos colectivamente sugieren que la ingesta de CHO+P puede reducir los indicadores de daño post ejercicio y mejorar potencialmente el rendimiento en ejercicios posteriores. Por otro lado, parece que estos beneficios pueden estar provocados por el consumo de bebidas CHO+P durante el ejercicio único.

CAPITULO 4.- OBJETIVOS, HIPÓTESIS

CAPÍTULO 4

CAPÍTULO 4. Objetivos de la investigación e hipótesis.

4.1. Objetivos de la investigación.

Una vez analizado el marco teórico que justifica nuestra investigación, pasamos a desarrollar los objetivos e hipótesis de nuestro estudio.

El principal objetivo de este estudio ha sido comparar los efectos de tres bebidas con diferente composición, igualadas con la misma cantidad de calorías: una con solo CHO (9%), otra con CHO+ Proteína caseína (7% carbohidratos y 2% proteínas) y otra con CHO+ proteína de suero de leche, lactoserum, (7% carbohidratos y 2 % proteínas) sobre el rendimiento deportivo, la recuperación después del esfuerzo y el daño muscular (la bioquímica muscular), tras un esfuerzo submáximo en ciclismo (20 km en bicicleta en el menor tiempo posible).

Este objetivo genérico de la investigación se plasma en los siguientes objetivos específicos:

1. Diseñar una bebida isotónica con aporte nutricional a base de hidrolizados de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales.
2. Desarrollar una bebida isotónica con aporte nutricional a base de hidrolizados de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales.

3. Comparar los efectos ergogénicos de la ingesta de tres bebidas con diferente composición, igualadas con la misma cantidad de calorías: una con solo CHO (9%), otra con CHO+ Proteína caseína (7% carbohidratos y 2% proteínas) y otra con CHO+ Proteína de suero de leche, lactoserum, (7% carbohidratos y 2 % proteínas) sobre el rendimiento deportivo, la recuperación después del esfuerzo y el daño muscular en una prueba representativa del ciclismo de resistencia, una contrareloj de 20Km en ciclismo.

4. Determinar la incidencia de la ingesta, durante y después del ejercicio, de las bebidas creadas sobre el rendimiento y la recuperación

5. Estudiar los efectos fisiológicos de las tres bebidas creadas, demostrando que las bebidas CHO+P tienen mejor efecto insulínico que otra bebida con solo CHO.

6. Valorar los efectos de las bebidas CHO+Pro sobre la fatiga muscular, demostrando que previene la aparición de fatiga muscular, los indicadores del daño muscular y la posterior mejora en el rendimiento para ejercicios posteriores.

7. Observar/analizar posibles diferencias sobre los efectos ergogénicos en el rendimiento y la recuperación entre la bebida CHO+ Proteína caseína y la bebida CHO+Proteína de suero de leche.

4.2. Hipótesis de la investigación.

Nuestra hipótesis de partida ha sido intentar cuantificar de qué forma la ingesta de diferentes bebidas, igualadas con la misma cantidad de calorías: una con solo CHO (9%), otra con CHO+ Proteína caseína (7% carbohidratos y 2% proteínas) y otra con CHO+ Proteína de suero de leche, lactoserum, (7% carbohidratos y 2% proteínas), serán un eficaz método de actuar sobre el rendimiento deportivo y la recuperación en ciclistas entrenados.

Varias investigaciones han demostrado que la ingestión de hidratos de carbono (16-75 g / hr) durante el ejercicio de más de 1 hora de duración puede mejorar la resistencia y el rendimiento al proporcionar una fuente de combustible para mantener los niveles de glucosa en sangre mientras que se produce un ahorro del glucógeno muscular (Bosch et al. 1996; Burke et al. 2004; Febbraio et al. 2000; Ivy et al. 2003; Jeukendrup, 2004; Van Essen & Gibala, 2006).

La ingestión de carbohidratos (1-1,2 g / kg) a intervalos frecuentes (a menos de 30 minutos de ejercicio cese y después cada hora hasta 4 horas) después del ejercicio también ha demostrado ser beneficiosos en la restauración de glucógeno muscular y la mejora de la recuperación tras el ejercicio (Burke et al. 2004; Hiedra et al., 2002; Van Loon et al. 2000b).

Otra estrategia nutricional, ya analizada en el capítulo 3º, cada vez más utilizada por deportistas, que mejora el rendimiento en ejercicios de resistencia, reduce los indicadores del daño muscular y mejora la recuperación después del

ejercicio, es la utilización de bebidas que contienen proteína y/o aminoácidos combinada con carbohidrato (CHO +Pro).

Uno de los beneficios comúnmente supuestos de la suplementación con aminoácidos es que ciertos aminoácidos (e.g., arginina, histidina, lisina, metionina, ornitina y fenilalanina) pueden estimular la liberación de la hormona de crecimiento, de la insulina y/o de los glucocorticoides, y de esta manera promover los procesos anabólicos (Kreider, 1993).

Los efectos ergogénicos de la suplementación con aminoácidos de cadena ramificada (AACR: leucina, isoleucina y valina) sobre las respuestas psicológicas y fisiológicas al ejercicio (Blomstrand et al., 1991; Kreider, 1998; Wagenmakers, 1998) son:

- Reduce la degradación proteica inducida por el ejercicio y/o la liberación de enzimas musculares (un indicador del daño muscular) posiblemente promoviendo un perfil hormonal anti catabólico (Carli et al.1992; Coombes and McNaughton, 1995). Van Loon (2007), en una revisión de la literatura, concluye que la coingesta de carbohidratos y proteína durante las primeras horas de la recuperación después del ejercicio puede acelerar la síntesis de glucógeno muscular, estimula la síntesis proteica muscular y reduce la degradación de proteína muscular, resultando en un saldo neto positivo de proteínas musculares.

- La disponibilidad de AACR durante el ejercicio parece que contribuye a la mejora de la fatiga central (Newsholme et a., 1991).

Hay evidencia científica de que los aminoácidos o los hidrolizados de proteínas en combinación con los hidratos de carbono ayudan a mejorar la recuperación después de hacer deporte.

Así, teniendo en cuenta estos beneficios, la ingesta de una bebida que contenga CHO y P, después de un ejercicio que deplete las reservas de glucógeno, puede facilitar una mayor tasa de resíntesis de glucógeno que una bebida que contenga solo carbohidratos, así como acelerar los procesos de recuperación y mejorar el rendimiento en los ejercicios de resistencia durante un segundo período de ejercicio realizado durante un mismo día (Niles et al.2000).

Con respecto al tipo de proteína, recientemente Hoffman (2007) analizó las diferencias entre la ingesta de suero y caseína sobre la acumulación proteica, indicando que ambas pueden tener diferentes propiedades digestivas. Tanto la ingesta de suero como la de caseína, pueden incrementar la síntesis de proteínas musculares. La cuestión entonces es si un tipo estimula la síntesis de proteínas musculares en mayor medida que el otro.

En una comparación entre la suplementación con caseína y suero, Boirie, Dangin, Gachon, Vasson, Maubois y Beaufriere (1997), demostraron que la ingesta de 30 g de caseína versus 30 g de suero, tenía efectos significativamente diferentes sobre la ganancia de proteínas post prandial. Estos investigadores mostraron que luego de la ingesta de suero, la aparición de aminoácidos en el plasma es más rápida, de mayor magnitud y transitoria. En contraste, la caseína es absorbida mucho más lentamente, produciendo un aumento mucho menos dramático en la concentración

plasmática de aminoácidos. La ingesta de proteínas en suero estimuló la síntesis de proteínas en un 68% mientras que la ingesta de caseína estimuló la síntesis de proteínas en un 31%. Cuando los investigadores compararon el balance post prandial de leucina, 7 horas luego de la ingesta, el consumo de caseína resultó un balance de leucina significativamente mayor, mientras que no se observaron cambios en relación con el valor basal luego del consumo de suero.

Estos resultados sugieren que el suero estimula una rápida síntesis de proteínas pero una gran parte de estas proteínas son oxidadas (utilizadas como combustible), mientras que la caseína puede resultar en una mayor acumulación proteica durante un período de tiempo más prolongado.

Un estudio posterior mostró que la ingesta repetida de proteína en suero (una cantidad igual de proteínas pero consumida en un período prolongado [4 horas] en comparación con una única ingesta) produjo una mejor oxidación neta de leucina que una única ingesta de caseína o suero (Dangin et al. 2002). Interesantemente, tanto la caseína como el suero son proteínas completas, pero su composición de aminoácidos es diferente. Específicamente, el contenido de leucina, el cual tiene un importante rol en el metabolismo de las proteínas musculares, es mayor en el suero que en la caseína. De esta manera, la tasa de digestión de proteínas puede ser más importante que la composición de aminoácidos de las proteínas. Estos resultados fueron respaldados por Tipton et al. (2001).

Estudios posteriores (Hoffman y Falvo, 2004, Tipton y Wolfe 2003, Tipton, et al. 2004) han evaluado las diferencias en las respuestas orgánicas que se

determinan al ingerir proteínas de suero o de caseína, obteniendo diferencias significativas en la velocidad de absorción post prandial causadas por una más lenta y sostenida asimilación de las proteínas de caseína respecto a las de suero.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los estudios mencionados, las cuestiones a estudiar han sido:

Hipótesis 1ª:

La ingesta de una bebida rica en hidrolizados de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales ayuda al deportista a mejorar el rendimiento deportivo comparado con la ingesta de una bebida isotónica control (solo carbohidratos y minerales).

Hipótesis 2ª:

La ingesta de una bebida rica en hidrolizados de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales ayuda al deportista a mejorar los factores bioquímicos en sangre que determinan la recuperación comparado con la ingesta de una bebida isotónica control (solo carbohidratos y minerales).

Hipótesis 3ª:

La inclusión de proteínas en una solución de carbohidratos puede acelerar tanto la velocidad de almacenamiento de glucógeno como la restitución de la capacidad de ejercicio después de actividad prolongada.

Hipótesis 4ª:

La ingesta de una bebida rica en proteína de suero de leche (Ps), carbohidratos, vitaminas y minerales, ayuda al deportista a mejorar el rendimiento deportivo comparado con la ingesta de una bebida isotónica control (solo carbohidratos y minerales).

Hipótesis 5ª:

La ingesta de una bebida rica en proteína caseína (Pc), carbohidratos, vitaminas y minerales, ayuda al deportista a mejorar el rendimiento deportivo comparado con la ingesta de una bebida isotónica control (solo carbohidratos y minerales).

Hipótesis 6ª:

La ingesta de una bebida rica en proteína de suero de leche (Ps), carbohidratos, vitaminas y minerales, ayuda al deportista a mejorar los factores bioquímicos en sangre comparada con la ingesta de una bebida isotónica control (solo carbohidratos y minerales).

Hipótesis 7ª:

La ingesta de una bebida rica en proteína caseína (Pc), carbohidratos, vitaminas y minerales, ayuda al deportista a mejorar los factores bioquímicos en sangre comparado con la ingesta de una bebida isotónica control (solo carbohidratos y minerales).

Hipótesis 8ª:

La ingesta de una bebida rica en proteína caseína (Pc) mejora el rendimiento deportivo con respecto a una bebida rica en proteína de suero de leche (Ps).

Hipótesis 9ª:

La ingesta de una bebida rica en proteína caseína (Pc) mejora los factores bioquímicos en sangre del deportista con respecto a una bebida rica en proteína de suero de leche (Ps).

CAPITULO 5.- METODOLOGÍA

CAPÍTULO 5

CAPÍTULO 5. Metodología de la investigación.

5.1. Participantes

5.2. Procedimiento

5.2.1. Fase 1: Medidas Preliminares

5.2.2. Fase 2: Evaluación cardiorespiratorio (VO₂máx)

5.2.3. Fase 3: Diseño Experimental propiamente dicho

5.3. Formulación de las bebidas

5.4. Análisis estadístico

Una vez formulados los objetivos y las hipótesis de la investigación se ha procedido al diseño metodológico de la investigación.

El protocolo experimental se diseñó en tres fases para determinar las diferencias en el rendimiento y la recuperación después de la ingesta de tres bebidas con diferente composición.

En la primera fase se informó a los participantes sobre el tipo de prueba que se iba a realizar y los procedimientos implicados y firmaron su consentimiento para participar en el estudio.

En la segunda fase, se hizo un examen médico y un test incremental en intensidad de evaluación del VO₂máx con el objetivo de determinar el estado de salud de los participantes y su rendimiento máximo.

En la tercera fase, los ciclistas llegaron al lugar de la prueba tras haber ayunado durante diez horas y pedalearon durante una hora al 75% de su capacidad máxima con el objetivo de agotar las reservas de glucógeno muscular (Betts y cols., 2007; Williams y cols., 2003). Tras la hora de pedaleo, los ciclistas bebieron un litro de bebida siguiendo un diseño experimental doble ciego y descansaron durante dos horas. Durante el descanso se tomaron muestras de sangre cada 15 minutos. Una vez finalizado el tiempo de recuperación, se pidió al ciclista que efectuara 20 km lo más rápido posible en una prueba de contrarreloj similar a la de Betts y cols., (2007).

5.1. Participantes

Quince ciclistas varones (edad 39.0 ± 9.8 años, altura $1.76 \pm 0,06$ m y masa corporal 74.4 ± 7.2 kg) completaron este trabajo de investigación experimental (Tabla 5.1). El número de participantes que se han utilizado en este estudio supera el tamaño muestral mínimo necesario para detectar diferencias en medidas dependientes con una potencia de 0,80, basado en un tamaño de efecto estimado de 1.0 unidades DE (de datos experimentales), una prueba de dos colas con nivel alfa de 0.05, y una correlación intraclase de 0,80 entre medidas repetidas (Lipsey, 1990). La muestra inicial estaba compuesta por 17 ciclistas, de los cuales 2 de ellos tuvieron que abandonar el estudio por intolerancia a los componentes de la bebida de base láctea objeto de estudio.



Figura 5.1. Visión general de la ejecución de la fase experimental

Tabla 5.1. Características de los participantes

| PARTICIPANTES | EDAD (años) | PESO (Kg) | ALTURA (m) |
|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| S1 | 43 | 66 | 1,73 |
| S2 | 36 | 78 | 1,78 |
| S3 | 32 | 66 | 1,78 |
| S4 | 32 | 69 | 1,72 |
| S5 | 52 | 76 | 1,72 |
| S6 | 33 | 76 | 1,76 |
| S7 | 40 | 64 | 1,70 |
| S8 | 56 | 78 | 1,88 |
| S9 | 46 | 72 | 1,72 |
| S10 | 23 | 79 | 1,80 |
| S11 | 55 | 77 | 1,75 |
| S12 | 39 | 79 | 1,86 |
| S14 | 38 | 74 | 1,71 |
| S16 | 31 | 93 | 1,81 |
| S17 | 29 | 69 | 1,69 |
| MEDIA | 39,00 | 74,41 | 1,76 |
| DT | 9,80 | 7,25 | 0,05 |

Todos los voluntarios (n=15) eran ciclistas aficionados que entrenaban al menos 3 días a la semana, unas 2-5 horas por sesión y tenían un VO₂máx de 65.5 ± 10.3 ml/kg-1/min-1. El VO₂max fue determinado en un cicloergómetro según se detalla en los procedimientos de la fase 2 y los resultados se detallan en el capítulo correspondiente.

Estos criterios de inclusión se usaron para que los resultados del estudio se pudieran generalizar adecuadamente a poblaciones atléticas competitivas y para incrementar la probabilidad de que todos los participantes pudieran pedalear al 75% de VO₂máx durante más de una hora.

5.2. Procedimientos de Prueba

5.2.1. Fase 1: Medidas Preliminares.

Todos los participantes han sido informados de los potenciales riesgos y beneficios asociados con la participación en el experimento. Completaron un cuestionario médico exhaustivo y fueron sometidos a un examen médico para determinar la presencia de cualquier factor de riesgo asociado a enfermedad arterial coronaria antes de participar en el estudio. Los participantes firmaron una carta de consentimiento informado. Todos los procedimientos y protocolos fueron aprobados por el Comité Ético de la Universidad de Granada para el uso de sujetos humanos y cumplían las leyes Españolas vigentes correspondientes.



Figura 5.2. Imagen correspondiente al procedimiento inicial de descripción de los protocolos y consentimiento informado.

5.2.2. Fase 2: Evaluación cardiorespiratorio (VO_{2max}).

Los participantes que superaron la revisión inicial completaron una evaluación cardiorespiratoria. Estos datos han sido utilizados para determinar las intensidades de ejercicio utilizadas para las pruebas en la fase 3 de este estudio. La masa corporal se midió con una báscula médica Tanita BF-350 y se ha redondeado al décimo kilogramo más cercano, se midió a los participantes con los pantalones de ciclismo puestos y sin zapatos.

Las pruebas de evaluación cardiorespiratoria se realizaron para determinar las capacidades máximas de consumo de oxígeno de cada participante en un ergómetro con freno eléctrico (Ergoline 900, SensorMedics, Yorba Linda, CA). Antes de las pruebas, los participantes procedieron a realizar un calentamiento durante 5 min a 100 W para prepararse para el ejercicio máximo.



Figura 5.3. Imagen correspondiente a la fase de evaluación cardiorespiratoria.

Una vez realizado el calentamiento, los participantes llevaron a cabo una prueba de ejercicio con un grado de intensidad incremental escalonado para determinar su potencia máxima. La potencia inicial para la prueba fue de 100 W y la carga de trabajo se incrementó uniformemente en 25 w cada 2 minutos desde este nivel inicial durante la prueba, se animó a los participantes para que pedalearan a una cadencia seleccionada de >40 rpm hasta que no pudieran mantener esta cadencia mínima durante un periodo de tiempo de 30 s, punto en el cual se terminaba la prueba, o hasta el agotamiento, tal como indica en su procedimiento MacArdle (1973). La potencia, la frecuencia cardiaca y las frecuencias de esfuerzo percibido se obtuvieron durante la prueba al final de cada periodo de 60 s.

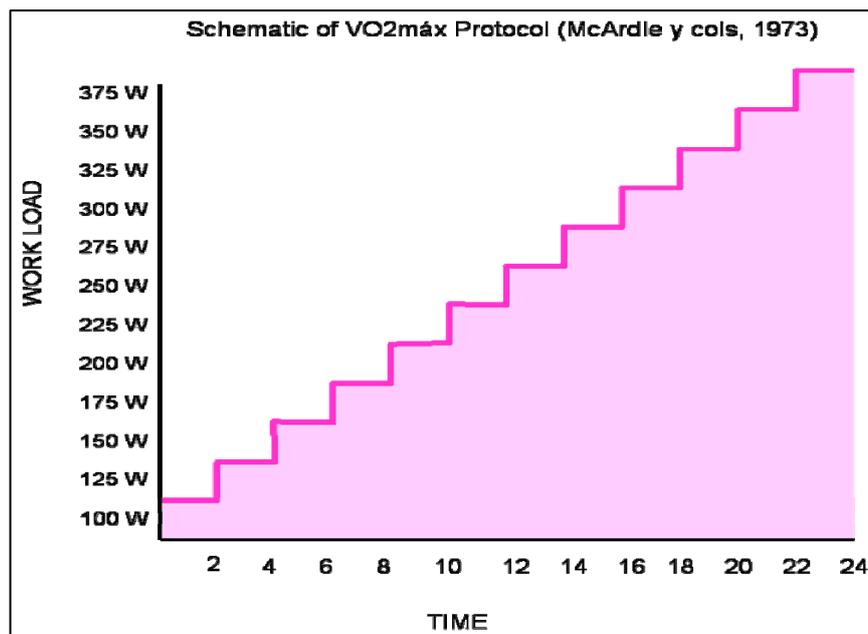


Figura 5.4. Representación gráfica del protocolo experimental utilizado para el cálculo de la potencia máxima.

La frecuencia cardiaca se obtuvo mediante un monitor de frecuencia cardiaca Polar S 610 I (Kempele, Finlandia), y el VO_2 máx para cada sujeto se ha obtenido finalmente mediante la ecuación de regresión de Arts y Kuipers (1994), $\% VO_2\text{max} = 12,1 + 0,866 \bullet \% W\text{max.}$, la correlación para esta ecuación es de 0.98 ($p < 0.001$).

5.2.3. Fase 3: Diseño Experimental propiamente dicho.

Todos los ciclistas llegaron al laboratorio entre las 8 y las 8:30 am tras 10 horas de ayuno y habiendo cenado lo mismo cada día previo a la prueba, basada en 300/500 gramos de pasta, ensalada, fruta, y yogur. La masa corporal de cada participante se registró antes de insertar en reposo una cánula en una vena antecubital y de tomar una muestra de sangre venosa de 15 ml. Durante cada prueba se dejó la cánula abierta rociando con suero salino isotónico frecuentemente.



Figura 5.5. Procedimiento inicial en la fase 3 de colocación de la cánula, mantenida durante las 4 horas de la prueba.

Cada ciclista realizó la carrera en su propia bicicleta de competición ensamblada en un ergómetro de rodillo magnético Elite Digital Mag Elastogel CRONO MAG de Elite (Italia). Este rodillo de entrenamiento magnético consta de cinco niveles diferentes de resistencia a velocidad constante. En este estudio se estableció el nivel 3 de resistencia, con un valor/ inclinación de pendiente del 1,6%, indicado como resistencia media de pedaleo en llano. La resistencia en el DIGITAL CRONO MAG se genera con potentes imanes colocados en el volante y dos discos que cruzan su campo magnético. Los ciclistas conocían los procedimientos de estudio y la prueba contrarreloj de 20 km después de realizarla al menos una vez, con el objeto de eliminar el posible efecto de aprendizaje o de adaptación a la situación experimental.



Figura 5.6. Imagen del rodillo y su adaptación a la bicicleta utilizados para realizar las pruebas.

Todos los participantes realizaron tres pruebas en un máximo de 25 días, dado que un mayor retraso temporal aumentaría el error de medida que resulta de potenciales variaciones en factores de motivación y estado de entrenamiento de los participantes.

Una vez que se les registraba su masa, los participantes pedalearon durante una hora al 75% de VO₂máx en cada prueba, con el objetivo de conseguir un agotamiento de las reservas de glucógeno. Inmediatamente después de pedalear durante esta hora consumieron un litro de la bebida experimental que le correspondiese en cada ocasión, en ayunas. Tras un periodo de dos horas de recuperación, en donde cada 15 minutos se le extraía una muestra de sangre durante las cuales se analizó la evolución de la recuperación, los ciclistas pedalearon 20 km a la mayor velocidad posible, simulando una contrarreloj habitual en las carreras ciclistas que ellos realizan, el la figura 5.6. se pueden observar los diferentes procedimientos experimentales realizados en esta fase.

Realizaron tres pruebas principales separadas por al menos una semana siguiendo un diseño aleatorio contrabalanceado con respecto a los tres tipos de bebida. Durante las pruebas, se informaba a los ciclistas de su frecuencia cardíaca, tiempo y distancia registrados, y se les dio ánimo para desarrollarla según los procedimientos descritos.



Figura 5.7.- Imágenes de las diferentes fases correspondientes al protocolo experimental, pedaleo al 75% del VO_2 máx durante 1 hora, ingesta de la bebida, toma de muestras sanguíneas, reposo durante 2 horas y finalmente la contrarreloj de 20 kilómetros.

La muestra de sangre venosa en reposo de 10 ml se obtuvo cada 15 minutos durante el periodo de recuperación de 2 h y al final del recorrido de 20 km. Se midieron las variables sanguíneas (insulina, glucagón, glucosa, CK, y ácido láctico), y el tiempo necesario para pedalear 20 km. El CK plasmático se obtuvo como indicador de daño muscular. Las muestras sanguíneas se centrifugaron en un centrifugador a 7.000 rpm para separar el plasma. Las muestras de plasma se congelaron a <-18 °C, se pusieron a temperatura ambiente (22 °C), y se mezclaron mediante inversión ligera antes del análisis. El CK plasmático se analizó usando un Johnson y Johnson Vitro DT 6011. Antes del análisis, se calibró el aparato de medida usando un estándar de calibración liofilizado adquirido. El orden y la cronología de la prueba, con sus diferentes fases descritas para este estudio se muestran en la figura 1, mostrándose la temporalización de las muestras sanguíneas extraídas.

Protocolo Experimental

FASES 1 Y 2

- Consentimiento informado
- Cuestionario inicial sobre riesgos cardiovasculares:
Datos personales, masa, altura, edad, frecuencia cardiaca reposo, ECG reposo, tensión arterial-

Prueba para determinar ($VO_{2MÁX}$)

6 -12 DÍAS →

↓
FASE 3 x 3 Times ←

7 -16 DIAS

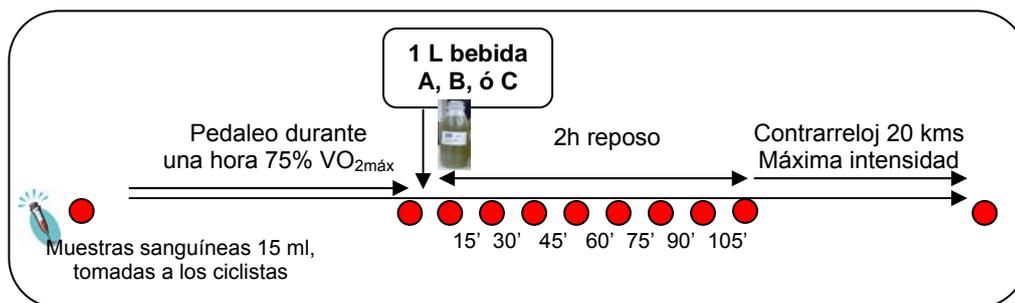


Figura 5.8. Visión general de las diferentes fases del protocolo experimental.

5.3 Formulación de las bebidas

Se diseñaron y desarrollaron tres prototipos de bebidas isotónicas e isocalóricas. Las bebidas tenían características organolépticas aceptables después del tratamiento UHT y eran isotónicas (osmolaridad de 300 mOsm/kg aproximadamente). Las bebidas se enriquecieron con vitaminas C y E, aunque hay datos de que estos antioxidantes pueden proteger del daño muscular, por lo que en la interpretación del daño muscular se debe tener en cuenta este aspecto (Romano-Ely y cols., 2006). El hecho de reducir la cantidad de CHO incluidas en las bebidas B y C y reemplazarla con proteína puede no ser una estrategia nutricional efectiva cuando el suplemento se consume durante el ejercicio, por ello las diferencias que se puedan registrar también nos van a reflejar la influencia ergogénica del CHO exógeno durante esta actividad (Toone y Betts, 2010). La información nutricional y características de estos productos se muestran en la tabla 1.



Figura 5.9. Presentación de las bebidas experimentales a los deportistas.

Tabla 5.2. Formulación de las bebidas

| | A Bebida control CHO | B Bebida de hidrolizado de suero de leche CHO+Ps | C Bebida de hidrolizado de caseína CHO+Pc |
|----------------------|---|---|--|
| Energía | 36 kcal/100 ml | 36 kcal/100 ml | 36 kcal/100 ml |
| Proteínas | 0% | 2 % Hidrolizado de suero de leche | 2% Hidrolizado de caseína |
| Grasas | 0% | 0% | 0% |
| Carbohidratos | 9% | 7% | 7% |
| Vitaminas B, E, C, D | 25% CDR por L | 25% CDR por L | 25% CDR por L |
| Ácido Fólico | 25% CDR por L | 25% CDR por L | 25% CDR por L |
| Minerales | Isotónico | Isotónico | Isotónico |
| Sabor/Color | Limón-verde | Limón-verde | Limón-verde |
| Tratamiento | UHT | UHT | UHT |

5.4. Análisis Estadístico.

Se ha realizado un ANOVA de dos factores (tratamiento x tiempo) con medidas repetidas para comparar las medias de las tres bebidas en cada fase experimental. Se aplicó la prueba Tukey Post Hoc para identificar diferencias significativas entre medias. Se analizaron las diferencias en rendimiento de la prueba contrarreloj de 20 km, CK, insulina, glucosa, glucagón, y ácido láctico. Se utilizó un nivel alfa de 0,05 para indicar significación estadística. Los datos se representan como media y desviaciones típicas.

CAPITULO 6.- RESULTADOS

CAPÍTULO 6

Capítulo 6.- Resultados

6.1. Rendimiento ciclista.

6.2. Parámetros sanguíneos.

6.2.1. Creatina quinasa, CK.

6.2.2. Insulina.

6.2.3. Glucosa sanguínea.

6.2.4. Glucagón.

6.2.5. Ácido láctico.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos, en primer lugar sobre el rendimiento mecánico del ciclista en la prueba diseñada en el protocolo experimental y por otro lado en determinados parámetros bioquímicos en sangre que determinan la recuperación del esfuerzo y que por tanto influyen sobre el rendimiento posterior de los participantes.

La tabla 6.1. muestra los resultados obtenidos después de la aplicación de la prueba de esfuerzo sub-máxima. Estos resultados preliminares nos han permitido calibrar, para cada participante, las condiciones, de potencia y frecuencia cardíaca, factores que influyen directamente en la velocidad del pedaleo, a las cuales debían rodar durante la hora previa a la ingesta de la bebida ergogénica.

En la tabla 6.1. se presentan los datos relativos al incremento de la frecuencia cardíaca (ΔFC) desde la posición inicial sin pedalear hasta la frecuencia cardíaca máxima, la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante el test incremental, los vatios máximos desarrollados por cada participante. Posteriormente, han sido calculadas las relaciones entre la potencia máxima desarrollada y el consumo máximo de oxígeno y la relación entre la potencia máxima y la frecuencia cardíaca máxima. Los resultados obtenidos para rodar al 75% del $VO_{2m\acute{a}x}$ para cada participante han sido obtenidos utilizando la función establecida por Arts y Kuipers (1994) en la cual se establece la relación entre consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca y potencia desarrollada, con un porcentaje de error inferior al 95%.

La Figura 6.1. representa gráficamente las relaciones establecidas entre el porcentaje de consumo máximo de oxígeno (%VO₂máx) el porcentaje de potencia (%Wmax) y el porcentaje sobre la frecuencia cardiaca máxima (%HRmax) y las ecuaciones que relacionan estas variables, las ecuaciones que los relacionan y el nivel de correlación entre estos parámetros fisiológicos.

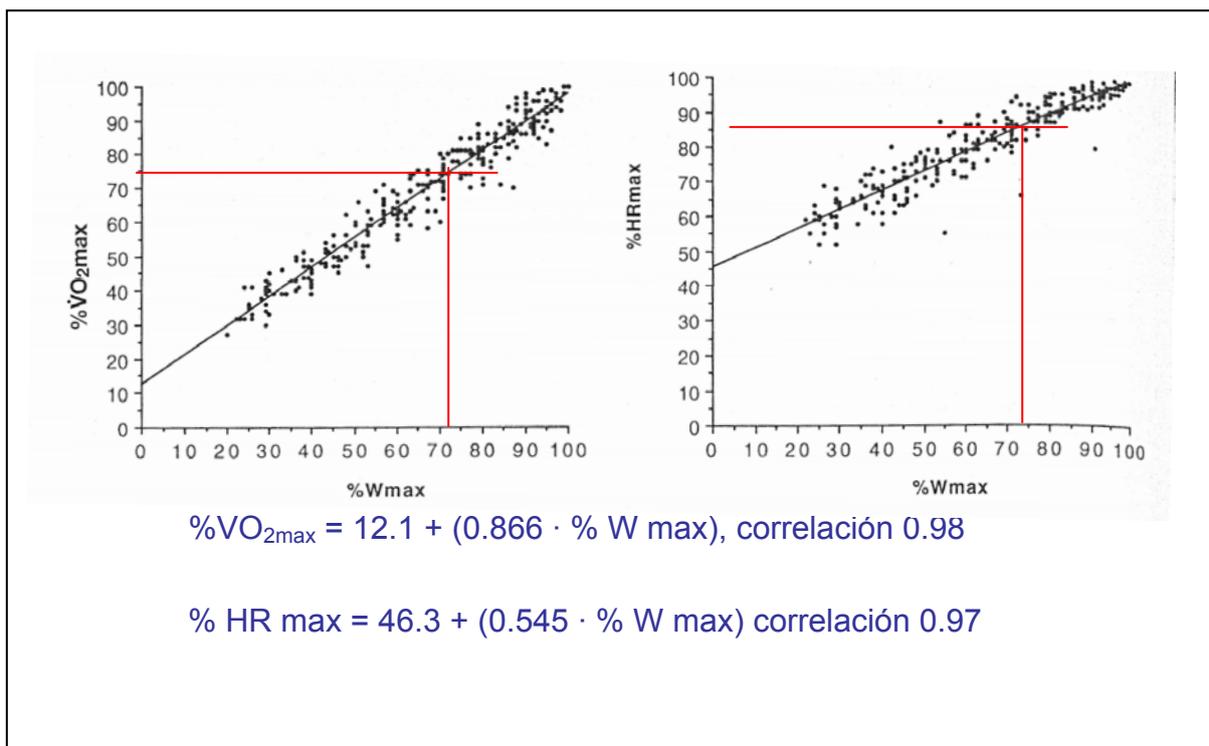


Figura 6.1. Representación gráfica de las relaciones establecidas entre el porcentaje de consumo máximo de oxígeno (%VO₂máx) el porcentaje de potencia (%Wmax) y el porcentaje sobre la frecuencia cardiaca máxima (%HRmax) y las ecuaciones que relacionan estas variables.

Tabla 6.1. Resultados obtenidos de la prueba sub máxima que intervienen en la calibración de las siguientes fases experimentales.

| PARTICIPANTE | 75% VO2 Max | | | | | | | |
|--------------|--------------|---------------|-----------------------|---------------|------------------------------|-------------|--------------|------------|
| | FCMAX-FCW0 | | Arts & Kuipers (1994) | | VO2max Arts & Kuipers (1994) | | | |
| | ΔFC | FCMAX | Vatios | | W | FC | litros· | litros· |
| | | | Máximos | | | | min-1 | min-1·Kg-1 |
| 1 | 90 | 176 | 325 | 236 | 152 | 4,50 | 68,18 | |
| 2 | 81 | 186 | 350 | 254 | 160 | 5,20 | 66,67 | |
| 3 | 86 | 186 | 325 | 236 | 160 | 4,60 | 69,70 | |
| 4 | 95 | 180 | 350 | 254 | 155 | 4,50 | 65,22 | |
| 5 | 93 | 168 | 375 | 272 | 145 | 5,10 | 67,11 | |
| 6 | 102 | 177 | 425 | 309 | 152 | 5,10 | 67,11 | |
| 7 | 90 | 175 | 325 | 236 | 151 | 4,40 | 68,54 | |
| 8 | 81 | 161 | 350 | 254 | 139 | 5,50 | 70,51 | |
| 9 | 91 | 169 | 375 | 272 | 145 | 5,30 | 73,61 | |
| 10 | 101 | 196 | 325 | 236 | 169 | 4,00 | 50,63 | |
| 11 | 78 | 152 | 350 | 254 | 131 | 5,50 | 71,43 | |
| 12 | 113 | 188 | 425 | 309 | 162 | 4,80 | 60,76 | |
| 14 | 96 | 178 | 325 | 236 | 153 | 4,20 | 56,76 | |
| 16 | 110 | 200 | 325 | 236 | 172 | 3,80 | 40,86 | |
| 17 | 82 | 176 | 400 | 291 | 152 | 5,90 | 85,51 | |
| M | 92,60 | 177,87 | 356,67 | 259,06 | 153,12 | 4,83 | 65,51 | |
| SD | 10,52 | 12,55 | 35,94 | 260,59 | 153,22 | 0,61 | 10,33 | |

6.1.- Rendimiento ciclista.

Los participantes, tras pedalear durante una hora al 75% del VO₂máx, ingerir un litro de bebida ergogénica por el método de doble ciego y contrabalaceada, y estar 2 horas en reposo, realizaron tres veces un recorrido en bicicleta de 20 km lo más rápido posible de tal manera que se reprodujese las condiciones típicas de una carrera ciclista contrarreloj. (Figura 1, Fase 3).

Las tablas 6.2. y 6.3 muestran los resultados del rendimiento de cada participante, medido mediante el tiempo empleado y la velocidad en la prueba de los 20 km en cada condición experimental.

Tabla 6.2. Resultados obtenidos del rendimiento de cada participante tras la ingesta de cada bebida A, B o C

| Participante | Bebida CHO+Pc | Bebida CHO + Pw | Bebida CHO | Bebida con la que se ha conseguido el menor tiempo | Bebida CHO+PC-CHO | Bebida CHO *Pw - CHO-C |
|--------------|---------------|-----------------|------------|--|-------------------|------------------------|
| | segundos | segundos | segundos | | segundos | segundos |
| 1 | 1796 | 1855 | 1919 | CHO+Pc | -123 | -64 |
| 2 | 1784 | 1642 | 1654 | CHO+ Ps | 130 | -12 |
| 3 | 1768 | 1829 | 1814 | CHO+Pc | -46 | 15 |
| 4 | 1937 | 1575 | 1656 | CHO+ Ps | 281 | -81 |
| 5 | 1748 | 1713 | 1647 | CHO | 101 | 66 |
| 6 | 1545 | 1804 | 1550 | CHO+Pc | -5 | 254 |
| 7 | 1951 | 2044 | 2170 | CHO+Pc | -219 | -126 |
| 8 | 1851 | 1904 | 1788 | CHO | 63 | 116 |
| 9 | 1828 | 1687 | 1740 | CHO + Ps | 88 | -53 |
| 10 | 2100 | 1922 | 1919 | CHO | 181 | 3 |
| 11 | 2060 | 1897 | 1771 | CHO | 289 | 126 |
| 12 | 1743 | 1735 | 1651 | CHO | 92 | 84 |
| 17 | 1408 | 1635 | 1427 | CHO+Pc | -19 | 208 |
| 16 | 1952 | 2300 | 2191 | CHO+Pc | -239 | 109 |
| 14 | 2139 | 1503 | 1656 | CHO + Ps | 483 | -153 |
| M | 1841 | 1803 | 1770 | | | |
| DT | 197 | 201 | 210 | | | |

Tabla 6.3. Rendimiento medio de cada bebida en función de la velocidad media empleada en la prueba.

| | Velocidad Media Prueba | | |
|-------|------------------------|--------|--------|
| | CHO | CHO+Ps | CHO+Pc |
| Media | 10,99 | 11,21 | 11,44 |
| DT | 1,28 | 1,18 | 1,30 |

Los resultados no mostraron diferencias significativas en el tiempo que tardaron en recorrer los 20 km cuando consumieron la bebida CHO (1770 ± 210 s), la CHO+Pc (1819 ± 185 s) o la bebida CHO+Ps (1803 ± 201), Figura 6.2.

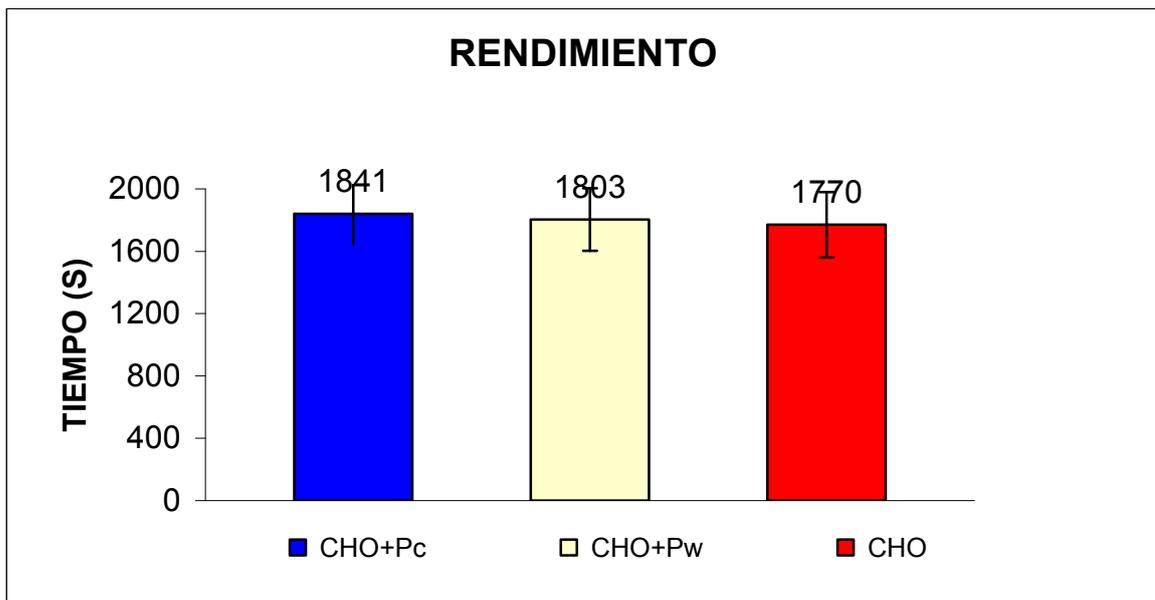


Figura 6.2. Rendimiento del recorrido de 20 km después de consumir CHO+Pc, CHO+Ps o CHO.

La Figura 6.3. indica la relación entre la frecuencia de la bebida que ha obtenido el menor tiempo donde se puede observar que no existe una bebida que

predomine en la relación con el rendimiento deportivo, aunque la bebida compuesta sólo por carbohidratos posee el menor tiempo medio sin embargo sólo 5 ciclistas obtuvieron el menor tiempo, y la bebida con hidratos de carbono y la proteína caseína, CHO+Pc, obtuvo el mayor tiempo medio.

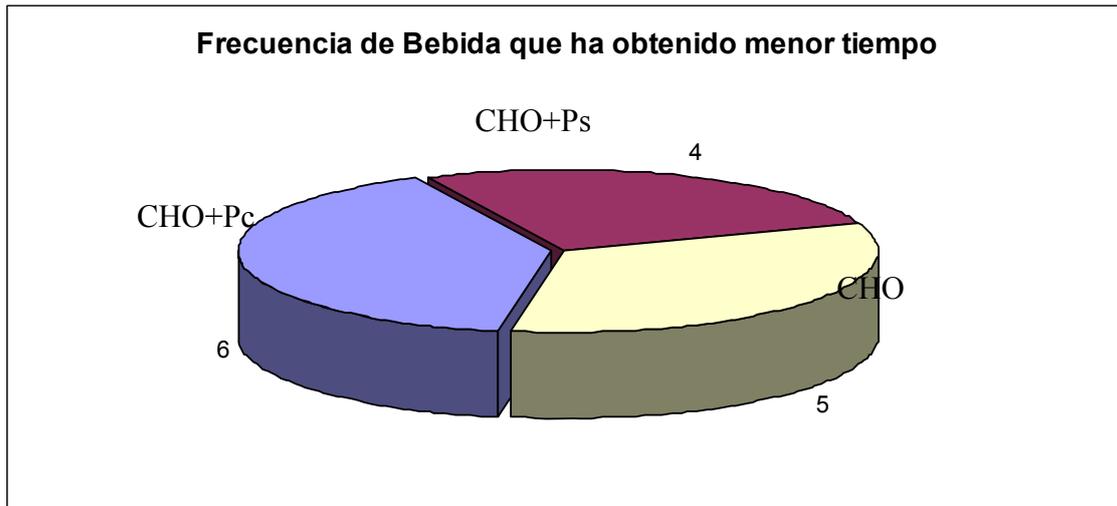


Figura 6.3. Representación gráfica de la bebida que ha obtenido menor tiempo.

La tabla 6.3. muestra el rendimiento de los ciclistas en función de su velocidad media en la prueba, como se puede apreciar en los datos, las diferencias medias entre las pruebas tras las ingestas de las bebidas han sido mínimas.

6.2. Parámetros Sanguíneos.

El efecto de las bebidas ergogénicas sobre la recuperación de los ciclistas ha sido valorado mediante el análisis de la evolución de ciertos parámetros sanguíneos de los participantes en diferentes instantes de la ejecución del protocolo experimental, las variaciones halladas entre las variables bioquímicas analizadas podrían indicarnos de forma directa el efecto de las bebidas sobre los diferentes mecanismos fisiológicos que intervienen en la recuperación del esfuerzo y por otro lado, de forma indirecta señalarían las posibles diferencias en el rendimiento mecánico que desarrollan los ciclistas en el protocolo experimental establecido.

6.2.1. Creatina quinasa, CK.

El daño muscular post ejercicio se evaluó indirectamente usando niveles plasmáticos de CK entre los tres tipos de bebida. Los resultados obtenidos indican que los niveles de CK no se vieron significativamente afectados por el tratamiento de las tres bebidas ingeridas por los ciclistas tras pedalear durante una hora al 75% del $VO_{2\text{máx}}$.

La tabla 6.4. muestra la evolución de la creatina quinasa (CK) durante el desarrollo del protocolo experimental en las condiciones establecidas para cada bebida. Los datos obtenidos muestran el valor de la CK, en el instante de llegada de los participantes al laboratorio ($t=0$), tras pedalear 60 minutos al 75% del $VO_{2\text{máx}}$ ($t=60$), durante la recuperación del esfuerzo ($t=90$ y $t=120$) y finalmente tras

finalizar el protocolo experimental y realizar la prueba contra reloj de 20 Km (t=210).

Los valores basales de partida de la concentración de CK, fueron recuperados tras la ingesta de la bebida y permanecer una hora en reposo, posteriormente los valores máximos han sido hallados tras finalizar la prueba contra reloj.

La Figura 6.4. representa la variación de la concentración de CK durante el protocolo experimental y la desviación típica entre los ciclistas en los registros de cada fase experimental.

Tabla 6.4.- Evolución de la concentración de CK entre tratamientos durante el desarrollo del protocolo experimental, en los puntos de tiempo indicados en la Figura 1.

| VARIABLE | TIEMPO | | | | | | |
|---------------------------|--------|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 60 | 90 | 120 | 210 | | |
| Concentración de CK (U/L) | CHO+Pc | M | 124,93 | 136,27 | 127,47 | 124,53 | 140,87 |
| | | DT | 44,46 | 45,79 | 46,85 | 48,55 | 52,12 |
| | CHO+Ps | M | 136,00 | 151,87 | 143,93 | 142,73 | 156,27 |
| | | DT | 76,30 | 87,04 | 83,28 | 77,23 | 77,85 |
| | CHO | M | 113,87 | 127,87 | 119,40 | 117,87 | 132,47 |
| | | DT | 53,62 | 53,33 | 52,66 | 58,43 | 63,88 |

** $P < 0.01$ * $P < 0.05$

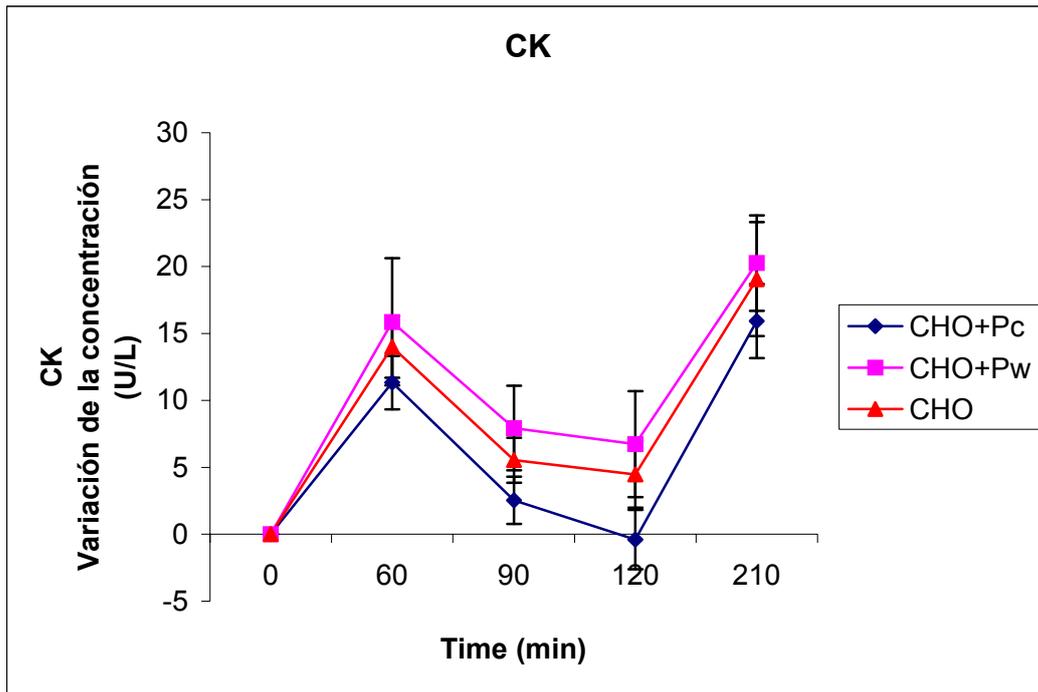


Figura 6.4. Representación gráfica de la variación de la concentración de CK durante el protocolo experimental.

6.2.2. Insulina

El nivel de insulina en suero aumentó en los tres grupos tras ingerir las bebidas y de forma estadísticamente significativa ha aumentado menos en los participantes cuando ingerían la bebida ergogénica con hidratos de carbono y proteína de lacto suero (CHO+Ps). Por el contrario, cuando los ciclistas ingerían la bebida ergogénica con hidratos de carbono más la proteína de leche caseína, los valores de insulina aumentaban más de forma significativa durante la recuperación en los tiempos 150*, 165** y 180 ** (**P<0,01 *P<0,05).

En la Tabla 6.5. se presentan los resultados de la evolución de la concentración de insulina entre tratamientos durante el desarrollo del protocolo experimental, en los puntos de tiempo indicados en la Figura 1.

En la Figura 6.5. Representación gráfica de la evolución de la concentración de insulina sanguínea en función de los parámetros basales para cada situación experimental.

Tabla 6.5.- Evolución de la concentración de insulina entre tratamientos durante el desarrollo del protocolo experimental, en los puntos de tiempo indicados en la Figura 1.

| VARIABLE | | TIEMPO | | | | | | |
|---|--------|--------|------|------|--------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | |
| Concentración de Insulina en Suero (mcU/ml) | CHO+Pc | M | 5,42 | 4,90 | 19,94 | 47,43 | 47,03 | 30,27 |
| | | DT | 0,87 | 0,03 | 9,88 | 27,72 | 48,88 | 20,33 |
| | CHO+Ps | M | 4,95 | 4,90 | 8,99** | 27,24 | 27,62 | 23,62 |
| | | DT | 0,18 | 0,00 | 6,88 | 16,88 | 20,77 | 25,30 |
| | CHO | M | 5,43 | 4,93 | 17,01 | 39,08 | 39,88 | 28,83 |
| | | DT | 1,40 | 0,10 | 11,46 | 19,75 | 28,33 | 22,90 |

**P<0,01 *P<0,05

| VARIABLE | | TIEMPO | | | | | |
|---|--------|--------|-------|--------|---------|---------|------|
| | | 135 | 150 | 165 | 180 | 210 | |
| Concentración de Insulina en Suero (mcU/ml) | CHO+Pc | M | 28,40 | 26,4* | 25,18** | 17,27** | 9,91 |
| | | DT | 14,90 | 13,95 | 8,83 | 11,00 | 5,91 |
| | CHO+Ps | M | 16,11 | 13,43 | 11,87** | 8,94** | 6,70 |
| | | DT | 13,01 | 12,46 | 10,44 | 10,10 | 3,10 |
| | CHO | M | 21,31 | 18,54* | 11,11** | 7,68** | 9,11 |
| | | DT | 19,74 | 18,86 | 8,48 | 6,64 | 7,14 |

**P<0,01 *P<0,05

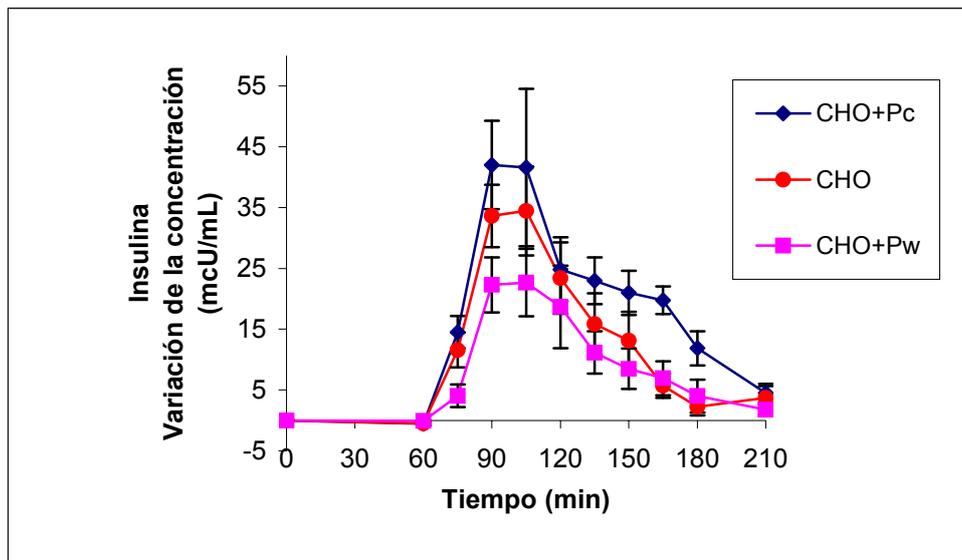


Figura 6.5. Representación gráfica de la evolución de la concentración de insulina sanguínea en función de los parámetros basales para cada situación experimental.

6.2.3. Glucosa sanguínea

La glucosa sanguínea aumentó significativamente a los 105 y 165 min durante la recuperación con CHO comparado con CHO+Pc y CHO+Ps ($P<0.05$) mostrando resultados superiores en la concentración de glucosa plasmática con la bebida CHO y valores inferiores con la bebida CHO+Pc, Tabla 6.6.

Tabla 6.6.- Evolución de la concentración de glucosa entre tratamientos durante el desarrollo del protocolo experimental, en los puntos de tiempo indicados en la Figura 1.

| VARIABLES | | TIEMPO | | | | | | |
|---|--------|--------|-------|--------|--------|--------|---------|-------|
| | | 0 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | |
| Concentración de Glucosa Plasmática (mg/dl) | CHO+Pc | M | 90,68 | 100,96 | 115,60 | 109,68 | 92,99* | 82,50 |
| | | DE | 15,01 | 14,27 | 18,09 | 19,49 | 32,77 | 18,82 |
| | CHO+Ps | M | 90,78 | 101,26 | 111,51 | 123,54 | 96,42 | 80,68 |
| | | DE | 14,78 | 15,87 | 23,63 | 25,30 | 35,51 | 25,32 |
| | CHO | M | 87,33 | 99,66 | 115,47 | 128,65 | 114,85* | 95,55 |
| | | DE | 11,77 | 14,36 | 24,38 | 21,61 | 33,35 | 33,14 |

** $P<0,01$ * $P<0,05$

| VARIABLES | | TIEMPO | | | | | |
|---|--------|--------|-------|-------|--------|-------|---------|
| | | 135 | 150 | 165 | 180 | 210 | |
| Concentración de Glucosa Plasmática (mg/dl) | CHO+Pc | M | 78,67 | 87,74 | 89,24* | 78,42 | 132,97 |
| | | DE | 13,10 | 23,50 | 16,98 | 15,32 | 46,82 |
| | CHO+Ps | M | 76,10 | 75,93 | 78,41 | 79,62 | 120,08* |
| | | DE | 19,77 | 20,72 | 21,86 | 27,29 | 28,02 |
| | CHO | M | 81,41 | 75,02 | 72,09* | 65,10 | 137,80* |
| | | DE | 26,17 | 21,99 | 20,03 | 16,32 | 36,33 |

** $P<0,01$ * $P<0,05$

La Figura 6.6. representa gráficamente la evolución de la concentración de glucosa sanguínea en función de los parámetros basales.

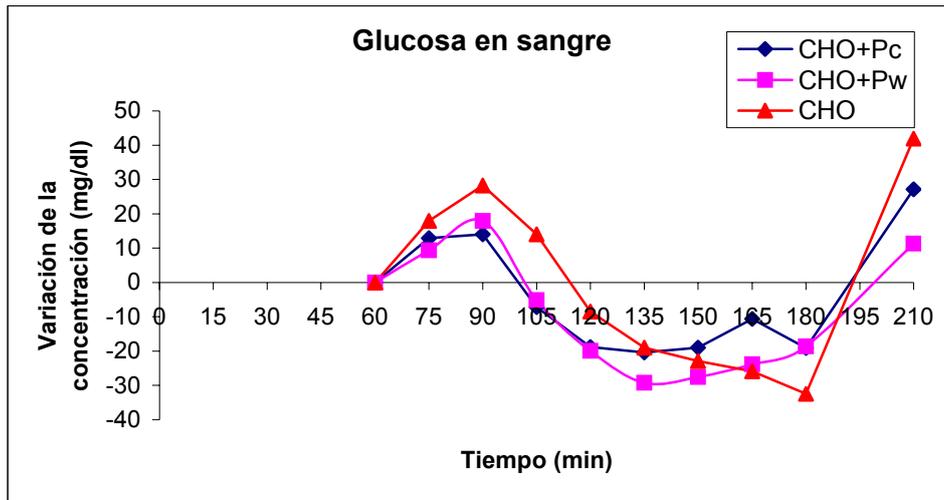


Figura 6.6. Representación gráfica de la evolución de la concentración de glucosa sanguínea en función de los parámetros basales.

6.2.4. Glucagón.

Los niveles de glucagón incrementaron durante la prueba, pero en mayor medida con CHO que con los tratamientos CHO+Pc y CHO+Ps a los 210 min ($P < 0.05$), tabla 6.7.

La Figura 6.7. muestra la representación gráfica de la evolución de la concentración de glucagón en función de los parámetros basales durante el desarrollo del protocolo experimental.

Tabla 6.7.- Evolución de la concentración de glucagón entre tratamientos durante el desarrollo del protocolo experimental, en los puntos de tiempo indicados en la Figura 1.

| VARIABLES | | TIEMPO | | | | | |
|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | | 0 | 60 | 90 | 120 | 210 | |
| Concentración de Glucagón (pg/ml) | CHO+Pc | M | 61,13 | 64,73 | 81,00 | 80,73 | 93,93* |
| | | DE | 13,36 | 12,38 | 10,04 | 10,98 | 16,07 |
| | CHO+Pw | M | 70,33 | 78,40 | 93,00 | 93,33 | 111,93 |
| | | DE | 13,69 | 15,46 | 19,19 | 17,31 | 23,95 |
| | CHO | M | 70,07 | 75,79 | 83,71 | 82,07 | 114,53* |
| | | DE | 14,71 | 17,20 | 15,08 | 16,96 | 22,19 |

** $P < 0,01$ * $P < 0,05$

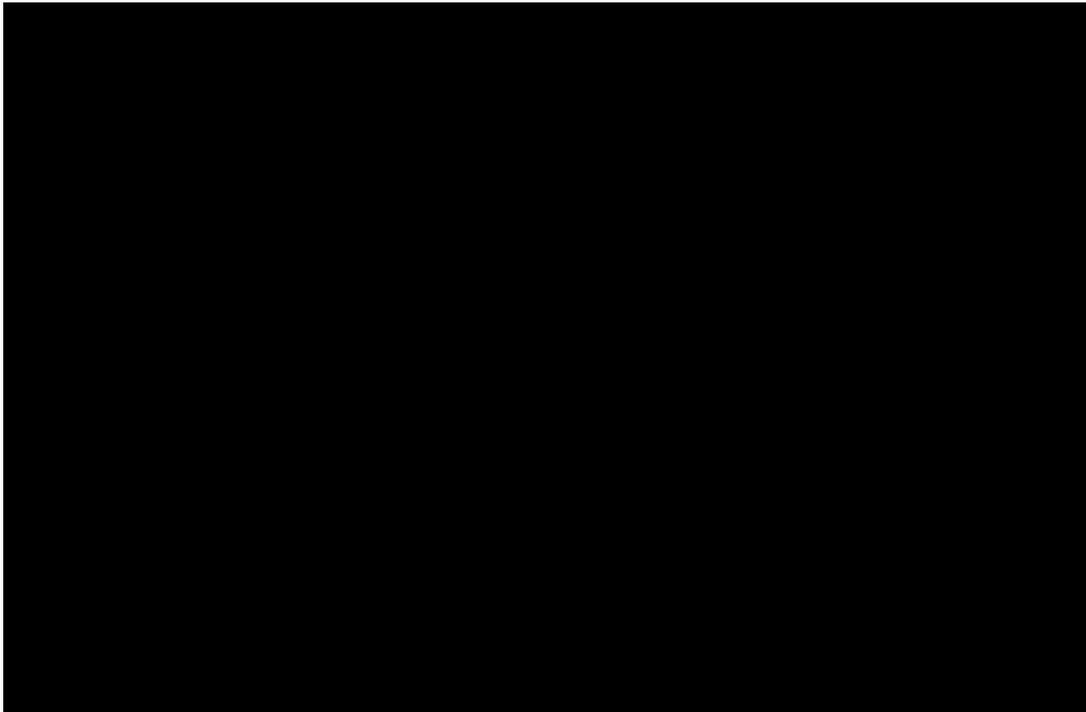


Figura 6.7. Representación gráfica de la evolución de la concentración de glucagón en función de los parámetros basales.

6.2.5. Ácido láctico.

Los niveles de ácido láctico se mantuvieron estables durante el desarrollo experimental hasta el final de la prueba de los 20 kms contra reloj. A la finalización de la prueba (t=210) la concentración de lactato en las muestras de sangre recogidas se vieron estadísticamente afectadas por la bebida, de tal forma que con la bebida CHO, se registraron los valores máximos de lactato, mientras que con la bebida CHO+Pc se registraron los valores menores, $P<0.01$, tabla 6.8.

La Figura 6.8. muestra la evolución de la concentración de lactato en función de los parámetros basales.

Tabla 6.8.- Evolución de la concentración de lactato entre tratamientos durante el desarrollo del protocolo experimental, en los puntos de tiempo indicados en la Figura 1.

| VARIABLES | | TIEMPO | | | | | |
|--|--------|--------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | | 0 | 60 | 90 | 120 | 210 | |
| Concentración de lactato en sangre (mg/dl) | CHO+Pc | M | 12,82 | 15,16 | 12,98 | 15,42 | 72,44** |
| | | DE | 3,59 | 4,42 | 3,17 | 4,09 | 20,07 |
| | CHO+Ps | M | 11,89 | 14,97 | 13,55 | 16,47 | 89,52 |
| | | DE | 3,54 | 8,37 | 3,77 | 3,29 | 29,22 |
| | CHO | M | 12,22 | 15,28 | 13,24 | 16,48 | 100,35** |
| | | DE | 3,85 | 8,63 | 4,62 | 3,95 | 31,13 |

** $P<0,01$ * $P<0,05$

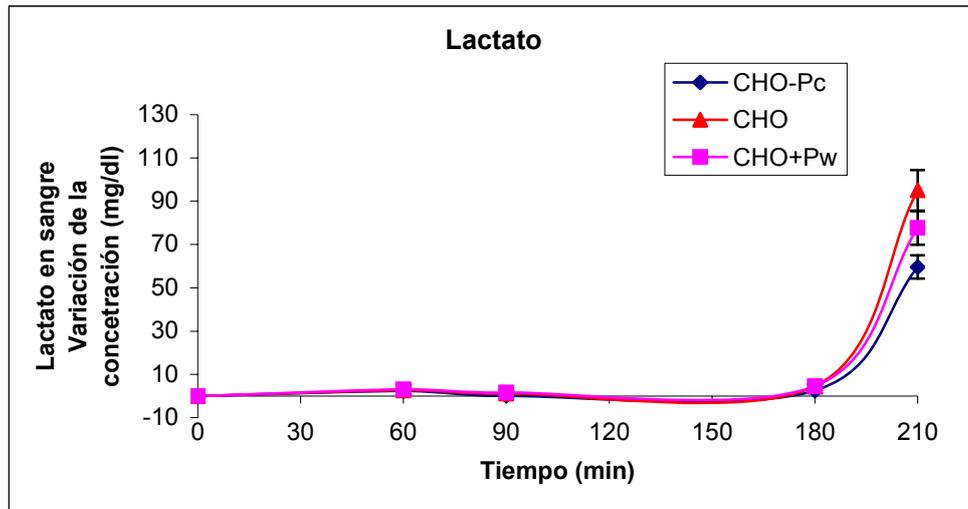


Figura 6.8. Representación gráfica de la evolución de la concentración de lactato en función de los parámetros basales.

CAPITULO 7.- DISCUSIÓN DE LOS
RESULTADOS

CAPÍTULO 7

CAPÍTULO 7. Discusión de los resultados.

7.1. Rendimiento.

7.2. Protocolo:

7.2.1. Protocolo de ejercicio.

7.2.2. Administración de la bebida.

7.3. Composición de las bebidas.

7.4. Parámetros sanguíneos y recuperación.

A continuación, debido a la extensa bibliografía científica existente sobre los resultados obtenidos en el estudio de los efectos de ayudas ergogénicas basadas en proteínas lácteas en diferentes protocolos de ejercicios, hemos creído conveniente desarrollar la discusión atendiendo en primer lugar, a ciertos aspectos metodológicos del protocolo y composición de la bebida utilizados en esta Tesis Doctoral, para posteriormente, contrastar y relacionar nuestros resultados con la bibliografía analizada en el rendimiento deportivo y los parámetros que pueden determinar la mejora de la recuperación del esfuerzo físico del protocolo de este estudio.

7.1. Rendimiento.

El principal objetivo de este estudio ha sido comparar los efectos de tres bebidas CHO+Pc, CHO+Ps y CHO sobre el tiempo requerido para recorrer 20 km en una prueba ciclista contrarreloj. No hubo diferencias en el tiempo de prueba entre los tratamientos, un hallazgo que coincide con algunos estudios pero está en desacuerdo con otros que compararon bebidas con carbohidratos y proteínas y bebidas con sólo carbohidratos.

Una explicación frecuentemente, pero discutida, para las mejoras observadas durante el rendimiento con la ingesta de bebidas con carbohidratos y proteínas, es que las proteínas añadidas puede facilitar una mayor captación de carbohidratos al incrementar los niveles de insulina.

Numerosos estudios han observado un aumento de la secreción de insulina durante la recuperación del ejercicio cuando los participantes ingieren carbohidratos con proteínas añadidas (Berardi et al. 2006; Betts et al. 2005; Betts et al. 2008; Betts

et al. 2007; Jentjens et al. 2001; Kaastra et al., 2006; Rotman et al. 2000; Van Hall et al. 2000a; Van Hall et al. 2000b; Van Loon et al. 2000b; Van Loon et al. 2000a; Zawadzki et al. 1992), que puede favorecer el aumento de la captación de glucosa y el almacenamiento de glucógeno en algunas situaciones (Berardi et al 2006.; Hiedra et al. 2002; Van Hall et al. 2000b; Van Loon et al. 2000c).

En un estudio publicado recientemente de Saunders et al. (2009), se describen mejoras significativas en la resistencia cuando se consumen proteínas con carbohidratos durante un ejercicio prolongado. Toda mejora de rendimiento con CHO+P se observó en los últimos 20 km de la prueba, y la mayor parte ocurrió durante los últimos 5 km de escalada hasta la final. Durante el resto de la prueba las diferencias entre los tratamientos no fueron estadísticamente significativas. Como resultado, la presencia de proteínas en la bebida explicó una proporción significativa de la varianza en rendimiento para los tramos finales de 20 y 5 km, y la ingesta de CHO+P resultó en un 3% de mejora en el tiempo para los últimos 5 km de la prueba.

Estos hallazgos tienen una sustancial relevancia para atletas de competición, porque la mayoría de las carreras ciclistas se determinan por las diferencias de tiempo bastante menores a 30 s. El hecho de que los tiempos totales no fueron significativamente diferentes entre tratamientos, probablemente esté relacionado con la sensibilidad estadística con la cual se pueden detectar diferencias entre tratamientos (Saunders et al. 2009).

7.2. Protocolo:

7.2.1. Protocolo de ejercicio.

En primer lugar en el análisis de los protocolos de ejercicios empleados, algunos investigadores han utilizado como medio de análisis del rendimiento el tiempo empleado hasta el agotamiento, en concreto, Ivy et al. (2003) compararon los efectos de una bebida de carbohidratos y proteínas (CHO+P) con bebidas de sólo carbohidratos (CHO) y una placebo, con el fin de evaluar el rendimiento de resistencia, estos investigadores midieron el tiempo de pedaleo hasta el agotamiento al 85% de VO_{2max} tras 180 min de ciclismo sub-máximo de intensidad variada, diseñado para estimular las variaciones de intensidad comúnmente observadas durante eventos de competición ciclista. El ciclista pedaleó durante un tiempo significativamente mayor (36%) en el segmento de tiempo hasta el agotamiento de la prueba CHO+P ($26,9 \pm 4,5$ min) que en la prueba CHO ($19,7 \pm 4,6$ min), y ambas bebidas deportivas superaron al placebo ($12,7 \pm 3,1$ min).

Saunders et al. (2004), comparó el rendimiento de resistencia entre bebidas CHO+P y CHO en ciclistas varones durante una prueba también hasta el agotamiento al 75% de VO_{2max} . El ciclista pedaleó durante $106,3 \pm 45,2$ min cuando recibía la bebida CHO+P, comparado con $82,3 \pm 32,6$ con la bebida CHO, con un 29% de mejora de la resistencia.

Sin embargo, en otros protocolos de estudio, parecidos a este estudio y a la realidad de la ergogénesis de este deporte, Van Essen y Gibala (2006) examinaron

el rendimiento de pruebas contrarreloj de 80km entre bebidas CHO y CHO+P y no observaron diferencias significativas en el rendimiento entre los tratamientos con CHO+P (135 ± 9 min) y CHO (135 ± 9 min), aunque ambas bebidas superaron a la bebida placebo (141 ± 10 min).

Por lo tanto, los estudios realizados sobre bebidas con carbohidratos (CHO) y carbohidratos más proteína (CHO+P) se han comparado mediante pruebas de tiempo hasta el agotamiento (TTE) (Ivy et al. 2003, Saunders et al. 2007) y pruebas contrarreloj de larga duración (TT) en Cepero et al. (2009); Cepero et al. (2010); Saunders et al. (2006); Saunders et al. (2009); Van Essen y Gibala, (2006) (tabla 7.1) y en el presente estudio, lo cual podría minimizar los beneficios ergogénicos de la ingesta de CHO+P, porque la oxidación proteica aumenta en el ejercicio tardío, cuando se agotan los niveles de glucógeno (Van Hall et al. 1996), aunque es preciso señalar que en nuestro protocolo establecido, los ciclistas acabaron los 20 kms exhaustos, tras llegar en ayudas por la mañana, pedalear una hora al 75% del $VO_{2\text{máx}}$ y permanecer en reposo durante dos horas.

Además de la especificidad de la prueba y su carácter ecológico en cuanto a que no distorsiona la técnica del ciclista al realizarla en su propia bicicleta y sin utilizar elementos internos que pudieran distorsionar la naturaleza de estas pruebas ciclistas, hemos creído conveniente utilizar este protocolo ya que Jeukendrup et al. (1996) observaron que los protocolos de tiempo hasta el agotamiento pueden suscitar un error de medida relativamente alto, mostrando un coeficiente de variación de $>25\%$ sobre 5 pruebas repetidas y los efectos del tratamiento entre bebidas tendrían que ser bastante amplias para superar esta varianza de error.

Tabla 7.1. Protocolos de ejercicio en estudios comparativos del rendimiento en resistencia, modificado de Saunders, 2007.

| <i>Estudio</i> | <i>Protocolo rendimiento-resistencia</i> | <i>Efectos significativos</i> |
|---------------------------|---|-------------------------------|
| Ivy et al.(2003) | TTE en 85% VO ₂ peak tras 180min pedaleo con intensidad variada | Si |
| Saunders et al.(2004) | TTE al 75% VO ₂ peak | Si |
| Van Essen y Gibala (2006) | Simulado 80km TT con vueltas cronometradas en intervalos de 20km | No |
| Romano-Ely et al.(2006) | TTE al 70% VO ₂ peak | No |
| Saunders et al.(2006) | Simulado 60km montañosos TT con vueltas cronometradas por intervalos de 60km + 5km de cuesta final | Si |
| Saunders et al.(2007) | TTE al 75% VO ₂ peak | Si |
| Moore et al.(2007) | TTE a la finalización de una biathlon simulada (8 km corriendo, 50km en bicicleta, TTE corriendo al 75% VO ₂ peak) | Si |
| Saunders et al. (2009) | Simulado 60km montañosos TT con vueltas cronometradas por intervalos de 60km + 5km de cuesta final | Si, en los últimos 5km. |
| Cepero et al. (2009) | 20 Km pedaleando en el menor tiempo posible. (simulación de una contrarreloj) | No |
| Cepero et al. (2010) | 20 Km pedaleando en el menor tiempo posible. (simulación de una contrarreloj) | No |
| Gasier y Olson (2010) | 2000m. de natación+ 6.4 km de carrera + 400m hasta el agotamiento. | No |
| Tonne y Betts (2010) | TTE 45 minutos en cicloergómetro a intensidad variable hasta el agotamiento con últimos 6 km de contrarreloj. | No |

Consecuentemente, en este estudio, se ha medido el rendimiento en una típica carrera cotrarreloj de 20 km. Este tipo de pruebas contrarreloj muestran una menor varianza de error entre pruebas repetidas (Jeukendrup et al. 1996) y es representativa del rendimiento en el ciclismo de resistencia (St. Laurent et al. 2006). Sin embargo, las diferencias relacionadas descritas entre tratamientos nutricionales son típicamente menores cuando se realizan pruebas contrarreloj frente a protocolos de tiempo hasta el agotamiento, quizás porque el rendimiento de las pruebas contrarreloj está menos ligado

al agotamiento de glucógeno (Saunders et al. 2007), aunque, como se ha comentado, en este estudio los ciclistas llegaron agotados al finalizar.

7.2.2. Administración de la bebida (Tiempo de ingesta).

En los diferentes estudios que han comparado diversas estrategias de suplementación, se ha demostrado que el momento de la suplementación es un aspecto importante y que debería hacerse en pequeños sorbos para permitir el vaciado gástrico y la absorción de los nutrientes (Levenhagen et al. 2001; Rasmussen et al. 2000; Roy, Luttmer, Bosman y Tarnopolsky , 2002; Roy et al. 1997; Tipton et al. 2001; Tipton et al. 2007; Tipton, 2007; Van Loon, 2007; Hoffman, 2007). Sin embargo, en el diseño de nuestra investigación las bebidas fueron administradas después del ejercicio de pedaleo durante una hora al 75% del VO₂máx, han sido administradas en ese instante ingiriendo la cantidad de 1 litro, con el fin de evitar los problemas estomacales ligeros que podría provocar pero obteniendo una respuesta más clara en la gráficas de la evolución de los parámetros sanguíneos.

Numerosos estudios han refrendado que después del ejercicio, la síntesis y degradación de proteína muscular se incrementa especialmente hasta las 48 horas posteriores al esfuerzo realizado (Biolo, Maggi, Williams, Tipton y Wolfe, 1995; Phillips, Tipton, Aarsland, Wolf y Wolf, 1997). Si el aumento de la síntesis de proteínas es mayor que la degradación, se obtiene un incremento del saldo de proteínas musculares (Biolo et al. 1995; Phillips et al. 1997). Sin la ingestión de

nutrientes, en particular una fuente de aminoácidos, este saldo no llega a positivo (Biolo et al. 1995; Phillips et al. 1997; Tipton et al. 1999).

Además, la ingestión de hidratos de carbono con proteínas tras el ejercicio físico acelera la resíntesis de glucógeno muscular (Ivy , 2004) tanto en ejercicios de tipo aeróbico (Tarnopolsky, Bosman, Macdonald et al. 1997; Zawadzki et al. 1992) como anaeróbico (Roy et al. 1997; Roy y Tarnopolsky, 1998).

La ingesta de CHO después del ejercicio, juega un papel muy importante cuando se requieren velocidades máximas en la síntesis del glucógeno muscular. Aunque la ingesta de proteínas y/o aminoácidos no siempre puede tener un efecto sobre la síntesis del glucógeno muscular, hay evidencia de que la ingesta de aminoácidos en combinación con (Rasmussen et al. 2000) y sin CHO (Tipton et al. 1999) puede aumentar la síntesis de proteína después del ejercicio y el balance neto de proteína muscular. Un aumento en los niveles de insulina cuando las concentraciones de aminoácidos del plasma son altas puede aumentar más el balance de proteínas neto (Gelfand y Barrett, 1987; Hillier, Fryburg, Jahn et al. 1988).

Por otra parte, los datos sugieren que la coingesta de proteína / hidrolizado de proteína durante el ejercicio de resistencia puede mejorar significativamente la capacidad de rendimiento. Esta coingesta durante o después del ejercicio también puede mejorar el rendimiento en una sesión de ejercicios posteriores. Esto último podría atribuirse a una atenuación de daño del músculo esquelético (Van Loon, 2007).

Van Loon (2007), en una revisión de la literatura, concluye que la coingesta de proteína durante las primeras horas de la recuperación después del ejercicio. puede acelerar la síntesis de glucógeno muscular cuando se ingieren tasas de menos de 0.8-1.0 g de carbohidratos por cada kg de peso corporal por hora. Para atletas bien entrenados la tasas de ingestión de hidratos de carbono son superior a 1.2 g kg/ hora. Por otra parte, afirma que la coingesta de proteínas después de ejercicio estimula la síntesis proteica muscular y reduce la degradación de proteína muscular, resultando en un saldo neto positivo de proteínas musculares.

Datos más recientes indican que la coingesta de carbohidratos durante la recuperación después del ejercicio no acelera aún más la síntesis de proteínas musculares (Toone y Betts, 2010).

7.3. Composición de las bebidas.

7.3.1. Contenido Calórico.

Trabajos de Romano-Ely et al. (2006) y un estudio de Millard-Stafford et al. (2005) confirman que las proteínas típicamente contribuyen en una pequeña proporción de las demandas energéticas totales durante el ejercicio, el uso de proteínas añadidas a bebidas CHO podría preservar las reservas de carbohidratos, permitiendo a los atletas rendir durante periodos más largos antes de agotarse en protocolos de muy larga duración. En los anteriores estudios y en el presente trabajo, no se encontraron diferencias significativas entre tiempo hasta la fatiga o rendimiento cuando las bebidas comparadas se igualaron en calorías totales.

Millard-Stafford et al. (2005) compararon los efectos de una bebida de carbohidratos y proteínas con una bebida CHO isocalórica y mostraron resultados de tiempo hasta la fatiga similares a los encontrados en el presente estudio, apoyando así la teoría de que gran parte de la diferencia de rendimiento observada en otras investigaciones (Colombani et al. 1999) era debida al uso de proteínas añadidas.

Una perspectiva alternativa plantea que cuando las calorías de las proteínas se sustituyen por carbohidratos, la atenuación resultante de la respuesta de la insulina favorece una mayor producción de glucosa hepática, pero la teoría de que las calorías de la proteína añadida se usan como sustrato de energía está más sustentada por datos de Colombani et al. (1999). Estos investigadores encontraron que los niveles de aminoácidos, urea y nitrógeno urinario total aumentaban con un suplemento de carbohidratos y proteínas durante una carrera de maratón comparado con un tratamiento con solo CHO.

Diversos autores (Ivy et al. 2003; Hiedra, Res, Sprague, y Widzer, 2003; Saunders et al. 2004; Saunders et al. 2007; Saunders et al. 2009; St. Lauren et al. 2007) han obtenido mejoras en el tiempo de prueba (mejora en la resistencia) con la ingesta de CHO+P, frente a la ingesta de solo CHO, sugiriendo que la adición de proteínas a una típica bebida deportiva de carbohidratos (6–8% CHO) puede mejorar la resistencia. En estos estudios los tratamientos de CHO+P y CHO, estaban igualados en contenido de carbohidratos, pero no en contenido calórico total, lo que supuso un mayor aporte energético con la ingesta de CHO+P.

Estudios que han igualado el contenido calórico total de ambas bebidas como el de Romano-Ely et al. (2006); Toone y Betts (2010) y Valentine et al. (2008), no describieron diferencias en el tiempo hasta el agotamiento entre bebidas isocalóricas CHO+P y CHO. Esto sugiere que un factor primordial para los beneficios de la ingesta de CHO+P es la disponibilidad adicional de calorías en bebidas CHO+P. Estos hallazgos apoyan la idea de que se produce un beneficio, mediado por proteínas, cuando las bebidas no están igualadas en el contenido total de calorías.

Sin embargo, otros estudios recientes en los que se igualó el contenido calórico total no obtuvieron diferencias en el rendimiento con la ingesta de CHO+P en comparación con las bebidas con solo CHO (Millard-Stafford et al. 2005; Van Essen y Gibala, 2006; Osterberg et al. 2008).

Estas investigaciones han analizado si la proteína adicional ingerida durante los ciclos prolongados puede mejorar el tiempo de prueba más allá de lo logrado cuando se realiza una ingesta de hidratos de carbono a razón de 1 g/min (Osterberg et al. 2008; Van Essen y Gibala, 2006). Cabe destacar que ningún estudio observó mejora en el rendimiento con la proteína adicional, a pesar de que en uno de los estudios se proporcionó un 25% más de hidratos de carbono junto con las proteínas añadidas (Osterberg et al. 2008).

Estudios más recientes de Romano-Ely et al. (2006), Toone y Betts (2010) y Valentine et al. (2008), han evaluado los efectos ergogénicos de la ingestión de un suplemento combinado de carbohidratos y proteínas durante el ejercicio en relación con un suplemento control de hidratos de carbono igualados en calorías. Estos

estudios también han apoyado el patrón de los otros citados anteriormente en que la proteína adicional no fue más eficaz que una bebida de hidratos de carbono igualada en la cantidad de energía.

En el presente estudio, la bebida CHO+P contenía el mismo número de calorías totales y un 25% menos de calorías de carbohidratos que la bebida CHO. En las mismas condiciones, el tiempo de rendimiento durante la prueba CHO+P fue casi idéntica a la observada en la prueba CHO, indicando que cuando se igualan en calorías totales, las bebidas de CHO+P son igual de efectivas que las bebidas CHO en proporcionar beneficios metabólicos durante el ejercicio, lo que por un lado nos indica el factor beneficioso de la proteína ya que una bebida con menor cantidad de hidratos de carbono a igualado el rendimiento a otra cuando se le ha añadido proteína.

La observación de una mejora en el tiempo hasta el agotamiento en los estudios de Ivy et al. (2003); Saunders et al. (2004); Saunders et al. (2006); Saunders et al. (2007); Moore et al. (2007) y Saunders et al. (2009) (tabla 7.1) sugiere un gran potencial ergogénico para las bebidas de carbohidratos y proteínas. Sin embargo, los datos contrarios obtenidos en el presente estudio y en el de Romano-Ely et al. (2006); Van Essen y Gibala (2006) y Tonne y Betts (2010) (tabla 7.1) indican que los beneficios en la mejora en el rendimiento de resistencia con la ingesta de CHO+P no es universal. Así, siguen quedando cuestiones que aclarar sobre las condiciones bajo las cuales la presencia de proteínas en bebidas deportivas puede mejorar el rendimiento.

7.3.2. Tipo de Proteína.

Otro motivo por el que se han podido obtener resultados diferentes entre los estudios que han analizado los efectos de las bebidas CHO+P sobre el rendimiento, podría haber estado influenciado por las fuentes de proteínas utilizadas en las bebidas (tabla 7.2).

Varios estudios han observado una mejora de la resistencia con la ingesta de bebidas CHO + P que utilizan la proteína de suero concentrado o intacto (Hiedra et al. 2003; Ivy et al. 2003; Saunders et al. 2004, Saunders et al. 2007). Sin embargo otros como Romano-Ely et al. (2006); Valentine et al. (2008) y Van Essen y Gibala (2006), no encontraron mejoras en el rendimiento.

Estudios que utilizaron proteína de suero (Ps) como Luden et al. (2007); Millard-Stafford et al. (2005) y Toone y Betts (2010) tampoco encontraron mejoras en el rendimiento. Por el contrario, autores como Moore et al. (2007); Saunders et al. (2006); Saunders et al. (2009) utilizaron hidrolizado de caseína (Pc), observando mejoras en el rendimiento.

Tabla 7.2. Tipo de proteína utilizado en la ingesta de bebidas CHO+P y efectos sobre el rendimiento.

| <i>Estudio</i> | <i>Tipo de proteína</i> | <i>Efectos significativos</i> |
|--------------------------------|--|-------------------------------|
| Ivy et al.(2003) | Suero concentrado | Si |
| Saunders et al.,2004 | Suero concentrado | Si |
| Millard-Stafford et al. (2005) | Proteína de suero de leche. | No |
| Van Essen y Gibala (2006) | Suero aislado | No |
| Romano-Ely et al .(2006) | Suero concentrado | No |
| Saunders et al. (2006) | Caseína hidrolizada | Si |
| Luden et al. (2007) | Proteína de suero de leche | No |
| Saunders et al. 2007) | Suero concentrado | Si |
| Moore et al. (2007) | Caseína hidrolizada | Si |
| Osterberg et al. (2008) | | No |
| Skinner et al. 2008 | Leucina, valina, isoleucina y arginina | No |
| Valentine et al. (2008) | Suero concentrado | No |
| Cepero et al. (2009) | Proteína Caseína | No |
| Saunders et al. (2009) | Hidrolizado de proteína caseína. | Si en los últimos 5km. |
| Cepero et al. (2010) | Proteína caseína | No |
| | Proteína de suero de leche | |
| Gasier y Olson (2010) | Proteína de suero de leche | No |
| Toone y Betts (2010) | Proteína de suero | No |

Podría ser que los estudios que no observaron beneficios con la proteína se debieran a la limitada capacidad para digerir y absorber proteínas intactas durante el ejercicio prolongado de resistencia.

Las proteínas pueden ser hidrolizadas, produciendo pequeñas cadenas de aminoácidos denominadas péptidos. Diversos estudios (Di Pasquale, 1997) han mostrado que los hidrolizados de proteínas que contienen mayormente di y tripéptidos son absorbidos más rápidamente que los aminoácidos libres y mucho más rápido que las proteínas intactas. Además, se ha observado que la ingesta de hidrolizados de proteínas tiene un fuerte efecto insulínico. Por lo tanto, las bebidas utilizadas en la recuperación deportiva que contienen hidrolizados de proteínas pueden ser de gran valor ergogénico. (Manninen, 2004).

Esta mayor tasa de absorción de los aminoácidos cuando están en forma de dipéptidos y en comparación a una mezcla de aminoácidos libres, parece estar relacionada con una mayor capacidad de transporte de aminoácidos (Di Pasquale, 1997). Esto es por tanto un beneficio para aquellos atletas que desean maximizar el transporte de aminoácidos hacia los músculos.

Además, las pérdidas de proteínas endógenas son más altas después de consumir proteínas intactas o proteína de cadena larga hidrolizados que cuando se consumen hidrolizados de proteínas que contienen di y tripéptidos (Moughan et al. 2007, citado por Saunders et al. 2009).

La captación de aminoácidos a partir de fuentes de proteínas ingeridas es variable y depende de muchos factores (Tipton, 2007) como el tipo de proteína (Tipton et al. 2004; Wilkinson et al. 2007) o aminoácidos (Borsheim et al. 2004; Tipton et al. 1999; Tipton et al. 2004).

Boirie et al. (1997) mostraron que tras la ingesta de suero, la aparición de aminoácidos en el plasma es más rápida, de mayor magnitud y transitoria. En contraste, la caseína es absorbida mucho más lentamente, produciendo un aumento mucho menor en la concentración plasmática de aminoácidos. La ingesta de proteínas en suero estimuló la síntesis de proteínas en un 68% mientras que la ingesta de caseína estimuló la síntesis de proteínas en un 31%. Cuando los investigadores compararon el balance post prandial de leucina, 7 horas después de la ingesta, el consumo de caseína resultó en un balance de leucina significativamente mayor, mientras que no se observaron cambios en relación con el valor basal tras el consumo de suero.

Estos resultados sugieren que el suero estimula una rápida síntesis de proteínas, pero una gran parte de estas proteínas son oxidadas (utilizadas como combustible), mientras que la caseína puede resultar en una mayor acumulación proteica durante un período de tiempo más prolongado. Aparentemente tanto la caseína como el suero son efectivas para estimular la síntesis de proteínas musculares. No obstante, las diferencias en las propiedades digestivas de las proteínas, resultan en un patrón diferente de síntesis proteica con la ingesta de suero, resultando en una mayor respuesta aguda en comparación con un aumento más gradual en la síntesis de proteínas tras la ingesta de caseína.

Aunque la síntesis neta total de proteínas musculares parece ser similar entre las proteínas, no está claro si el incremento agudo observado tras la ingesta de suero representa una mayor ventaja para mejorar la recuperación y la remodelación de los músculos esqueléticos (Hoffman, 2007) este es un aspecto que proponemos en las futuras líneas de investigación que se derivan de este estudio.

Otros estudios (Hoffman y Falvo, 2004, Tipton y Wolfe 2003, Tipton y col., 2004) también han evaluado las diferencias en las respuestas orgánicas que se determinan al ingerir proteínas de suero o de caseína, obteniendo diferencias significativas en la velocidad de absorción post prandial causadas por una más lenta y sostenida asimilación de las proteínas de caseína respecto a las de suero.

Si bien, en las horas inmediatamente posteriores a la ingesta las proteínas de suero han mostrado un balance neto superior de proteínas musculares, es posible que gran parte de los aminoácidos captados por el músculo sean oxidados en lugar de ser utilizados como materia prima para producir un incremento de la síntesis proteica (Hoffman y Falvo, 2004).

Esto se confirma en el presente estudio, en el que no se encontraron diferencias significativas en el tiempo de prueba entre las diferentes bebida, sin embargo, aunque no es significativo, la bebida CHO+Pc, obtuvo mejores resultados en el rendimiento que el resto de bebidas y la bebida CHO+Ps obtuvo el menor rendimiento.

7.4. Parámetros sanguíneos y recuperación.

Como hemos mencionado anteriormente, una explicación a menudo discutida para las mejoras en rendimiento que se observan a veces con bebidas de carbohidratos y proteínas es que la proteína añadida puede facilitar una mayor captación de carbohidratos al incrementar los niveles de insulina.

La insulina estimula tanto la recepción de la glucosa muscular como la activación de la glucosa sintasa (Ivy, 1998), enzima limitadora de la velocidad en la síntesis de glucógeno.

El estímulo fisiológico más importante para la secreción pancreática de insulina es una concentración aumentada de glucosa en la sangre. Además, ciertos aminoácidos (Van Hall et al. 2000a; Floyd et al. 1970 a,b; Van Loon et al. 2000c) y proteínas (Nuttall et al. 1984; Rotman et al. 2000; Rabinowitz et al. 1994; Van Hall et al. 2000b; Van Loon et al. 2000b; Zawadzki et al. 1992) ejercen un efecto sinérgico en la liberación de insulina cuando se administra por separado o en combinación con una carga de CHO.

Ivy et al. (2003) describieron niveles altos de insulina con el consumo de CHO+P comparado con el agua, pero estos niveles no fueron estadísticamente más altos que una prueba con CHO. Saunderson (2007) demostró una tendencia muy similar con niveles de insulina ligeramente mayores (pero no de forma significativa) en las pruebas donde se ingirió CHO+P frente a la que solo se ingirió CHO.

En este estudio, los niveles de insulina en suero aumentaron en los tres grupos tras ingerir las bebidas y de forma estadísticamente significativa aumentó menos en los participantes cuando ingerían la bebida ergogénica con hidratos de carbono y proteína de lacto suero (CHO+Ps). Por el contrario, el aumento fue significativo durante la recuperación en los tiempos 150*, 165** y 180 ** (**P<0,01 *P<0,05) cuando los ciclistas ingirieron la bebida ergogénica con hidratos de carbono más la proteína de leche caseína.

Aunque los niveles de insulina en suero aumentaron con las tres bebidas, el aumento fue más significativo durante la recuperación en los tiempos 150*, 165** y 180 ** (**P<0,01 *P<0,05) cuando los ciclistas ingirieron la bebida ergogénica con hidratos de carbono más la proteína de leche caseína lo que nos indica el mayor beneficio fisiológico de esta bebida.

Los datos mostraron un efecto fisiológico positivo aunque no se reflejó en el rendimiento en el ejercicio tras la recuperación. Niles et al. (2001) también afirmaron que una bebida de carbohidratos y proteínas estaba asociada con unos incrementos de insulina tras el ejercicio mayores que una bebida isocalórica CHO; sin embargo, al contrario que en el presente estudio, el tiempo hasta la fatiga tras un régimen de agotamiento del glucógeno fue mayor con la bebida de carbohidratos y proteínas.

Esta discrepancia se puede explicar por diferencias fundamentales en el diseño. El presente estudio se diseñó para imitar el entrenamiento diario y la dieta común a todos los ciclistas de competición, mientras que Niles et al. (2001) parecen haber diseñado un estudio para maximizar el efecto del tratamiento. Niles et al. (2001) facilitaron el agotamiento de glucógeno con una dieta baja en carbohidratos (es decir, un 35–40% de calorías totales) que empezó 48 h antes de una tanda de ejercicio exhaustivo, y la carrera hasta el agotamiento ocurrió en las 2 horas siguientes a la ingesta de la bebida de recuperación, supuestamente en un momento en el cual los niveles de insulina estaban al máximo. (Jeukendrup, 1996).

Los participantes del presente estudio pedalearon hasta el agotamiento en dos días separados. El primer recorrido fue al 70% VO_{2max} considerablemente menos que la intensidad usada por Niles et al. (2001), y estas condiciones anteriores al segundo recorrido no fueron comparables con las condiciones usadas por estos (Niles et al. 2001) u otros investigadores (Colombani et al. 1999).

Recientemente Gasier y Olson (2010), en un estudio realizado para evaluar los efectos de un suplemento de CHO+P en el rendimiento y el estado de ánimo de alumnos de las fuerzas aéreas de EEUU, tampoco han obtenido diferencias entre los tratamientos CHO, CHO+Ps por no realizar un protocolo previo de agotamiento de las reservas de glucógeno, ya que los sujetos tomaron antes de la realización de las pruebas una comida de 592 Kcal.

Con respecto a la hipótesis de que la ingesta de CHO+P puede mejorar la recuperación tras el ejercicio, numerosos estudios han observado una atenuación en los marcadores del daño muscular tras el ejercicio con la ingesta de CHO+P (Flakoll et al. 2004; Luden et al. 2007; Millard-Stafford et al. 2005; Romano-Ely et al. 2006; Saunders et al. 2004; Saunders et al. 2009; Skillen et al. 2008; Valentine et al. 2008).

La ingesta de bebidas compuestas por CHO+P se ha asociado con una disminución de los niveles plasmáticos post-ejercicio de CK (Luden et al. 2007, Romano-Ely et al. 2006; Saunders et al. 2004; Saunders et al. 2009; Skillen et al. 2008; St. Laurens et al. 2007; Valentine et al. 2008) y LDH (Romano-Ely et al. 2006) y evaluaciones subjetivas de dolor muscular (Cepero et al. 2009; Cepero et al. 2010; Luden et al. 2007; Millard-Stafford et al. 2005; Saunders et al. 2009; Skillen et al. 2008) comparado con la ingesta de CHO. Además, estos beneficios se han observado en estudios que comparan bebidas CHO+P y CHO igualadas en contenido de carbohidratos (Luden et al. 2007) o calorías totales (Romano-Ely et al. 2006).

La ingesta de CHO+P durante y después de una prueba contrarreloj de ciclismo también evitó los aumentos en CK en plasma y en las evaluaciones de dolor muscular que se observaron en la prueba CHO. Estos hallazgos sustentan investigaciones previas que sugieren que las bebidas CHO+P consumidas durante e inmediatamente después del ejercicio puede favorecer el rendimiento y la recuperación muscular en atletas de resistencia (Saunders et al. 2009; Zachwieja, 1996).

Saunders et al. (2004) describieron reducciones significativas en los niveles plasmáticos de CK en plasma/ post-ejercicio, las cuales se acompañaron de mejoras en el rendimiento en posteriores ejercicios de resistencia. Sin embargo, esta investigación no ha mostrado ninguna mejora en el rendimiento posterior tras la ingesta de CHO+P. Las diferencias en estos hallazgos pueden ser el resultado de diferencias relativas en daño muscular en estos estudios, porque la respuesta CK post-ejercicio provocada durante la prueba sin proteínas fue mucho mayor en el estudio que observó mejora en el rendimiento posterior (~1300 U/L) (Saunders et al. 2004) que en los estudios que no mostraron diferencias en rendimiento posterior (~300–580 U/L) (Luden et al. 2007).

Asimismo, Luden et al. (2007) observaron que los corredores que completaban kilometrajes semanales superiores obtuvieron las mayores atenuaciones en CK post-ejercicio con la ingesta de CHO+P, quizás por el incremento de posibilidades de existir un mayor daño, asociado al incremento del kilometraje. Estos atletas de mayor kilometraje también mostraron una mayor tendencia a una mejora de la resistencia en ejercicios posteriores con el tratamiento CHO+P.

Los datos aquí analizados sugieren que la ingesta de CHO+P puede reducir los marcadores de daño muscular en los atletas de resistencia. Estas alteraciones pueden tener efectos importantes en el rendimiento posterior si las atenuaciones en el daño muscular son lo suficientemente grandes para tener una importancia práctica para la función muscular. Aunque estos estudios sugieren que la ingesta de CHO+P tiene una gran importancia para la recuperación en atletas de resistencia, es difícil determinar si estos beneficios son el resultado de las bebidas proporcionadas durante

el ejercicio, porque los estudios mencionados anteriormente proporcionaron CHO+P post-ejercicio (Luden et al. 2007, Millard-Stafford et al. 2005) o de las proporcionadas tanto durante como después del ejercicio (Romano-Ely et al. 2006).

Sin embargo, St. Laurent et al. (2006) compararon los efectos en la recuperación muscular de una bebida CHO+P (78 g CHO/h + 19 g P/h) con los de una bebida CHO igualada en carbohidratos (78 g CHO/h), y una bebida placebo (0 g CHO/h), las cuales se proporcionaron durante el ejercicio hasta el agotamiento. Aunque las bebidas solo se proporcionaron durante el ejercicio, el tratamiento CHO+P produjo una reducción significativa en CK y niveles de mioglobina post-ejercicio en comparación con todos los demás resultados.

Además, el rendimiento muscular durante una prueba de extensión de la pierna 24 horas después del ejercicio fue significativamente mayor después de la prueba en la que se ingirió CHO+P que en todas las demás pruebas. En conjunto, todos estos datos sugieren que la ingesta de CHO+P puede reducir los marcadores de daño post-ejercicio y mejorar potencialmente el rendimiento en ejercicios posteriores. Además, parece que estos beneficios sólo se pueden obtener consumiendo bebidas CHO+P durante el ejercicio.

Al igual que en el presente estudio, Millard-Stafford et al. (2005) no describieron diferencias en los valores de CK post-ejercicio entre tratamientos de carbohidratos y proteínas y tratamientos CHO igualados en el total de calorías.

En otro estudio reciente de Valentine et al. (2008) se obtuvieron niveles de CK y Mb estadísticamente significativamente más altos después de la ingesta de bebidas EPL (placebo), CHO (carbohidratos), CHO y CHO + (carbohidratos más carbohidratos y electrolitos), pero no después de CHO+P. Aunque se necesitan más estudios para determinar si mediciones directas de daño muscular se ven afectados por la ingestión de CHO + P, las atenuaciones observadas en romper la membrana con CHO + P en este estudio tenían relevancia funcional, porque el número de repeticiones realizadas en un 70% de 1RM 24 horas después del ejercicio fue significativamente mayor con el tratamiento de CHO + P, que todos los otros tratamientos.

La mejora observada en los indicadores del daño muscular después de la ingestión de CHO + P podría tener implicaciones prácticas para el rendimiento en ejercicios posteriores como puede tratarse de las pruebas ciclistas por etapas.

Saunders et al. (2004); Skillen et al. (2008); St. Lauren et al. (2007), observaron atenuaciones significativas en los niveles plasmáticos de CK después del ejercicio tras la ingesta de CHO+P, que fueron acompañadas por mejoras en el rendimiento en ejercicios posteriores.

Luden et al. (2007); Romano-Ely et al. (2006); Saunders et al. (2009) como en este estudio, sin embargo, observaron que no existen diferencias en el rendimiento posterior entre las bebidas de CHO y CHO+P a pesar de las reducciones que se observaron al finalizar el ejercicio en los niveles de CK plasmática tras la ingesta de CHO+P.

En el contexto de este diseño experimental, la bebida CHO+P mostró efectos fisiológicos más explícitos que la bebida CHO, pero esto no se reflejó en el rendimiento del ejercicio post-recuperación.

Con respecto a los datos obtenidos con respecto a la glucosa sanguínea, parámetro sanguíneo que refleja la recuperación tras el ejercicio, aumentó significativamente a los 105 y 165 min durante la recuperación con CHO comparado con CHO+Pc y CHO+Ps ($P < 0.05$) mostrando resultados superiores en la concentración de glucosa plasmática con la bebida CHO y valores inferiores con la bebida CHO+Pc.

Dangin et al. (2001) señalaron que cuando se ingiere una mezcla de CHO+PRO se produce una aparición reducida de glucosa en la circulación que da como resultado una menor concentración de glucosa en sangre. Esto es debido principalmente a la menor cantidad de hidratos de carbono que se incluyen en la bebida CHO+P, pero también porque la presencia de proteínas pueden tener retraso en el vaciamiento gástrico tales que incluso los carbohidratos que se ingieren aparecen más lentamente en el tracto gastrointestinal.

En apoyo de este último, un estudio reciente demostró que la proteína adicional puede reducir la respuesta glicémica a un suplemento ingerido durante la recuperación (incluso si no se disminuyen los hidratos de carbono de la solución) (Kaastra et al. 2006).

Los valores inferiores obtenidos con la Pc, pueden deberse, como hemos mencionado anteriormente, a la diferencias significativas en la velocidad de absorción post prandial causadas por una más lenta y sostenida asimilación de las proteínas de caseína respecto a las de suero.

CAPITULO 8.- CONCLUSIONES Y
PERSPECTIVAS DE FUTURO.

CAPÍTULO 8

CAPÍTULO 8. Conclusiones y perspectivas de futuro.

8.1. Conclusiones.

8.1.1. Rendimiento.

8.1.2. Protocolo de ejercicio.

8.1.3. Administración de la bebida.

8.1.4. Composición de las bebidas.

8.1.5. Parámetros sanguíneos y recuperación.

8.2. Perspectivas de futuro.

8.1. Conclusiones.

8.1.1. Rendimiento.

Uno de los objetivos principales de este estudio ha sido comparar los efectos de tres bebidas CHO+Pc, CHO+Ps y CHO sobre el tiempo requerido para recorrer 20 km en una prueba ciclista contrarreloj.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que no existen diferencias significativas en el tiempo de prueba con la ingesta de las diferentes bebidas, un hallazgo que coincide con algunos estudios pero está en desacuerdo con otros que compararon bebidas con carbohidratos y proteínas y bebidas con sólo carbohidratos.

8.1.2. Protocolo de ejercicio.

No se obtienen diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de prueba con la ingesta de CHO+P en comparación con la de solo CHO y tampoco entre la ingesta de proteína caseína o proteína de suero de leche, con el protocolo de prueba utilizada para este estudio (se ha medido el rendimiento en una típica carrera contrarreloj de 20 km).

Las diferencias obtenidas, con respecto a otros estudios donde si obtuvieron diferencias al comparar la ingesta de CHO frente a la de CHO+P, parece deberse en una buena parte al protocolo de ejercicio.

Los estudios que obtuvieron mejoras en el rendimiento con la proteína, utilizaron protocolos de ejercicio prolongados hasta el agotamiento y en los que no se obtuvieron mejoras los protocolos, al igual que el del presente estudio, no superaron la hora de duración. Como se ha mencionado en el capítulo 7º de discusión, esto es debido a que los beneficios ergogénicos de la ingesta de CHO+P se obtienen cuando se agotan los niveles de glucógeno, produciéndose entonces una mayor oxidación proteica, y eso ocurre en el ejercicio tardío.

8.1.3. Administración de la bebida.

Con respecto al protocolo de administración de la bebida (tiempo de ingesta), pese a los estudios que indican que la ingesta de CHO después del ejercicio, juega un papel muy importante cuando se requieren velocidades máximas en la síntesis del glucógeno muscular y que la ingestión de hidratos de carbono con proteínas tras el ejercicio físico puede acelerar la resíntesis de glucógeno muscular tanto en ejercicios de tipo aeróbico como anaeróbico, la administración de las diferentes bebidas después de la realización de las pruebas, obtuvo diferencias significativas con la ingesta de CHO comparado con CHO+Pc y CHO+Ps ($P < 0.05$) mostrando resultados superiores en la concentración de glucosa plasmática con la bebida CHO y valores inferiores con la bebida CHO+Pc, lo que indica, en este caso, que la ingestión de CHO+P después del ejercicio comparado con la ingesta de CHO no implica una mejora en la resíntesis de glucógeno muscular.

8.1.4. Composición de las bebidas.

La mezcla de carbohidratos y proteínas no mejora el tiempo de prueba en comparación con la ingesta de solo CHO.

Las bebidas CHO+P contenían el mismo número de calorías totales y un 25% menos de calorías de carbohidratos que la bebida CHO. En las mismas condiciones, el tiempo de rendimiento durante la prueba CHO+P fue casi idéntica a la observada en la prueba CHO, indicando que cuando se igualan en calorías totales, las bebidas de CHO+P son igual de efectivas que las bebidas CHO en proporcionar beneficios metabólicos durante el ejercicio, lo que demuestra el efecto beneficioso de la proteína.

Con respecto a las hipótesis 4^a y 5^a, no se observaron mejoras en el rendimiento ni con la proteína de suero de leche ni con la proteína caseína comparándolas con los resultados obtenidos con respecto a la ingesta de CHO solo.

Aunque no es estadísticamente significativo, se observaron mejoras en el tiempo de prueba con la ingesta de la bebida CHO+Pc, mientras que la bebida CHO+Ps obtuvo el menor rendimiento.

8.1.5. Parámetros sanguíneos y recuperación.

➤ **Insulina.**

La ingesta de CHO+Pc mejora los niveles de insulina de forma significativa durante la recuperación en comparación con la ingesta de CHO y CHO+Ps.

La ingesta de las tres bebidas aumentaron en los tres grupos tras ingerir las bebidas y de forma estadísticamente significativa ha aumentado menos en los participantes cuando ingerían la bebida ergogénica con hidratos de carbono y proteína de lacto suero (CHO+Ps).

➤ **Creatina quinasa, CK.**

Tanto la ingesta de CHO, como la combinación de CHO+Ps y CHO+Pc, mejoran los niveles plasmáticos de CK aunque no se vieron significativamente afectados por el tratamiento de las tres bebidas ingeridas por los ciclistas tras pedalear durante una hora al 75% del $VO_{2máx}$.

No se producen diferencias significativas en los niveles de CK con la utilización de proteína caseína o proteína de suero.

➤ **Glucosa sanguínea**

La disminución de CHO en las bebidas CHO+P y la inclusión de proteína, no producen una mejora en la concentración de glucosa.

La proteína caseína produce concentraciones menores de glucosa en sangre que la ingesta de proteína de suero.

La glucosa sanguínea aumentó significativamente a los 105 y 165 min durante la recuperación con CHO comparado con CHO+Pc y CHO+Ps ($P < 0.05$) mostrando resultados superiores en la concentración de glucosa plasmática con la bebida CHO y valores inferiores con la bebida CHO+Pc,

➤ **Glucagón.**

La ingesta de CHO+Pc y CHO+Ps no mejoran los niveles de glucagón con respecto a la ingesta de solo CHO.

Los niveles de glucagón durante la prueba, se vieron incrementados con las tres bebidas, pero en mayor medida con CHO que con los tratamientos CHO+Pc y CHO+Ps a los 210 min.

➤ **Ácido láctico.**

La ingesta de una mezcla de CHO+P obtiene menores concentraciones de ácido láctico que la ingesta de sólo CHO.

La ingesta de CHO+ proteína caseína obtiene menores concentraciones de ácido láctico en sangre que la ingesta de CHO+ proteína de suero.

Los niveles de ácido láctico se mantuvieron estables durante el desarrollo experimental hasta el final de la prueba de los 20 kms contra reloj. A la finalización de la prueba (t=210) la concentración de lactato en las muestras de sangre recogidas se vieron estadísticamente afectadas por la bebida, de tal forma que con la bebida CHO, se registraron los valores máximos de lactato, mientras que con la bebida CHO+Pc se registraron los valores menores, $P < 0.01$.

En el contexto de este diseño experimental, la bebida CHO+P mostraron efectos fisiológicos más explícitos en esta variable, que la bebida CHO, pero nuevamente esto no se reflejó en el rendimiento de ejercicio post-recuperación.

En conclusión, los datos de este estudio se añaden a la creciente evidencia que indica que las bebidas CHO+P consumidas durante y después del ejercicio exhaustivo pueden atenuar el daño muscular aumentando el rendimiento posterior. Además, como el tiempo hasta la fatiga fue igual entre los tratamientos isocalóricos, estos datos sugieren que las proteínas pueden servir de importante sustrato energético cuando se proporcionan en combinación con bebidas CHO durante el

ejercicio. Estos resultados confirman aún más los datos de estudios previos que muestran que los beneficios en rendimiento observados con bebidas deportivas de carbohidratos y proteínas pueden deberse a un efecto de preservación-de-carbohidratos relacionado con la oxidación de las calorías adicionales de las proteínas.

8.2. Perspectivas de futuro.

Hay algunos factores de diseño a tener en cuenta para futuras investigaciones. En primer lugar, se podrían desarrollar comparaciones más válidas si se estudiaran simultáneamente los tres tipos de bebidas (es decir, CHO+P, CHO isocalórico, e CHO isocarbohidrato). Este diseño ayudaría a elucidar si los beneficios de las bebidas de carbohidratos y proteínas son debidos a las calorías adicionales o se pueden atribuir de alguna manera a las propiedades únicas de las proteínas, aunque esto implicaría un incremento en el número de participantes y en el desarrollo de la fase experimental, ya de por dura en cuanto a las demandas solicitadas a los participantes.

En segundo lugar, para determinar si la adición de proteínas a bebidas de carbohidratos atenúa la fatiga, estas bebidas se podrían estudiar en una situación experimental en la cual se maximizara la ingesta y la absorción de carbohidratos. En el presente estudio, los sujetos toleran la solución de 9% carbohidratos, una concentración superior a las recomendaciones generales. Considerando que la disponibilidad de carbohidratos es un factor limitante principal en el ejercicio prolongado, la capacidad máxima de absorción de carbohidratos debe ser tratada en

más profundidad. Si los carbohidratos adicionales se pueden tolerar razonablemente, se puede proporcionar una mayor cantidad de proteínas durante el ejercicio. Es más, como la proteína se absorbe mediante un mecanismo separado en el tracto digestivo, se puede demostrar que el hallazgo del límite superior de absorción de carbohidratos y la adición de proteínas es una forma efectiva de maximizar el rendimiento.

En tercer lugar, se podría diseñar una bebida donde se combinara junto al CHO, las proteínas caseína y la de suero de leche y estudiar los efectos ergogénicos sobre el rendimiento y la recuperación de una bebida mixta.

La combinación de proteína de suero y caseína puede ser efectiva para generar elevaciones inmediatas y prolongadas en la tasa de síntesis de proteínas. Los aminoácidos también son efectivos para incrementar la tasa de síntesis de proteínas pero parecen ser más efectivas cuando se consumen inmediatamente antes del entrenamiento que cuando se consumen después del entrenamiento (Hoffman, 2007).

La mayoría de los autores coinciden en que para potenciar adecuadamente el anabolismo muscular, la estrategia más idónea sería ingerir un preparado en donde se combinen proteínas desde diferentes fuentes (Tipton y Wolfe 2003).

Una quinta línea de trabajo sería comparar el efecto de las bebidas tipo carbohidrato-proteína-antioxidante (CHOPA) en el daño muscular con una prueba control que incluyera el ejercicio hasta el agotamiento sin la ayuda de suplementos y también con un suplemento que contenga sólo proteínas y otro que contenga sólo

antioxidantes. Una prueba de control tendría un valor especial si las proteínas o antioxidantes proporcionaran un beneficio pequeño pero significativo que no pudiera ser detectado cuando se comparara estadísticamente con el suplemento opuesto o CHOPA.

También se podrían evaluar los efectos de estos nutrientes en el daño muscular con medidas directas de daño (por ejemplo, biopsias musculares o MRI) y con marcadores bioquímicos específicos del estrés oxidativo. Dada la gran variabilidad del CK y del dolor muscular observados en este y otros estudios, unas medidas más directas y específicas del daño muscular pueden proporcionar mejores evidencias de si los beneficios de las bebidas CHO+P se pueden atribuir a las proteínas, a los antioxidantes o a una combinación de ambas.

Finalmente, se podrían probar las bebidas sobre pruebas de esfuerzos similares a la competición (*Repeated Sprint Analysis*) en deportes de esfuerzos variables como los colectivos (fútbol, baloncesto, voleibol o balonmano). La mayor parte de estudios científicos sobre RSA están realizados en cicloergómetro con esfuerzos de seis segundos y recuperaciones de 24 segundos. Otros estudios con carrera han utilizado 8 sprints de 30 m con 25 s de recuperación, y la demanda social de bebidas para estos esfuerzos es muy elevada.

Otra posible línea, en cuanto al protocolo de ejercicio, siguiendo el estudio realizado por Gasier y Olson (2010), en estudios de campo y no de laboratorio, aunque en nuestro estudio hemos estado cerca de un estudio de campo con los

beneficios que esto reporta de especificidad y adaptación de los participantes a las pruebas.

También se deberían de probar los beneficios ergogénicos de la ingesta de las bebidas en protocolos de ejercicio de más de 1 hora de duración para analizar mejor los efectos ergogénicos de la proteína sobre el rendimiento y los parámetros del daño muscular.

CAPITULO 9- REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS.

CAPÍTULO 9

- Adamo, K.B. & Graham, T.E. (1998). Comparison of traditional measurements with macroglycogen and proglycogen analysis of muscle glycogen. *Journal of Applied Physiology* ; 84 (3), 908-13
- Adamo, K.B., Tarnopolsky, M.A. & Graham, T.E. (1998). Dietary carbohydrate and postexercise synthesis of proglycogen and macroglycogen in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 275, E229-34
- Alonso, M.D., Lomako, J.W.M., Lomako, W.M. & Whelan, W.J. (1995). A new look at the biogenesis of glycogen. *FASEB J*; 9(12), 1126-37
- American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dieticians of Canada. Nutrition and athletic performance (2000). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 2130-2145.
- Andersen, L.L., Tufekovic, G., Zebis, M.K., Cramer, R.M., Verlaan, G., Kjaer, M., Suetta C, Magnusson P, & Aagaard P. (2005). The effect of resistance training combined with timed ingestion of protein on muscle fiber size and muscle strength. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 54, 151–156.
- Anthony, J.C., Anthony, T.G., Kimball, S.R., Vary T.C. & Jefferson, L.S.(2000). Orally administered leucine stimulates protein synthesis in skeletal muscle of postabsorptive rats in association with increases eIF4F formation. *Journal of Nutrition*, 130, 139-145.
- Asp, S., Dugaard, J.R., Rohde, T., Adamo, K., & Graham, T. (1999). Muscle glycogen accumulation after a marathon: roles of fiber type and pro- and macroglycogen. *Journal of Applied Physiology*, 86 (2), 474-8.
- Azpiazu, I., Manchester, J., Skurat, A.V, Roach, P.J., & Lawrence, J.C. (2000). Control of glycogen synthesis is shared between glucose transport and glycogen synthase in skeletal muscle fibers. *American Journal of Physiology Endocrinol Metab*, 278 (2), E234-43.
- Bangsbo, J., Golnick, P.D., Graham, T.E. & Saltin, B. (1991). Substrates for muscle glycogen synthesis in recovery from intense exercise in man. *Journal of Physiology*, 434, 423-40
- Berardi, J.M., Price, T.B., Noreen, E.E. & Lemon, P.W.R. (2006). Postexercise muscle glycogen recovery enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 1106–1113.
- Bergström, J. Hermansen, L. Hultman, E. & Saltin, B. (1967). Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiologica Scandinavica.*, 71, 140-50
- Bergström, J. & Hultman, E. (1966). Muscle glycogen synthesis after exercise: an enhancing factor localized to the muscle cells in man. *Nature* , 1210, 309-10

- Betts, J.A., Stevenson, E., Williams, C., Sheppard, C., Grey, E. & Griffin, J. (2005). Recovery of endurance running capacity: Effect of carbohydrate-protein mixtures. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 15, 590–609.
- Betts, J.A., Williams, C., Boobis, L., & Tsintzas, K. (2008). Increased carbohydrate oxidation after ingesting carbohydrate with added protein. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40, 903–912.
- Betts, J., Williams, C., Duffy, K. & Gunner, F. (2007). The influence of carbohydrate and protein ingestion during recovery from prolonged exercise on subsequent endurance performance. *Journal of Sports Sciences*, 25, 1449–1460.
- Bilsborough, S. & Mann, N. A review of issue of dietary protein intake in humans. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 16, 129-152. 2006.
- Biolo, G., Maggi, S.P. Williams, B.D. Tipton, K.D & Wolfe. R.R (1995). Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *American Journal of Physiology*, Mar ;268 (3 Pt 1),E514-20.
- Biolo, G., Tipton, K. D. Klein, S. & Wolfe. R. R. (1997). An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am. J. Physiol. Endocrinol*, 273, E122–E129.
- Blom, P.C.S. (1989). Post-exercise glucose uptake and glycogen synthesis in human muscle during oral or IV glucose intake. *European Journal of Applied Physiology*, 59, 327-33.
- Blom, P.C.S., Hostmark, A.T., Vaage, O., Kardel, K..R., & Maehlum, S. (1987). Effect of different post-exercise sugar diets on the rate of glycogen synthesis. *Medicine and Science in Sports and Exercise* ,19 (5), 491-6 .
- Blomstrand, E., Celsing, F., & Newshome, E.A. (1988). Changes in plasma concentrations of aromatic and branch-chain amino acids during sustained exercise in man and their possible role in fatigue. *Acta Physiologica Scandinavica* 133, 115-21.
- Bloomstrand E, Hassmen P, & Newsholme E. (1991). Effect of branch-chain amino acid supplementation on mental performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 143, 225-6.
- Boirie, Y., Dangin, M. Gachon, P.. Vasson, M. P. Maubois, J. L & Beaufriere, B (1997). Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 94, 14930–14935.

- Bonen, A., Ness, G.W., Belcastro, A.N. & Kirby R. L. (1985). Mild exercise impedes glycogen repletion in muscle. *Journal of Applied Physiology*, 58(5), 1622-9.
- Borghouts, L.B. & Keizer, H.A. (2000). Exercise and insulin sensitivity: a review. *International Journal of Sports Medicine*, 21(1), 1-12.
- Borsheim, E., Aarsland, A. & Wolfe, R.R. (2004). Effect of an amino acid, protein, and carbohydrate mixture on net muscle protein balance after resistance exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 1, 255-271.
- Borsheim, E., Cree, M.G., Tipton, K.D., Elliott, T.A., Aarsland, A. & Wolfe, R.R. (2004). Effect of carbohydrate intake on net muscle protein synthesis during recovery from resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 9, 674-678.
- Borsheim, E., Tipton, K. D. Wolf, S. E. and Wolfe, R. R. (2002). Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol.* 283, E648–E657.
- Bosch, A.N., Weltan, S.M., Dennis, S.C., & Noakes, T.D. (1996). Fuel substrate turnover and oxidation and glycogen sparing with carbohydrate ingestion in non-carbohydrate-loaded cyclists. *Pflugers Archiv*, 432, 1003–1010.
- Bowtell, J.L., Gelly, K., Jackman, M.L., Bowtell, J.L., Gelly, K. & Jackman, M.L. (2000). Effect of different carbohydrate drinks on whole body carbohydrate storage after exhaustive exercise. *Journal of Applied Physiology*, 88 (5), 1529-36.
- Brooks, G., & Mercier, J. (1994). Balance of carbohydrate and lipid oxidation during exercise: the “crossover” concept. *Journal of Applied Physiology*, 76, 2253-2261.
- Brouns, F. & Beckers, E. (1993). Is the gut an athletic organ? Digestion, absorption and exercise. *Sports Medicine*, 15(4), 242-257.
- Brouns, F., Saris, W.H.M. & Rehrer, N.J. (1987). Abdominal complaints and gastrointestinal function during long-lasting exercise. *The American Journal of Sports Medicine*, 8:175-189.
- Burke, E. R. (1999). *Optimal Muscle Recovery: Your Guide to Achieving Peak Physical Performance*, Garden City Park, NY: Avery Publishing Group.
- Burke, L., Collier, G.R., Beasley, S.K., Davis, P.G., Fricker, P.A., Heeley, P., et al. (1995). Effect of coingestion of fat and protein with carbohydrate feedings on muscle glycogen storage. *Journal of Applied Physiology*, 78, 2187-92.

- Burke L.M., Collier G.R., Hargreaves, M. (1998). Glycemic index: a new tool in sport nutrition? *International Journal of Sport Nutrition*, 8: 401-15 .
- Burke, L.M., Kiens, B. & Ivy, J.L. (2004). Carbohydrates and fat for training and recovery. *Journal of Sports Sciences*, 22, 15–30.
- Butterfield, G.E., Gates, J., Fleming, S., Brooks, G.A., Sutton, J.R., Reeves, J.T. (1992). Increased energy intake minimizes weight loss in men at high altitude. *Journal of Applied Physiology*, 72:1741-8.
- Cade, J.R., Reese R.H., Privette, R.M., Hommen, N.M., Rogers, J.L, Fregly, M.J. (1992). Dietary intervention and training in swimmers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 63, 210-215.
- Calbet, J.A.L. & MacLean, D.A. (2002). Plasma glucagons and insulin responses depend on the rate of appearance of amino acids after ingestion of different protein solutions in humans. *Journal of Nutrition*, 132, 2174-2182.
- Calders, P., Matthys, D., Derave, W., Pannier, J-L. (1999). Effect of branched-chain amino acids (BCAA), glucose, and glucose plus BCAA on endurance performance in rats. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31:583-7.
- Candow, D.G., Chilibeck, P.D., Facci, M., Abeysekara, S. & Zello, G.A. (2006). Protein supplementation before and after resistance training in older men. *European Journal of Applied Physiology*, 97, 548–556.
- Carli, G., Bonifazi, M., Lodi, L., Lupo, C., Martelli, G. & Viti, A. (1992). Changes in the exercise-induced hormone response to branched chain amino acid administration. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 6, 272-277.
- Carrithers, J.A., Williamson, D.L., Gallagher, P.M., Godard, M.P., Schulze, K.E., & Trappe, S.W. (2000). Effects of postexercise carbohydrate-protein feedings on muscle glycogen restoration. *Journal of Applied Physiology* , 88, 1976-82.
- Cartee, G.D., Young, D.A., Slepper, M.D., Zierath, J., Schertzer, J.D., Contreras-Ferrat, A., Fu, Z., Liu, J., Boguslavsky, S., Foley, K. P., Liu, Z., et al. (1989). Prolonged increase in insulin-stimulated glucose transport in muscle after exercise. *American Journal of Physiology* , 256, E494- 99.
- Casa, D.J., Armstrong, L.E., Hillrnan, K. Montain, S.J., Reiff,, R.V., Krzywkowski, K., Petersen, E.W., Ostrowski, K., Kristensen, J.H., et al. (2000). National Athletic Trainers' Association position statement. fluid replacement for athletes. *Journal of Athletic Training*, 35(2), 212-224.
- Casey, A., Mann, R., Banister, K., Fox, J., Morris, P.G., Macdonald, I.A., & Greenhaff ,P.L. (2000). Effect of carbohydrate ingestion on glycogen resynthesis in human liver and skeletal muscle, measured by ¹³C MRS.

- American Journal of Physiology. Endocrinology and metabolism.*, 278, E65-75.
- Casey, A., Short, A.H., Hultman, E. & Greenhaff, P.L. (1995). Glycogen resynthesis in human muscle fibre types following exercise-induced glycogen depletion. *Journal of Physiology*, 483 (1), 265-71.
- Cepero, M., Rojas, F. J., Geerlings, A., de la Cruz, J. C., Romero, S., & Boza, J. J. (2009). Effects of a carbohydrate and a carbohydrate and casein protein beverages on recovery and performance of endurance cycling capacity. *Journal of Human Sport and Exercise*. vol 4, No 2, 72-77. DOI:10.4100/jhse.
- Cepero, M., Padial, R., Rojas, F.J., Geerlings, A., De la Cruz, J.C & Boza, J.J. (2010): influence of ingesting casein protein and whey protein Carbohydrate beverages on recovery and performance of an Endurance cycling test. *Journal of Human Sport and Exercise, Vol V, No II, 158-175. DOI: 10.4100/jhse*
- Coderre, L., Kandor, K.V., Vallega, G., et al. (1995). Identification and characterization of an exercise-sensitive pool of glucose transporters in skeletal muscle. *The Journal of Biological Chemistry (J Biol Chem)*, 270 (46, 27584-8.
- Coggan, A.R. & Coyle. E.F. (1991). Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews.(Sport Sci. Rev)*, 1,1-40.
- Cohen, P. (1986). Muscle glycogen synthase. In: Boyer, P., Krebs, E.G., editors. *The enzymes*. Orlando (FL): *Academic Press Incorporation*, 461-97
- Coleman, E. (1994). Update on carbohydrate: solid versus liquid. *International Journal of Sport Nutrition (Int J Sport Nutr)*, 4(2), 80-8.
- Colombani, P.C., Kovacs, C. Frey-Rindova, P., Frey, W., Langhans, W., Arnold, M., & Wenk, C. (1999). Metabolic effects of a protein supplemented carbohydrate drink in marathon runners, *International Journal of Sport Nutrition*, 9,181-201.
- Conlee, R.K., Lawler, R.M., & Ross, P.E. (1987). Effects of glucose or fructose feeding on glycogen repletion in muscle and liver after exercise or fasting, *Annal Nutrition and Metabolism (Ann. Nutr. Metab)*, 31, 126-32.
- Costill, D.L., Pascoe, D.D., Fink, W.J., Rogers, R.A., Barr, S.I. & Pearson, D. (1990). Impaired muscle glycogen resynthesis after eccentric exercise, *Journal of Applied Physiology*, 69 (1), 46-50.

- Cox, G., Desbrow, B., Montgomery, G., Anderson, M., Clinton, B., Macrides, T., Martin, D., Moquin, A., Roberts, A., Hawley, & Burke, L. (2002). Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *J Appl Physiol*, 93: 990 - 999.
- Coyle, E.F. (1995). Substrate utilization during exercise in active people, *American Journal of Clinical Nutrition (Am. J. Clin. Nutr)*, 61, 968S-979S.
- Coyle, E.F. (2004). Fluid and fuel intake during exercise. *J. Sports Sci.*, 22, 39-55.
- Coyle, E.F., Coggan, A. R., Hemmert, M.K. & Ivy, J.L. (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J. Appl. Physiol.* 61(1): 165- 72, 1986.
- Cribb, P. J. & Hayes, A. (2006). Effects of supplement timing and resistance exercise on skeletal muscle hypertrophy. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 38, 1918–1925.
- Cureton, K.J., Warren, G. L., Millard-Stafford, M.L., Wingo, J.E., Trilk, J. & Buyckx, M. (2007). Caffeinated Sports Drink: Ergogenic Effects and Possible Mechanisms. *International Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism*, 17, 35-55.
- Currell, K., Conway, S. & Jeukendrup, A. (2009). Carbohydrate Ingestion Improves Performance of a New Reliable Test of Soccer Performance. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*, 19, 34-46.
- Dangin, M., C. Guillet, C. Garcia-Rodenas, Gachon, P., Fauquant, J., Callier, P. Ballèvre, O. & Beaufrère, B. (2001). The digestion rate of protein is an independent regulating factor of postprandial protein retention, *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 280, E340-E348.
- Dangin, M., Boirie, Y. Guillet, C. & Beaufrère, B. (2002). Influence of the protein digestion rate on protein turnover in young and elderly subjects. *J. Nutr.*, 13, 3228S–3233S.
- Danforth W.J. (1965). Glycogen synthase activity in skeletal muscle. *J Biol Chem.* 240, 588-93.
- D'Assisi, A. (2003): The Reinvention of Nutrition Basics *NCSA Performance Training Journal*, Vol.2, 5, 9-12.
- Daugaard, J.R., Nielsen, J.N., Kristiansee, S. et al. (2000). Fiber type specific expression of GLUT4 in human skeletal muscle: influence of exercise training, *Diabetes*, 49 (7), 1092-5.
- Davis, J.M. (1995). Carbohydrates, branched-chain amino acids, and endurance, The central fatigue hypothesis. *International Journal of Sport Nutrition*, 5, S29-38.

- Davis, J.M., & Bailey, S.P. (1997). Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29(1),45-57.
- Davis, J.M., Bailey, S.P., Woods, J.A., Galiano, F. J., Hamilton, M. & Bartoli, W.P. (1992). Effects of carbohydrate feedings on plasma free-tryptophan and branched-chain amino acids during prolonged cycling. *Eur J. Appl. Physiol.*, 6, 513-519.
- Davis, J.M., Welsh, R.S, Alerson, N.A. (2000). Effects of carbohydrate and chromium ingestion during intermittent high-intensity exercise to fatigue. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*,10, 476 - 485.
- Davis, M., Welsh, R., De Volve, K., Alderson, N. (1999). Effects of branched-chain amino acids and carbohydrate on fatigue during intermittent, high-intensity running. *Int. J. Sports Med.*, 20, 309-314.
- Defronzo, R.A., Jacot, E., Maeder, E., Wahren, J. & Felber, J.P. (1981). The effect of insulin on the disposal of intravenous glucose: results from indirect calorimetry and hepatic and femoral venous catheterization. *Diabetes*, 30, 1000-7.
- Derave, W., Hansen, B.F., Lund, S., Kristiansen, S. & Richter, E. A. (2000). Muscle glycogen content affects insulin-stimulated glucose transport and protein kinase B activity. *Am J Physiol Endocrinol Metab.*, 279 (5), E947-55.
- Derave, W., Lund, S., Holman, G.D., Wojtaszewski J, Pedersen, O., & Richter, E.A. (1999). Contraction-stimulated muscle glucose transport and GLUT-4 surface content are dependent on glycogen content. *Am J Physiol.*, 277 (6 Pt 1), E1103-10.
- Di Pasquale, M.G. (1997). Amino acids and proteins for the athlete: The anabolic edge. In *Energy-Yielding Macronutrients and Energy Metabolism in Sports Nutrition*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Doherty, M. & Smith, P.M. (2004). Effects of caffeine ingestion on exercise testing: a meta-analysis. *Int J Sport Nutrition Exercise Metabolism*, 14, 626–646.
- Dohm, G.L. (1986). Protein as a fuel for endurance exercise. *Exerc. Sports Sci. Rev.*, 14, 143- 173.
- Doyle, J.A., Sherman, W.M., Strauss, R.L. (1993). Effects of eccentric and concentric exercise on muscle glycogen replenishment. *J. Appl. Physiol.*, 74(4), 1848-55.
- Durham, W.J., Miller, S.L. Yeckel, C.W, Chinkes, D.L., Tipton, K.D., Rasmussen, B.B., Wolfe, R.R. (2004). Leg glucose and protein metabolism during an acute bout of resistance exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, 97, 1379-1386, E118-E124.

- Dutchman, S.M., Ryan, A.J., Schedl, H.P., Summers, R.W., Bleiler, T.L, Gisolfi, C.V. (1997). Upper limit for intestinal absorption of a dilute glucose solution in men at rest. *Med Sci Sports Exerc.*, 29 (4), 482-8.
- Ebeling, P., Bourel, R., Konanyi, L. et al. (1993). Mechanism of enhanced insulin sensitivity in athletes: increased blood flow, muscle glucose transport protein (GLUT-4) concentration, and glycogen synthase activity. *J. Clin. Invest.*, 92 (4), 1623-31.
- Elliot, T. A., Cree, M. G., Sanford, A. P., Wolfe, R. R & Tipton, K. D. (2006). Milk ingestion stimulates net muscle protein synthesis following resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:667–674.
- Esmarck, B., Andersen, J. L., Olsen, S., Richter, E. A., Mizuno, M. & Kjaer, M (2001). Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J. Physiol.*, 535, 301– 311.
- Essen B, Henriksson J. (1974). Glycogen content of individual muscle fibres in man. *Acta Physiol Scand* , 90, 645-7
- Febbraio, M.A., Chiu, A., Angus, D.J., Arkininstall, M.J. & Hawley, J.A. (2000). Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium-chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance, *J Appl Physiol*, 88, 113-119.
- Fell, R.D., Terblanche, S.E., Ivy, J.L, et al. (1982). Effect of muscle glycogen content on glucose uptake following exercise. *J Appl Physiol.*, 52 (2), 434-7
- Fisher, J.S., Nolte, L.A., Kawanaka, K., Han, D., Jones, T.E. & Holloszy, J.O. (2002). Glucose transport rate and glycogen synthase activity both limit skeletal muscle glycogen accumulation. *Am J Physiol Endocrinol Metab.*, 82 (6), E1214-21.
- Flakoll, P.J., Judy, T., Flinn, K., Carr, C. & Flinn, S. (2004). Postexercise protein supplementation improves health and muscle soreness during basic military training in Marine recruits. *J. Appl Physiol.*, 96(3), 951-956.
- Floyd, Jr. J.C., Fajans, S.S., Pek, S., Thiffault, C.A., Knopf, R.F., Conn, J.W. (1970). Synergistic effect of certain amino acid pairs upon insulin secretion in man. *Diabetes*, 19, 102-8 (a).
- Floyd, Jr. J.C., Fajans, S.S., Pek, S., Thiffault, C. A., Knopf, R. F., & Conn, J.. (1970). Synergistic effect of essential amino acids and glucose upon insulin secretions in man. *Diabetes*, 19, 109-15 (b).
- Fogt, D.L., & Ivy, J.L. (2000). Effects of post exercise carbohydrate-protein supplement on skeletal muscle glycogen storage. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(5) Suppl., (47th Annual Meeting of the American College of Sports Medicine, Indianapolis, IN, May 29-31, 2000).
- Foster, C., Costill, D.L., & Fonk, W.J. (1979). Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Med Sci Sports*, 11, 1-5.

- Forster, J., Morris, A.S., Shearer, J.D., Mastrofrancesco, B., Inman, K.C., Lawler, R.G., Bowen, W., & Caldwell M.D. (1989). Glucose uptake and flux through phosphofructokinase in wounded rat skeletal muscle. *Am J Physiol* , 256 (19), E788-97.
- Friedman, J.E., Neuffer, P.D., & Dohm, G.L. (1991). Regulation of glycogen resynthesis following exercise. *Sports Med.*, 11 (4), 232-43.
- Fujisawa, T., Mulligan, K., Wada, L., Schumacher, L., Riby, J. & Kretchmer, N. (1993). The effect of exercise on fructose absorption. *Am J Clin Nutr* , 58 (1), 75-9.
- Ganio, M.S., Klau, J.F, Lee, E.C., Yeargin, S.W., McDermott, B.P., Buyckx, M., Maresh, C.M., & Armstrong, .LE. (2010). Effect of various carbohydrate-electrolyte fluids on cycling performance and maximal voluntary contraction. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 20(2), 104-14.
- Gao, J., Gulve, E.A., & Holloszy, J.O. (1994). Contraction-induced increase in muscle insulin sensitivity: requirement for a serum factor. *Am J Physiol*, 266(2 Pt 1), E186-92
- Gasier, H., & Olson, C. (2010): The Effects of a Carbohydrate-Protein Drink on Performance and Mood in U.S. Pararescue Trainees. *Journal of Exercise Physiologyonline (JEPonline)*, Volume 13, Number 3.
- Gaster, M., Nandberg, A., Beck-Nielsen, H., et al .(2000). Glucose transporter expression in human skeletal muscle fibers. *J Appl Physiol*, 279, E529-38.
- Gaster, M., Poulsen, P., Handberg, A., Schroder, H.D., & Beck-Nielsen, H. (2000). Direct evidence of fiber type-dependent GLUT-4 expression in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* , 278 (5), E910-6.
- Gastmann, U.A., & Lehmann, M.J. (1998). *Overtraining and the BCAA hypothesis. Medicine and Science in Sports and Exercise* ,30, 1173-8.
- Gelfand, R.A., Barrett, E.J. (1987). Effect of physiologic hyperinsulinemia on skeletal muscle protein synthesis and breakdown in man. *J Clin Invest* ,80, 1-6 .
- Gollnick, P.D., Pernow, B., Essen, B., Jansson, E., & Saltin, B. (1981). Availability of glycogen and plasma FFA for substrate utilization in leg muscle of man during exercise. *Clin Physiol*, 1, 27-42.
- Goodyear, L.J., Hirshman, M.F., King, P.A., Thompson, C.M. & Horton, E.D. (1990). Skeletal muscle plasma membrane glucose transport and glucose transporters after exercise. *J Appl Physiol* , 68, 193-8.

- Goodyear, L.J., & Kahn, B.B. (1998). Exercise, glucose transport, and insulin sensitivity. *Annu Rev Med* ,8; 49, 235-61.
- Greiwe, J.S., Hickner, R.C., Hansen, P.A., Racette, A.B., Chen, M.M. & Holloszy, J.O.(1999). Effects of endurance exercise training on muscle glycogen accumulation in humans. *J Appl Physiol* , 87 (1), 222-6.
- Gulve, E.A., & Spina, R.J. (1995). Effect of 7-10 days of cycle ergometer exercise on skeletal muscle glut-4 protein content. *J Appl Physiol* , 79 (5), 1562-6.
- Hamilton, K.S., Gibbons, F.K., Bracy, D.P., Lacy, D.B., Cherrington, A.D., & Wasserman, D.H. (1996). Effect of prior exercise on the partitioning of an intestinal glucose load between splanchnic bed and skeletal muscle. *J Clin Invest*, 98(1), 125-35.
- Hansen, B.F, Asp, S., Kiens, B. & Richter, E.A. (1999). Glycogen concentration in human skeletal muscle: effect of prolonged insulin and glucose infusion. *Scand J Med Sci Sports* , 9 (4), 209-13.
- Hansen, P.A., Nolte, L.A., Chen, M.M. & Holloszy, J. O. (1998). Increased GLUT-4 translocation mediates enhanced insulin sensitivity of muscle glucose transport after exercise. *J Appl Physiol* , 85 (4), 1218-22.
- Hardin, D.S, Azzarelli, B., Edwards, J., Wigglesworth, J., Maianu, L., Brechtel, G., Johnson, A., et al (1995). Mechanism of enhanced insulin sensitivity in endurance-trained athletes: effects on blood flow and differential expression of GLUT-4 in skeletal muscles. *J Clin Endocrinol Metab* , 80 (8), 2437-46.
- Hayashi, T., Wojtaszewski, J.P. and Goodyear, L.J.(1997). Exercise regulation of glucose transport in skeletal muscle. *Am J Physiol* , 273, E1039-51.
- Hellier, M.D., Thirumalai, C.& Holdsworth, C.D. (1973). The effects of amino acids and dipeptides on sodium and water absorption in man. *Gut.*, 14:41-45, 1973.
- Henry, R.R., Crapo, P.A.& Thorburn, A.W. (1991). Current issues in fructose metabolism. *Annu Rev Nutr* , 11, 21-39.
- Hickner, R.C., Fisher, J.S., Hansen, P.A., Racette, S. B., Mier, C. M., & Turner, M. J. (1997). Muscle glycogen accumulation after endurance exercise in trained and untrained individuals, *J Appl Physiol* , 83 (3), 897-903.
- Hillier, T.A., Fryburg, D.A., Jahn, L.A., & Barrett, E.J. (1998). Extreme hyperinsulinemia unmasks insulin's effect to stimulate protein synthesis in the human forearm. *Am J Physiol* , 274, E1067-74.
- Hoffman, J.R. (2007). Protein Intake: Effect of Timing. *Strength Condit J*, 29, 26-34.
- Hoffman, J.R. & Falvo, M.J. (2004). Protein – which is best? , *Journal of Sports Science and Medicine* ,3, 118-130.

- Hoffman, J.R., Ratamess, N.A., Tranchina, C.P. Rashti, E.L. Kang, J. & Faigenbaum, A.D. (2009). Effect of Protein-Supplement Timing on Strength, Power, and Body-Composition Changes in Resistance-Trained Men *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19, 172-185.
- Hoffman, J.R., Ratamess, N.A., Kang, J., Falvo, M.J., & Faigenbaum, A.D. (2007). Effects of protein supplementation on muscular performance and resting hormonal changes in college football players. *Journal of Sports Science, and Medicine*, 6, 85–92.
- Horowitz, J.F & Coyle, E.F. (1993). Metabolic responses to pre-exercise meals containing various carbohydrates and fat. *Am J Clin Nutr* , 58, 235-241.
- Host, H.H., Hansen, P.A., Nolte, L.A., Chen, M.M. & Holloszy, J.O. (1998). Rapid reversal of adaptive increases in muscle GLUT-4 and glucose transport capacity after training cessation. *J Appl Physiol* , 84 (3), 798-802.
- Houmard, J.A., Shaw, C.D., Hickey, M.S., & Tanner, C.J.(1999). Effect of short-term exercise training on insulin-stimulated P13- kinase activity in human skeletal muscle. *Am J Physiol* , 277 (6 Pt 1), E1055-60.
- Hultman E. (1967). Physiological role of muscle glycogen in man, with special reference to exercise. *Circ Re*, 20-21 (1), I99-I114.
- Ivy JL. (1991). Muscle glycogen synthesis before and after exercise. *Sports Med* , 11, 6-19.
- Ivy JL.(1998). Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake. *Int J Sports Med* , 19, S142-5.
- Ivy J.(2004). Regulation of muscle glycogen repletion, muscle protein synthesis and repair following exercise. *J Sports Sci Med* , 3,131-38.
- Ivy, .JL., & Holloszy, J.O. (1981). Persistent increase in glucose uptake by rat skeletal muscle following exercise. *Am J Physiol* , 241 (5), C200-3.
- Ivy, J.L., Katz, A.L., Cutler, C.L., Sherman, W.M., & Coyle, E.F.(1988). Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* , 64 (4), 1480-5.
- Ivy, J.L., & Kuo, C.H. (1998). Regulation of GLUT4 protein and glycogen synthase during muscle glycogen synthesis after exercise. *Acta Physiol Scand*, 162, 295-304.

- Ivy, J.L., Lee, M.C., Brozinick, J.T., & Reed, M.J (1988). Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* , 65 (5), 2018-23.
- Ivy, J. L., Res, P. Sprague, R. & Widzer, M. (2003). Effect of a carbohydrate-protein supplement on endurance performance during exercise of varying intensity. *Inter. J. Sport Nutr. And Exerc. Metab.* 13, 388–401.
- Ivy, J.L., Goforth, H.W., Damon, B.D., McCauley, T.R., Parsons, E.C., & Price, T.B. (2002). Early post-exercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate–protein supplement. *Journal of Applied Physiology*, 93, 1337–1344.
- Jacobson, T. L., Febbraio, M. A., Arkininstall, M. J. & Hawley, J. A. (2001). Effect of Caffeine Co-Ingested with Carbohydrate or Fat on metabolism and performance in endurance-trained men. *Experimental Physiology*, 86, 137-144.
- Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M., Taylor, R.H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J.M. & Bowlinget, A.C. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr* , 34, 362-6.
- Jentjens, R.L., Cale, C., Gutch, C., & Jeukendrup, A.E. (2003). Effects of pre-exercise ingestion of differing amounts of carbohydrate on subsequent metabolism and cycling performance. *Eur J Appl Physiol* .88(4-5),444-52.
- Jentjens R, & Jeukendrup A. (2003). Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med.* , 33(2),117-44.
- Jentjens, R. L., & Jeukendrup, A. E. (2005a). High rates of exogenous carbohydrate oxidation from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. *Br. J. Nutr*, 93(4),485-492.
- Jentjens, R. L., Moseley, L. Waring, R. H. Harding, L. K & Jeukendrup, A. E (2004a). Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *J. Appl. Physiol*, 96(4), 1277-1284.
- Jentjens, R. L., C. Shaw, T. Birtles, R. H. Waring, L. K. Harding, & A. E. Jeukendrup (2005b). Oxidation of combined ingestion of glucose and sucrose during exercise. *Metabolism* ,54(5),610-618.
- Jentjens, R., L. Underwood, K., Achten, Currell, J.K. ,Mann, C.H. & Jeukendrup, A. E. (2006). Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.* 100(3), 807-816.
- Jentjens, R. L., Venables, M. C and Jeukendrup, A. E. (2004b). Oxidation of exogenous glucose, sucrose, and maltose during prolonged cycling exercise. *J. Appl. Physiol* ,96(4),1285-1291.

- Jeukendrup, A.E. (2003). Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment, *Biochemical Society Transactions*, 31, 1270–1273.
- Jeukendrup, A.E. (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*, 20, 669–677.
- Jeukendrup, A. (2007). Carbohydrate Supplementation during Exercise: Does it help? How much is too much? *Sports Science Exchange* 106, 20 (3).
- Jeukendrup, A. E., N. P. Craig, & J. A. Hawley (2000a). The bioenergetics of World Class Cycling. *J. Sci. Med. Sport* 3(4):414-433.
- Jeukendrup, A.E., & Jentjens, R. (2000 b). Oxidation of CHO feedings during prolonged exercise: Current thoughts, guidelines, and directions for future research. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 29, 407–424.
- Jeukendrup, A.E., Saris, W.H., Brouns, F., & Kester, A.D. (1996). A new validated endurance performance test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 266–270.
- Jeukendrup, A.E. Wagenmakers, J. H. Stegen, A. P. Gijzen, F. Brouns, F. & Saris WH. (1999). Carbohydrate ingestion can completely suppress endogenous glucose production during exercise. *Am. J. Physiol.* 276(4 Pt 1):E672-E683.
- Kaastra, B., Manders, R.J.F., van Breda, E., Kies, A., Jeukendrup, A.E., Keizer, H.A., et al. (2006). Effects of increasing insulin secretion on acute postexercise blood glucose disposal. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 268–275.
- Kawanaka, K., Tabata, I., Katsuta, S., & Higuchi, M. (1997). Changes insulin-stimulated glucose transport and GLUT-4 protein in rat skeletal muscle after training. *J Appl Physiol*, 83 (6), 2043-7 .
- Keizer, H., Kuipers, H. & van Kranenburg. G. (1987). Influence of liquid and solid meals on muscle glycogen resynthesis, plasma fuel hormone response, and maximal physical working capacity. *Int. J. Sports Med*, 8, 99-104.
- Kerksick, C.M., Rasmussen, C.J., Lancaster, S.L., Magu, B., Smith, P., & Melton, C. (2006). The effects of protein and amino acid supplementation on performance and training adaptations during ten weeks of resistance training. *J Strength Cond Res*, 2, 643-653.
- Kiens, B., Raben, B., Valeur, A.K., & Richter, E.A. (1990). Benefit of dietary simple carbohydrates on the early postexercise muscle glycogen repletion in male athletes [abstract 524]. *Med Sci Sports Exerc* 22 (Suppl. 4), S88.
- Kiens, B. & Richter, E.A. (1998). Utilization of skeletal muscle triacylglycerol during postexercise recovery in humans. *Am J Physiol*, 275, E332-7.

- Kirwan, J.P., del Aguila, L.F., Hernandez, J.M., David, L. & Williamson, D. (2000). Regular exercise enhances insulin activation of IRS-1-associated PI 3-kinase in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* , 88 (2), 797-803.
- Kirwan JP, Hickner RC, Yarasheski KE. et al. Eccentric exercise induces transient insulin resistance in healthy individuals. *J Appl Physiol* 1992; 72 (6): 2197-202
- Kochan, R.G., Lamb, D.R., & Lutz, S.A. (1979). Glycogen synthase activation in human skeletal muscle: effects of diet and exercise. *Am J Physiol* , 236 (6), E660-6.
- Koopman, R., Pannemans, D.L.E., Jeukendrup, A.E., Gijsen, A.P., Senden, J.M.G., Halliday, D., Saris, W.H.M., van Loon, L.J.C., & Wagenmakers, A.J.M. (2004). Combined ingestion of protein and carbohydrate improves protein balance during ultra-endurance exercise. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 287, E712–E720.
- Koopman, R., Wagenmakers, A. J. M., Manders, R. J. F., Zorenc, A. H. G. ,Senden, J. M. G., Gorselink, M., Keizer, H. A. & Van Loo, L. J. C. (2005). Combined ingestion of protein and free leucine with carbohydrate increases postexercise muscle protein synthesis in vivo in male subjects. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 288, E645–E653.
- Kraemer, W.J., Volek, J.S., Bush, J.A., Putukian, M., & Sebastianelli, W.J. (1998). Hormonal responses to consecutive days of heavy-resistance exercise with or without nutritional supplementation. *J Appl Physiol* , 85,1544-1555.
- Kraemer, W.J., Ratamess, N.A., Volek, J.S., Hakkinen, K., Rubin, M.R., French, D.N., Gomez, A.L., McGuigan, M.R., Scheet, T.P., Newton, R.U., Spiering, B.A., Izquierdo, M. & Dioguardi, F.S. (2006).The effects of amino acid supplementation on hormonal responses to overreaching. *Metabolis* ,555, 282-291.
- Kraniou, Y., Cameron-Smith, D., Misso, M., Collier, G., & Hargreaves, M. (2000). Effects of exercise on GLUT-4 and glycogenin gene expression in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* , 88 (2), 794-6.
- Kreider, R.B. (1998). Central fatigue hypothesis and overtraining. In Kreider RB, Fry AC, O'Toole M (editors), *Overtraining in Sport*. Champaign, Illinois: *Human Kinetics*, 309-31
- Kreider, R.B., Miriel, V., & Bertun, E. (1993). Aminoacid supplementation and exercise performance: proposed ergogenic value. *Sports Medicine*, 16, 190-209.
- Kuo, C.H., Browning, K.S. & Ivy, J.L. (1999). Regulation of GLUT-4 protein expression and glycogen storage after prolonged exercise. *Acta Physiol Scand* ,165, 193-201.

- Kuo, C.H., Hunt, D.G., Ding, Z., & Ivy, J.L. (1999). Effect of carbohydrate supplementation on postexercise GLUT-4 protein expression in skeletal muscle. *J Appl Physiol* , 87 (6), 2290-5 .
- Laurent, D., Hundal, R.S., Dresner, A., Price, T.B., Vogel, S.M., Petersen, K.F. & Shulman, G.I. (2000). Mechanism of muscle glycogen autoregulation in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* ,278 (4), E663-8.
- Lemon, P.W.R. (1998). Effects of exercise on dietary protein requirements. *mt. J. Sport Nuir* , 8,426-447.
- Levenhagen, D.K., Gresham, J.D., Carlson, M.G., Maron, D.J., Borel, M.J. & Flakol, P.J. (2001). Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 28, E982-E993.
- Luden, N.D., Saunders, M.J. & Todd. M.K. (2007). Post-exercise carbohydrate-protein-antioxidant ingestion decreases CK and muscle soreness in cross-country runners. *mt. J. Sports Nutr. Exerc. Metab.* 17,109-122.
- Lund, S., Holman, G.D., Schmitz, O., & Pedersen, O. (1995). Contraction stimulates translocation of glucose transporter GLUT-4 in skeletal muscle through a mechanism distinct from that of insulin. *Proc Natl Acad Sci U S A* , 92, 5817-21.
- McCoy, M., Proieto, J., & Hargreaves, M. (1996). Skeletal muscle GLUT-4 and postexercise muscle glycogen storage in humans. *J Appl Physiol* , 80 (2), 411-5.
- MacDougall, J.D., Ward, G.R., Sale, D.G., & Sutton, J. R. (1977). Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. *J Appl Physiol* , 42 (2), 129-32.
- MacLean, D.A., Graham, T.E. & Saltin, B. (1996). Stimulation of muscle ammonia production during exercise following branched chain amino acid supplementation in humans. *J. Physiol. (Lond.)*. 493:902-922.
- MacLean, P.S., Zheng, D., & Dohm, G.L. (2000). Muscle glucose transporter (GLUT 4) gene expression during exercise. *Exerc Sport Sci Rev* , 28 (4), 148-52.
- Madsen, K., MacLean, D.A., Kiens, B. & Christiansen, D. (1996). Effects of glucose, glucose plus branched-chain amino acids, or placebo on bike performance over 100km. *J. Appl. Physiol.*, 81(6),2644-2650.

- Maehlum S, Felig P, & Wahren J. (1978). Splanchnic glucose and muscle glycogen metabolism after glucose feeding during post exercise recovery. *Am J Physiol* , 4 (3), E255-60.
- Maehlum S, & Hermansen L. (1978). Muscle glycogen concentration during recovery after prolonged severe exercise in fasting subjects. *Scand J Clin Lab Invest* , 38(6), 557-60.
- Maehlum, S., Hostmark, A.T., & Hermansen, L. (1977). Synthesis of muscle glycogen during recovery after prolonged severe exercise in diabetic and non-diabetic subjects. *Scand J Clin Lab Invest* , 37, 309-16.
- Manninen, A. H. (2004). Protein Hydrolysates In Sports And Exercise: A Brief Review. *Journal of Sports Science and Medicine* 3, 60-63.
- Mayes, P.A. (1993). Intermediary metabolism of fructose. *Am J Clin - Nutr* , 58, 754S-65S.
- Millard-Stafford, M., Warren, G. Thomas, L., Doyle, J. Snow, T. & Hitchcock., K. (2005). Recovery from run training: efficacy of a carbohydrate-protein beverage? *mt. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 15,610-624.
- Miller, S.L., Maresh, C.M., Armstrong, L.E., Ebbeling, C.B., Lennon, S. & Rodriguez, N.R. (2002). Metabolic response to provision of mixed protein-carbohydrate supplementation during endurance exercise. *mt. J. Sport Nutr Exerc. Metab.* 12(4), 384-397.
- Miller, S.L., Tipton, K.D., Chinkes ,D.L. Wolf, S.E & Wolfe, R.R. (2003). Independent and combined effects of amino acids and glucose after resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35,449-455.
- Mitchell, J.B., & Voss. K.W. (1991). The influence of volume of fluid ingested on gastric emptying and fluid balance during prolonged exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23,314- 319.
- Minuchin, P. (2006). Manual de nutrición aplicados al deporte. Buenos Aires. Nobuko.
- Montell E, Arias, A. & Gómez-Foix, A.M. (1999). Glycogen depletion rather than glucose 6-P increments controls early glycogen recovery in human cultured muscle. *Am J Physiol* , 27, R1489-95.
- Moodley, D., Noakes, T.D., Bosch, A.N., Hawley, J.A. , Schall, R. & Dennis, S.C. (1992). Oxidation of exogenous carbohydrate during prolonged exercise: the effects of the carbohydrate type and its concentration. *Eur J Appl Physiol* , 64 (4), 328-34.

- Moore, R.W., Saunders, M.J., Pratt, C.A., Hammer, M.C., Lehman, K.L., Todd, K., Flohr, J.A. & Kies, A.K. (2007). Improved time to exhaustion with carbohydrate-protein hydrolysate beverage. *Med.Sci.Sports Exerc.* 39, Suppl.:S89-S90.
- Mueckler, M. (1994). Facilitative glucose transporters. *Eur. J. Biochem*, 219, 713-725.
- Naclerio, F.J. (2007). Utilización de las Proteínas y Aminoácidos como Suplementos o Integradores Dietéticos. *PubliCE Standard*. Pid: 766.
- Nakatani, A., Han, H.D., Hansen, P.A., Nolte, L.A. Host, H.H., Hickner, R.C & Holloszy, J.O. (1997). Effect of endurance exercise training on muscle glycogen supercompensation in rats. *J Appl Physiol* , 82, 711-5.
- Newsholme, E.A., Acworth, I.N. & Blomstrand, E. (1987). Amino acids, brain neurotransmitters and a functional link between muscle and brain that is important in sustained exercise. In: *Advances in Myochemistry* G Benzi (Ed.). London: John Libby Eurotext, pp. 127-147.
- Newsholme, E.A., Parry-Billings, M., McAndrew, M. et al. (1991). Biochemical mechanism to explain some characteristics of overtraining. In Brouns F (editor): *Medical Sports Science, Vol. 32, Advances in Nutrition and Top Sport* (pages 79-93). Basel, Germany: Karger. 1991.
- Nielsen, J.N., Derave, W., Kristiansen, S., Ralston, E., Ploug, T., & Richter, E.A. (2001). Glycogen synthase localization and activity in rat skeletal muscle is strongly dependent on glycogen content. *J Physiol* , 531 (Pt 3),757-69.
- Niles, E.S., Lachowetz, T., Garfi, J., Sullivan, W., Smith, J.C., Leyh, B.P., & Headley, S.A. (2001). Carbohydrate-protein drink improves time to exhaustion after recovery from endurance exercise. *Journal of Exercise Physiology*, 4, 45-52.
- Nilsson, L.H., & Hultman, E. (1974). Liver and muscle glycogen in man after glucose and fructose infusion. *Scand J Clin Lab Invest* , 33, 5-10.
- Nuttall, F.Q., Mooradian, A.D., Gannon, M.C. Billington, C.J., & Krezowski, P.A. (1984). Effect of protein ingestion on the glucose and insulin response to a standardized oral glucose load. *Diabetes Care* , 7 (5), 465-70 .
- O'Reilly, K.P, Warhol, M.J. , Fielding, R.A. , Frontera, W.R, Meredith, C.N., & Evans, W.J. (1987). Eccentric exercise-induced muscle damage impairs muscle glycogen repletion. *J Appl Physiol* , 63 (1), 252-6.
- Osterberg, K.L., Zachwieja, J.J., & Smith, J.W. (2008). Carbohydrate and carbohydrate + protein for cycling time-trial performance. *Journal of Sports Sciences*, 26, 227-233.

- Parkin, J.A., Carey, M.F., Martin, I.K., Sojanovska, I., & Febbraio, M.A. (1997). Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. *Med Sci Sports Exerc* , 29 (2),220-4.
- Pascoe, D.D. & Gladden, L.B.(1996). Muscle glycogen resynthesis after short term, high intensity exercise and resistance exercise. *Sports Med*, 21 (2), 98-118 .
- Pérez-Guisado, J. (2009). Importancia del momento en que se realiza la ingestión de los nutrientes. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, vol. 9 (33), 14-24.
- Phillips, S.M., Atkinson, S.A., Tamopolsky, M.A. & MacDougall, J.D. (1993). Gender differences in leucine kinetics and nitrogen balance in endurance athletes. *J. Appl. Physiol.* 75, 2134-2141.
- Phillips, S.M., Han, X.X., Green, H.J., & Bonen, A. (1996).. Increments in skeletal muscle GLUT-1 and GLUT-4 after endurance training in humans. *Am J Physiol* , 270, E456-62 .
- Phillips, S.M., Parise, G., Roy, B.D., Tipton, K.D., Wolfe, R.R., & Tamopolsky, M.A. (2002). Resistance training-induced adaptations in skeletal muscle protein turnover in the fed state. *Can J Physiol Pharmacol.* ,80(11),1045-53.
- Phillips, S.M., Tipton, K.D., Aarsland, A., Wolf, S.E & Wolfe, R.R.(1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol*, 273(1 Pt 1).
- Phillips, S.M., Tipton, K.D., Ferrando, A.A. & R.R. Wolfe, R.R. (1999). Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. *Am. J. Physiol*, 276, E118-E124.
- Piehl, K. (1974). Time course for refilling of glycogen stores in human muscle fibres following exercise-induced glycogen depletion. *Acta Physiol Scand* , 90, 297-302 .
- Piehl, K., Adolfsson, S., & Nazar, K. (1974). Glycogen storage and glycogen synthase activity in trained and untrained muscle of man. *Acta Physiol Scand* , 90, 779-88.
- Piehl, K, Soderlund, K. & Hultman, E. (2000). Muscle glycogen resynthesis rate in humans after supplementation of drinks containing carbohydrates with low and high molecular masses. *Eur J Appl Physiol* , 81(4), 346-51.
- Pirnay, F., Crielaard, J. M. Pallikarakis, N., Lacroix, M., Mosora, F., Krzentowski, G. Luyckx, A.S. & Lefebvre, P.J. (1982). Fate of exogenous glucose during exercise of different intensities in humans. *J. Appl. Physiol*, 53,1620-1624.

- Price, T.B., Rothman, D.L., Taylor, R., et al. (1994). Human muscle glycogen resynthesis after exercise: insulin-dependent and -independent phases. *J Appl Physiol* , 76, 104-11.
- Price, T.B., Laurent, D., Petersen, K.F, Douglas, L. Rothman, L, & Gerald, I.. (2000). Glycogen loading alters muscle glycogen resynthesis after exercise, *J Appl Physiol* , 88 (2), 698-704.
- Rabinowitz , D. , Merimee, T.J., Maffezzoli, R., & Burgess, J.A. (1966). Patterns of hormonal release after glucose, protein, and glucose plus protein. *Lancet* , II: 454-6 .
- Radziuk, J. & Bondy, D.C. (1982). Abnormal oral glucose tolerance and glucose malabsorption after vagotomy and pyloroplasty. *Gastroenterology* , 83, 1017-25.
- Rasmussen, B.B., Tipton, K.D., Miller, S.L., Wolf, S. & Wolfe, R. (2000). An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. *J Appl Physiol*, 88, 386-392.
- Rasmussen, B.B., K.D. Tipton, S.L. Miller, S.E. & J. Senterre. Nutritional evaluation of protein hydrolysate formulas. *Eur. J. Clin. Nutr.* 49(Suppl. 1):S26-S38, 1995.
- Ratamess, N.A., Kraemer, W.J., Volek, J.S., Rubin, M.R., Gomez, A.L., French, D.N., et al. (2003). The effects of amino acid supplementation on muscular performance during resistance training overreaching. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17,250–258.
- Ready, S. L., Seifert, J.G. & Burke, E. (1999). The effect of two sports drink formulations on muscle stress and performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31, S124 .
- Reed, M.J., Brozlnick, J.T. Jr, Lee, M.C. & Ivy, J.L. (1989). Muscle glycogen storage postexercise: Effect on mode of carbohydrate administration. *Journal of Applied Physiology*, 66, 720-6.
- Rehrer, N., Brouns, F., Beckers, E.J., et al. (1994). The influence of beverage composition and gastrointestinal function on fluid and nutrient availability during exercise. *Scand J Med Sci Sports* , 4, 159-72 .
- Rehrer, N. J., van Kemenade, M., Meester, W., Brouns, F. & Saris, W. H. M. (1992a). Gastrointestinal complaints in relation to dietary intake in triathletes. *Int. J. Sport Nutr*, 2, 48-59.

- Rehrer, N.J., Wagenmakers, A.J.M., Beckers, E.J., Halliday, D., Leiper, J.B., Brouns, F., Maughan, R.J. & Westerterp, K. (1992). Gastric emptying, absorption and carbohydrate oxidation during prolonged exercise. *J Appl Physiol*, 72, 468-75.
- Ren, J.M., Marshall, B.A., Gulve, E.A., Gao, J., Johnson, D.W., Holloszy, J.O. & Mueckler, M. (1993). Evidence from transgenic mice that glucose transport is rate-limiting for glycogen deposition and glycogen deposition and glycolysis in skeletal muscle. *J Biol Chem*, 268 (22), 16113-5.
- Ren JM, Semenkovich CF, Gulve EA, Gao, J. & Holloszy, J.O. (1994). Exercise induces rapid increases in GLUT-4 expression, glucose transport capacity, and insulin-stimulated glycogen storage in muscle. *J Biol Chem*, 269 (20), 14396-401.
- Richter, E.A., Derave, W., & Wojtaszewski, J.F.P. (2001). Glucose, exercise and insulin: emerging concepts. *J Physiol*, 535 (2), 313-22.
- Richter, E., Mikines, A., K. J., Galbo, H. & Kiens, B. (1989). Effect of exercise on insulin action in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 66:876–885.
- Robergs RA. (1991). Nutrition and exercise determinants of postexercise glycogen synthesis. *Int J Sport Nutr*, 1, 307-37.
- Roch-Norlund, A.E., Bergstrom, J., & Hultman, E. (1972). Muscle glycogen and glycogen synthetase in normal subjects and in patients with diabetes mellitus: effect of intravenous glucose and insulin administration. *Scand J Clin Lab Invest*, 30 (1), 77-84.
- Rollo, I. & Williams, C. (2009). Influence of Ingesting a Carbohydrate-Electrolyte Solution Before and During a 1-hr Running Performance Test. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19, 645-658.
- Rollo, I., Williams, C., & Nevill, M. (2010). Influence of Ingesting Versus Mouth-Rinsing a Carbohydrate Solution during a 1 H Run. *Med Sci Sports Exerc.* 2.
- Romano-Ely, B.C., Todd, M.K., Saunders, M.J., & Laurent, T.S. (2006). Effect of an isocaloric carbohydrate-protein-antioxidant drink on cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 1608–1616.
- Romijn, J.A., Coyle, E.F., Sidossis, L.S., Gastaldelli, A., Horowitz, J.F., Endert, E., & Wolfe, R.R. (1993). Regulation of endogenous fat in carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol*, 265, E380-91.

- Rose, A.J., Howlett, K., King, D.S., & Hargreaves, M. (2001). Effect of prior exercise on glucose metabolism in trained men. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 281 (4), E766-71.
- Rotman, S., Slotboom, J., Kreis, R., Boesch, C., & Jequier, E. (2000). Muscle glycogen recovery after exercise measured by ¹³C-magnetic resonance spectroscopy in humans: Effect of nutritional solutions. *Magnetic Resonance Materials in Physics. Biologie Medicale*, 11, 114–121.
- Roy, B.D., Tarnopolsky, M.A., MacDougall, J.D., Fowles, J. & Yarasheski, K.E. (1997). Effect of glucose supplementation timing on protein metabolism after resistance training. *J Appl Physiol*, 82, 1882-1888.
- Roy, B.D., & Tarnopolsky, M.A. (1998). Influence of differing macronutrient intakes on muscle glycogen resynthesis after resistance exercise *J Appl Physiol*, 84, 890-896.
- Saris, W. H., van Erp-Baart, M., Brouns, F. Westerbeek, K. R. & Ten Hoor, F. (1989). Study on food intake and energy expenditure during extreme sustained exercise: the Tour de France. *Int. J. Sports Med.* 10(suppl.1):S26-S31.
- Saunders, M.J. (2007). Coingestion of carbohydrate-protein during endurance exercise: Influence on performance and recovery. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17, S87–S103.
- Saunders, M.J., Kane, M.D., & Todd, M.K. (2004). Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1233–1238.
- Saunders, M.J., Luden, N.D., & Herrick, J.E. (2007). Consumption of an oral carbohydrate-protein gel improves cycling endurance and prevents post-exercise muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 678–684.
- Saunders, M.J., Luden, N.D., Pratt, C.A. & Moore, R.W.. (2006). Carbohydrate and protein hydrolysate beverage improves late-race cycling performance and prevents post-exercise muscle damage. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 3(1):S20.
- Saunders, M., Moore, R., Kies, A.K., Luden, N.D. & Pratt, C.A. (2009): Carbohydrate and Protein Hydrolysate: Coingestion's improvement of Late-Exercise Time-Trial Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19, 136-149.
- Sawka, M.N., Burke, L.M., Eichner, E.R., Maughan, R.J., Montain, S.J., & Stachenfeld, N.S. (2007). American college of sports medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sport Exerc*, 39 (2), 377-90.

- Scheerer, J.D., Amaral, J.F., & Caldwell, M.D.(1988). Glucose metabolism of injured skeletal muscle: the contribution of inflammatory cells. *Circ Shock* , 25, 131-8.
- Schedl, H. P., Muaghan, R.J. & Gisolfi, C.B. (1994). Intestinal absorption during rest and exercise: implications for formulating an oral rehydration solution (ors). *Med. Sci. Sports Exerc.* 2,:267–280.
- Seifert, J., Hannon, J. & DeClercq, P. (2005). Protein added to a sports drink improves fluid retention. *mt. J. Sports Nutr. Exerc. Metab.* 16, 420-429.
- Sener, A., & Malaisse, W.J. (1980). L-leucine and a nonmetabolized analogue activate pancreatic islet glutamate dehydrogenase. *Nature*, 288 (5787), 187-9.
- Sheffield-Moore, M., Yeckel, C.W., Volpi, E. & Wolf, S.E. (2004). Postexercise protein metabolism in older and younger men following moderate-intensity aerobic exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 287:E513-E522.
- Sherrnan, W.M., Costill, D.L., Fink, W.J., & Miller, J.M. (1981). Effect of exercise diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilisation during performance. *Int J Sports Med* , 2, 114-8.
- Shimomura, Y., Yamamoto, Y., Bajotto, G., Sato, J., Murakami, T., Shimomura, N., et al. (2006). Nutraceutical effects of branched-chain amino acids on skeletal muscle. *The Journal of Nutrition*, 136, 529S–532S.
- Skillen, R. A., Testa, M., Applegate, E.A. Heiden, E.A., Fascetti, A.J. & Casazza , G.A.(2008): Effects of an Amino Acid–Carbohydrate Drink on Exercise Performance After Consecutive-Day Exercise Bouts. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18, 473-492.
- Smith, L.L. (1991). Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness? *Med Sci Sports*, 23 (5), 542-51.
- Smythe, C., & Cohen P. (1991). The discovery of glycogenin and the priming mechanism for glycogen biogenesis. *Eur J Biochem*, 200 (3), 625-31.
- Smythe, C., Watt, P., & Cohen, P. (1990). Further studies on the role of glycogenin in glycogen biosynthesis. *Eur J Biochem* , 189 (1), 199-204.
- St. Laurent, T.G., Todd, M.K. Saunders, M.J., Valentine, R.J. & Flohr, J.A. (2006). Carbohydrate-protein beverage improves muscle damage and function versus isocarbohydrate and isocaloric carbohydrate-only beverages. *Med. Sci. Sports Exerc* ,38,(5),S340.
- Stevens, B.R., Ross, H.J., & Wright. E.M. (1982). Multiple transport pathways for neutral amino acids in rabbit jejunal brush border vesicles. *J. Membr. Biol*, 66, 213-225.

- Tarnopolsky, M.A., Bosman, M., Macdonald, J.R., Vandeputte, D., Martin, J. & Roy, B.D. (1997). Postexercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J Appl Physiol*, 83,1877-1883.
- Tarnopolsky, M.A., Gibala, M., Jeukendrup, A.E. & Philips, S.M. (2005). Nutritional needs of elite endurance athletes. part 1: carbohydrate and fluid requirements. *Eur J. Sport Sci.*, 5(1), 3-14.
- Tarnopolsky, M.A., Roy, B.D., & MacDonald, J.R. (1997). A randomized, controlled trial of creatine monohydrate in patients with mitochondrial cytopathies. *Muscle Nerve*, 20, 1502–1509.
- Tarnopolsky, M., Zimmer, A., Paikin, J., Safdar, A., Aboud, A., Pearce, E., et al. (2007). Creatine monohydrate and conjugated linoleic acid improve strength and body composition following resistance exercise in older adults. *PLoS Hub for Clinical Trials*, 2, e991.
- Thorell, A., Hirshman, M. F., Nygren, J., Jorfeldt, L., Wojtaszewski, J. F., Dufresne, S. D., Horton, E. S., Ljungqvist, O., & Goodyear, L. J. (1999). Exercise and insulin cause GLUT-4 translocation in human skeletal muscle. *Am J Physiol*, 277 (4 Pt 1), E733-41.
- Tipton, K.D., Ferrando, A.A., Phillips, S.M. Doyle Jr., D. & Wolfe. R.R. (1999). Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 276, E628-E634.
- Tipton, K.D., Gurkin, B.E., Matin, S. & Wolfe, R.R. (1999). Nonsessential amino acids are not necessary to stimulate net muscle protein synthesis in healthy volunteers. *J Nutr Biochem*, 10, 89-95.
- Tipton, K.D., Elliott, T.A., Cree, M.G. Aarsland, A.A., Sanford, A.P. & Wolfe, R.R. (2007). Stimulation of net muscle protein synthesis by whey protein ingestion before and after exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 292,E71-E76.
- Tipton, K.D., Elliot, T.A., Cree, M.G., Wolf, S.E., Sanford, A.P., & Wolf, R.R. (2004). Ingestion of casein and whey proteins result in muscle anabolism after resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 2073–2081.
- Tipton, K.D., Rasmussen, B.B., Miller, S.L., Wolf, S.E., Owens-Stovall, S.K., Petrini, B.E. & Wolfe, R.R., (2001) . Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 281, E197–E206.
- Tipton, K.D. & R.R. Wolfe, R.R. (2004). Protein and amino acids for athletes. *J. Sports Sci.* 22 (1), 65-79.

- Toone, R. & Betts, J. (2010). Isocaloric Carbohydrate Versus Carbohydrate-Protein Ingestion and Cycling Time-Trial Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20, 34-43.
- Tsintzas, K., Liu, R., Williams, C., Cambeil, L. & Gaitano, G. (1993). The effect of carbohydrate ingestion on performance during a 30-km race. *mt. J. Sport Nutr*, 3(2),127-139.
- Tsintzas, K. & Williams, C. (1998). Human muscle glycogen metabolism during exercise: Effect of carbohydrate supplementation *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 25, 7-23.
- Tsintzas, O.K., Williams, C., Boobis, L., & Greenhaff, P.L. (1995). Carbohydrate ingestion and glycogen utilization in different muscle fibre types in man. *The Journal of Physiology*, 489, 243-250.
- Valentine, R.J., Saunders, M.J., Todd, M.K., & St Laurent, T.G. (2008). Influence of carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and indices of muscle disruption. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18, 363-378.
- Vamier, M., Surto, P., & Martines, D. (1994). Effect of infusing branched-chain amino acid during incremental exercise with reduced muscle glycogen content. *Eur J. Appl. Physiol.*, 69,26-31.
- Van den Bergh, A.J., Houtman, S., Heerschap, A., & Reher, N.J.(1996). Muscle glycogen recovery after exercise during glucose and fructose intake monitored by ¹³C-NMR. *J Appl Physiol.*, 81(4), 1495-500.
- Van Essen, M., & Gibala, M.J. (2006). Failure of protein to improve time trial performance when added to a sports drink. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 1476-1483.
- Van Hall, G., MacLean, D.A., Saltin, B. & Wagenmakers, A.J. (1996). Mechanisms of activation of muscle branched-chain alpha-keto acid dehydrogenase during exercise in man. *J. Physiol.*, 494(3), 899-905.
- Van Hall, G., Raaymakers, J.S.H Saris, W.H.M. & Wagenmakers, A.J.M (1995). Ingestion of branched-chain amino acids and tryptophan during sustained exercise in man: failure to affect performance. *J. Physiol. (Lond.)*, 48, 789-794.
- Van Hall, G., Saris, W.H.M., van de Schoor, P.A.I., & Wagenmakers, A.J. (2000a). The effect of free glutamine and peptide ingestion on the rate of muscle glycogen resynthesis in man. *International Journal of Sports Medicine*, 21, 25-30.

- Van Hall, G., Shirreffs, S.M., & Calbet, J.A. (2000b). Muscle glycogen resynthesis during recovery from cycle exercise: No effect of additional protein ingestion. *Journal of Applied Physiology*, 88, 1631–1636.
- Van Loon, L.J., Kies, A.K. & Saris, W.H. (2007). Protein and Protein Hydrolysates in Sports Nutrition. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17, S1-S4.
- Van Loon, L.J.C., Kruijshoop, M., Verhagen, H., Saris, W.H.M., & Wagenmakers, A.J.M. (2000a). Ingestion of protein hydrolysate and amino acid-carbohydrate mixtures increases postexercise plasma insulin responses in men. *The Journal of Nutrition*, 130, 2508–2513.
- Van Loon, L.J., Saris, W.H., Kruijshoop, M., & Wagenmakers, A.J. (2000b). Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: Carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72, 106–111.
- Van Loon, L.J., Saris, W.H.M., Verhagen, H. & Wagenmakers, A.J. (2000c). Plasma insulin responses after ingestion of different amino acid or protein mixtures with carbohydrate. *American Journal of Clinical Nutrition* 72, 96-105.
- van Nieuwenhoven, M.A., Brouns, F., & Kovacs, E.M. (2005). The effect of two sports drinks and water on GI complaints and performance during an 18-km run. *Int J Sports Med.* ,26(4),281-5.
- Verger, P.H., Aymard, P., Cynobert, L., G. Anton, G. & Luigi, R. (1994). Effects of administration of branched-chain amino acids vs. glucose during acute exercise in the rat. *Physiol. Behav.* 55(3), 523-556.
- Villegas, J.A., Martínez, M.T., Pérez, E., Abellán, P., Vidal, M., Alemán, J., & Daoud, R. (2001). Investigación de una bebida para después de la práctica deportiva. II Congreso of the European Federation of Sports Medicine. Oviedo (España).
- Vollestad, N.K., Blom, P.C.S., & Gronnerod, O. (1989). Resynthesis of glycogen in different muscle fibre types after prolonged exhaustive exercise in man. *Acta Physiol Scand*, 137, 15-21.
- Wagenmakers, A.J.M. (1998). Muscle amino acid metabolism at rest and during exercise: role in human physiology and metabolism. *Exerc. Sport Sci. Rev.* ,26,287-3 14.
- Wagenmakers A J, Beckers, E. J., Brouns, F., . Kuipers, Soeters P.B., Van der Vusse G.J. & Saris, W.H. (1991). Carbohydrate supplementation, glycogen depletion, and amino acid metabolism during exercise. *Am. J. Physiol. Endocrino. Metab.* 26, E883-E890.

- Wagenmakers, A.J., Brookes, J.H. Coakley, J.H., Reilly, T. & Edward, R.H. (1989). Exercise-induced activation of the branched-chain 2-oxo acid dehydrogenase in human muscle. *Eur J. Appl. Physiol*, 59, 159-167.
- Wallis, G. A., Yeo, S.E., Blannin, A.K. & Jeukendrup, A.E. (2007). Dose-response effects of ingested carbohydrate on exercise metabolism in women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39(1), 131-138.
- Watson, R.T., Kanzaki, M., & Pessin, J.E. (2004). Regulated membrane trafficking of the insulin-responsive glucose transporter 4 in adipocytes. *Endocr Rev.* 25,177-204.
- Widrick, J. J., Costill, D. L., Fink, W. J., Hickey, M. S., McConell, G. K., & Tanaka, H. (1993). Carbohydrate feedings and exercise performance: effect of initial glycogen concentration. *J Appl Physiol*, 7, 2998-3005.
- Wilber, R.L., & Moffat, R.J. (1992). Influence of carbohydrate ingestion on blood glucose and performance in runners. *Int. J. Sports Nutr.*, 317-327.
- Wilkinson, S.B., Tarnopolsky, M.A. Macdonald, M.J., MacDonald, J.R., Armstrong, D. & Phillips. S.M. (2007). Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. *Am. J. Clin. Nutr.* 85, 1031-1040.
- Williams, M., Ivy, J. & Raven. P. (1999). Effects of recovery drinks after prolonged glycogen-depletion exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31, S124.
- Williams, M.B., Rayen, P.B., Fogt, D.L. & Ivy. J.L. (2003). Effects of recovery beverages on glycogen restoration and endurance exercise performance. *J. Strength Cond. Res.* 1, 12-19.
- Willoughby, D.S., Stout, J.S., & Wilborn, C.D. (2007). Effects of resistance training and protein plus amino acid supplementation on muscle anabolism, mass and strength. *Amino Acids*, 32, 467-477.
- Wojtaszewski, J.F., Hansen, B.F, Gade, J., Kiens, B., Markuns, J., Goodyear, L.J., & Richter, E.A. (2000). Insulin signalling and insulin sensitivity after exercise in human skeletal muscle. *Diabetes*. 49 (3), 325-31.
- Wolever, T.M.S., Jenkins, D.J.A., Jenkins, A.L. & Josse, R.G. (1991). The glycemic index: methodology and clinical implications. *Am J Clin Nutr*, 54, 846-54.
- Wolfe, R.R., Goodenough, R. D., Wolfe, M.H Royle, G.T. & Nadel, E.R. (1982) Isotopic analysis of leucine and urea metabolism in exercising humans. *J. Appl. Physiol.* 52, 458- 466.

Yan, Z., Spencer, M.K., & Katz, A. (1992). Effect of low glycogen on glycogen synthase in human muscle during and after exercise. *Acta Physiol Scand*, 145, 345-52.

Zachwieja, J. (1996). Protein: power or puffery? GSSI. Hot Topics. *J. Physiol*, 493, 909-922.

Zachwieja, J.J, Costill, D.L. & Pascoe, D.D.(1991). Influence of muscle glycogen depletion on the rate of resynthesis. *Med Sci Sports Exerc*, 23(1), 44-8.

Zawadzki, K.M., Yaspelkis, B.B., & Ivy, J.L. (1992). Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *Journal of Applied Physiology*, 72, 1854-1859.

Journal of Human Sport and Exercise *online*

J. Hum. Sport Exerc.

Official Journal of the Area of Physical Education and Sport.

Faculty of Education. University of Alicante. Spain

ISSN 1988-5202 / DOI: 10.4100/jhse

An International Electronic Journal

Volume 5 Number 2 May 2010

Research Article

INFLUENCE OF INGESTING CASEIN PROTEIN AND WHEY PROTEIN CARBOHYDRATE BEVERAGES ON RECOVERY AND PERFORMANCE OF AN ENDURANCE CYCLING TEST

Cepero M¹ , Padial R¹, Rojas FJ², Geerlings A³, De la Cruz JC¹ and Boza JJ³

¹Universidad de Granada. Facultad de Ciencias de la Educación. ²Universidad de Granada. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. ³Puleva Biotech

Received: 9 April 2010; received in revised form: 15 May 2010; accepted: 20 May 2010

ABSTRACT

The main aim of this study was to determine if short-term post exercise recovery, cycling performance and blood analysis were altered when consuming three different beverages with the same amounts of calories, a carbohydrate-only beverage (CHO, 9% carbohydrate) a carbohydrate and casein protein beverage (CHO+Pc, 7% carbohydrate and 2% protein) and a carbohydrate and whey hydrolyzed drink (CHO+Pw, 7% + 2 %). Fifteen male cyclists ($VO_{2peak} = 63.4 \pm 9.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) performed three trials using a randomly counterbalanced, double-blind design. In each trial one litre of one of the test drinks was consumed in fasting conditions after 1 hour ride at 75% VO_{2peak} . After a two hours recovery period the cyclists rode 20 km at the rider's maximum speed for this distance. The results showed no significant differences in the 20-km ride when consuming the CHO (1770±210 s), the CHO+Pc drink (1819±185 s) or the CHO+Pw (1803±201). Post-exercise creatine kinase (CK) was not significantly different between treatments. However, serum insulin concentrations were higher during recovery when CHO+Pc and CHO+Pw beverages were consumed ($P < 0.05$). Glucagon and lactic acid levels increased more on the CHO than on the CHO+Pc and CHO+Pw treatments ($P < 0.05$) at the end of the 20 km test. Within the context of this experimental design, the CHO+Pc and CHO+Pw beverages showed different physiological effects than the CHO drink. One purported mechanism indicates muscle glycogen re-synthesis is enhanced when protein is added to a CHO recovery formula. The CHO+Pw and CHO+Pc drinks could be recommended for improving recuperation from intensive exercise. Although this was not reflected in post-recovery exercise performance in this 20 km test, a harder or longer test may be more affected by the physiological parameters especially in the last kilometres of the test.

Key words: whey protein, casein protein, recovery, cycling performance

Reference Data: Cepero M, Padial R, Rojas FJ, Geerlings A, De la Cruz JC, & Boza JJ. Influence of ingesting casein protein and whey protein carbohydrate beverages on recovery and performance of an endurance cycling test. *J. Hum. Sport Exerc.* 2010; 5(2):158-175.

 **Corresponding author.** Mar Cepero González. Facultad de Ciencias de la Educación, Campus La Cartuja s/n, Universidad de Granada, 18071 Granada (Spain)

E-mail: mcepero@ugr.es

© 2010 University of Alicante. Faculty of Education.

DOI:10.4100/jhse.2010.52.06

INTRODUCTION

Sports nutrition is a complex concept, with characteristics that are unique to each sporting event and each athlete. Although most athletes can satisfy their nutritional requirements before and/or after exercise, long-duration activities require that participants also address their nutritional needs during exercise. Endurance exercise promotes vast increases in energy utilization, with significant increases in carbohydrate and fat oxidation rates. Sizable losses of fluid and electrolytes from sweat may also occur, particularly during prolonged exercise in the heat. As a result, inadequate fluid and nutrient intake during endurance exercise can lead to dehydration, hyponatremia, glycogen depletion, hypoglycemia, and impaired performance. In addition, nutritional deficiencies during prolonged activity may limit the capacity for rapid recovery after exercise, which may affect subsequent performance (Saunders et al., 2009).

Numerous studies have investigated the different nutritional approaches to minimize these issues, resulting in various nutritional strategies that elicit positive effects for endurance athletes. One of the commonest strategies carried out is the consumption of sports beverages containing carbohydrate and electrolytes. These beverages promote the fluid balance and euglycemia and augment performance during prolonged endurance activities (Jeukendrup et al., 1996). Traditional guidelines suggest ingesting sports beverages with 4-8% carbohydrates at regular intervals during exercise to provide approximately 600-1400 ml of fluid and 30-60 g of carbohydrates per hour (American College of Sport Medicine, 2006).

Another nutritional strategy, more and more used by athletes, that improves the endurance exercise performance and reduces the muscle damage indicators and improves recovery after exercise, is the utilization of carbohydrate-protein beverages (CHO +Pro).

It is well accepted that strength and power athletes have a protein requirement that might be at least twice that of sedentary individuals and perhaps 30–50% greater than that of endurance athletes (Lemon et al., 1992; Tarnopolsky et al., 1992). The greater amount of protein needed by these athletes is thought to enhance the recovery and remodeling processes of muscle fibers that have been damaged or disrupted during resistance exercise (Tipton et al., 2007).

Recent investigations have reported a reduction in muscle damage, attenuation of force decrements, and enhanced recovery from resistance exercise in individuals using protein and/or amino acid supplements (Kraemer et al., 2006; Ratamess et al., 2003).

Carbohydrate–protein (CHO+Pro) supplements consumed during prolonged exercise have been reported to improve time to fatigue in a number of recent studies (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2004; Saunders et al., 2007).

In each of those studies, CHO+Pro treatments were compared with carbohydrate (CHO) treatments matched for carbohydrate content, but not total caloric content, suggesting that adding protein to a typical carbohydrate sports drink (6–8% CHO) can improve endurance.

Romano-Ely et al. (2006), however, reported no differences in time to exhaustion between isocaloric CHO+Pro and CHO beverages. This suggests that a primary factor for the benefits of CHO+Pro is the additional availability of calories in CHO+Pro beverages. These findings could alternatively support a protein-mediated benefit of CHO+Pro ingestion, because performance in the CHO+Pro trial equaled that in the CHO trial, despite 20% lower carbohydrate content in the CHO+Pro beverage.

Previous studies reporting ergogenic effects of CHO+Pro compared beverages delivered at rates of 37–47 g CHO/hr (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2004, 2007), below the maximal oxidation rates of exogenous carbohydrate. Thus, it is unclear whether adding protein to a beverage containing carbohydrate provided at peak exogenous oxidation rates (60–90 g CHO/hr; Jentjens, et al., 2004) will elicit further improvements in performance.

Williams et al. (2003), reported marked increases in blood glucose, insulin response and glycogen storage with carbohydrate-protein (CHO+P) supplementation, indicating the potential to improve time trial performance and recovery. In this study, the beverages were mixed according to the manufacturer's directions, and the CHO+P beverage contained more carbohydrate and total calories than the carbohydrate-only (CHO) beverage. These factors suggest that the reported benefits may be independent of the protein that was added to the beverages.

Ivy et al. (2003) and Saunders et al. (2004) compared CHO and (CHO+P) beverages that were matched for carbohydrate calories. A greater time to fatigue was found in these studies as well. Although the carbohydrate content was matched, the additional protein provided 25% greater caloric intake during exercise and recovery in the carbohydrate-protein trials. Because protein contributes up to 15% of total energy expenditure in prolonged bouts of exercise (Lemmon, 1998), the protein calories in the CHO+P beverage may account for the improvements in performance. To better understand how adding protein affects endurance performance, CHO and CHO+P beverages should be matched for total calories.

Studies by Van Loon et al. (2000) in which insulinotropic protein hydrolysate was used and others by Zawadzki et al. (1992), in which a supplement combination of CHO and milk serum protein compared with a CHO-only supplement was used, demonstrated that the ingestion of some proteins and/or amino acids in combination with moderate CHO intakes (~0.8 g/kg/h) carries higher speeds in muscle glycogen synthesis compared with the ingestion of the same amount of CHO without protein and /or amino acids.

CHO+P beverages have also been associated with the attenuation of exercise-induced muscle damage. In Saunders et al. (2003), post exercise creatine kinase (CK) was lower in the carbohydrate-protein trials than in CHO trials. The co-ingestion of protein and CHO has been considered advantageous when consumed immediately after exercise compared to CHO alone (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2006). One purported mechanism indicates muscle glycogen re-synthesis is enhanced when protein is added to a CHO recovery formula (Ivy et al., 2003). Insulinmic responses are elevated with CHO+P feedings after exercise compared to CHO (Jentjens et al., 2004).

Nevertheless, Cepero et al. (2009), comparing the effects of CHO and CHO+P beverages, found that serum insulin concentrations were higher during recovery when CHO+P beverage was consumed ($P < 0.05$). The CHO+P drink showed different physiological effects than the CHO drink, so that the CHO+P drink can be recommended for improving recuperation from intensive exercise.

Furthermore, in other similar studies, casein hydrolysate was added to CHO beverages, showing similar benefits in the performance, improvements of muscle damage indicators and in the recovery after exercise (Saunders et al., 2006; Saunders et al., 2009).

Valentine et al. (2008) carried out another study to assess whether the improvement in the endurance exercise performance and the improvement of muscle damage rates with CHO+Pro beverage ingestion are because of the total intake of energy or because of specific effects of the protein. For this, the authors examined effects of CHO+Pro on time to exhaustion and markers of muscle disruption compared with placebo (PLA) and carbohydrate beverages matched for carbohydrate (CHO) and total calories (CHO+CHO). The test was carried out with cyclists and consisted of 4 races to exhaustion at 75% VO_{2peak} in which participants ingested 250 ml of PLA, CHO (7.75%), CHO + CHO (9.69%), or CHO + Pro (7.75% / 1.94%) every 15 minutes. The results in time to exhaustion were significantly higher with CHO+Pro (126.2 + / -25.4 min) and CHO+CHO (121.3 + / -36.8) beverages than with PLA (107.1 + / -30.3). CHO (117.5 + / -24.2) and PLA results were not significantly different. No considerable differences were found between CHO+Pro beverage and the ones with CHO and CHO + CH, so that they concluded that the improved performance with CHO+Pro beverage could be caused for the different amounts of calories. They did obtain important differences in the muscle damage indicators with CHO+Pro beverage ingestion, but they were obtained only with intakes during the exercise.

There is not an exact knowledge of which type of protein has better results yet. There are not enough studies that have compared in a direct way the endurance performance measures among CHO beverages containing different types of proteins (Saunders et al., 2007). Studies examining CHO+Pro ingestion during endurance exercise have reported performance benefits versus CHO. The mechanisms by which CHO+Pro might promote improved endurance are currently unknown. In a recent review of this topic (Saunders et al., 2007) various potential mechanisms were discussed, including increased protein oxidation (potentially sparing muscle glycogen), improved maintenance of TCA cycle intermediates, attenuation of central fatigue, improved uptake of fluid or other fuel CHO/Protein Hydrolysate and Time-Trial Performance substrates, and augmented insulin stimulation. In addition, Betts et al. (2008), recently reported that CHO+Pro consumed immediately after a bout of prolonged treadmill running resulted in significant increases in whole-body carbohydrate oxidation during a subsequent bout of exercise, without alterations in muscle glycogen utilization. However, very few studies have examined the influence of CHO+Pro consumption during exercise on these potential mechanisms, and the metabolic influences of CHO+Pro ingestion related to improved endurance performance remain poorly understood at present (Saunders et al., 2009).

The main objective of this study has been to determine whether the sport performance, the recovery after the effort and the blood biochemistry are changed by the intake of three different sports beverages: CHO-only (9%), CHO+ casein Protein (7% carbohydrates and 2% proteins)

and CHO+ whey protein, lactoserum, (7% carbohydrates and 2 % proteins) beverages. The study hypothesis indicates that the addition of casein and whey protein in the carbohydrate beverage could increase, on the one hand, the physiologic values that determine the sport performance and, on the other hand, the sport performance itself. Including protein in a carbohydrate solution may accelerate both the rate of glycogen storage and the restoration of exercise capacity following prolonged activity.

METHODS

Experimental Approach to the Problem

The experimental protocol was designed in three phases to determine the differences in performance and recuperation after the ingestion of two drinks with different recuperation. In the first phase the participants were informed of the type of test to be carried out and the procedures involved and signed their consent to take part in this study.

In the second phase a medical examination was made and a test of VO_{2max} undertaken with the aim of determining their state of health and maximum performance. In the third phase the cyclists arrived at the test site after fasting for ten hours and then pedaled for one hour at 75% of their maximum capacity with the object of depleting muscular glycogen reserves (Williams et al., 2003; Betts et al., 2007).

After this hour of pedaling, the cyclists drunk one liter of beverage in a double blind experimental design and rested for two hours with blood samples taken every 15 minutes. After this recuperation time, the cyclist was encouraged to perform 20 km as fast as possible in a test similar to that of Betts et al. (2007).

Participants

Fifteen male cyclists (age 39.0 ± 9.8 years, height 1.76 ± 0.06 m and body mass 74.4 ± 7.2 kg) completed this experimental research study. This number of participants exceeded the minimum sample size needed to detect differences in dependent measures with a power of 0.80, based on an estimated effect size of 1.0 SD units (from pilot data), a two-tailed alpha level of 0.05, and an intraclass correlation of 0.80 between repeat measures (Lipsey, 1990).

All volunteers ($n=15$) were trained cyclists who trained at least 3 days' cycling per week, 2-5 hours per session, and possessed a VO_{2peak} of 65.5 ± 10.3 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ determined on a cycle ergometer. These entrance criteria were used so that the findings of the study could be appropriately generalized to competitive athletic populations and to increase the likelihood that all participants could cycle at 75% VO_{2peak} for over an hour.

Testing Procedures

Phase 1: Preliminary Measurements

The potential risks and benefits associated with participation in the experiment were explained to all the participants. They completed a comprehensive medical questionnaire and underwent a medical examination to determine the presence of any risk factors associated with coronary artery disease before participating in the study. The participants signed an informed consent letter. All procedures and protocols were approved by the Ethical Committee of the University of

Granada (Spain) for use of human subjects and were in accordance with current Spanish law on the matter.

Phase 2: Cardio-respiratory fitness (VO_{2peak})

Participants who passed the initial screening completed an assessment of their cardiorespiratory fitness, height and body mass. These data were used to determine the exercise intensities used for testing in phase 3 of this study. Body mass was measured using a physician's scale and was recorded to the nearest tenth of a kilogram; participants were measured in their cycling shorts and without shoes.

Cardiorespiratory fitness tests were administered to determine each participant's maximal oxygen uptakes on an electrically braked cycle ergometer (Ergoline 900, SensorMedics, Yorba Linda, CA). Before testing, participants performed a 5 min warm-up at 100 W to prepare for maximal exercise.

Participants then performed a graded exercise test to determine their peak oxygen uptake. The initial work load for the test was 100 W and workload was uniformly increased from this initial level by 25 w each 2 minutes during the test; participants were encouraged to cycle at a selected cadence of > 40 rpm either until they were unable to maintain this minimum cadence for a 30 s time period, at which point the test was terminated, or until exhaustion. Workload, heart rate and ratings of perceived exertion were obtained at the end of each 60-s period during the test. Heart rate was obtained via a Polar heart-rate monitor S 610 I (Kempele, Finland), and VO_{2peak} was finally calculated for each subject using Arts and Kuipers' (1994) regression equation, $\%VO_{2max} = 12.1 + 0.866 \cdot \%W_{max}$, the correlation for this equation is 0.98 ($p < 0.001$).

Phase 3: Experimental Design and Protocol

All cyclists arrived in the laboratory between 8 and 8:30 am following a 10 hours' overnight fast and having eaten the same dinner for each day before the test. Each participant's body mass was recorded before a cannula was inserted into an antecubital vein and a 15 ml resting venous blood sample obtained. The cannula was kept open throughout each trial by frequent flushing with isotonic saline.

All participants performed two trials within 16 days, since a greater time delay increases measurement error resulting from potential variations in motivational factors and training status of participants. They undertook a one hour ride at 75% VO_{2max} in each trial with the objective to reach the glycogen-depleted state, and then consumed one liter of one of the test drinks in fasting conditions. After a two hours' recovery period, during which the evolution of recovery was analyzed, the cyclists rode 20 km as fast as possible. The simulated race was made by each cyclist on his own competition bicycle assembled on a computerized ergometer roller Elite Digital Mag Elastogel CRONO MAG from Elite (Italy). This is a magnetic-type training roller with five different constant-speed resistance levels, and in this study the resistance level was set at level 3 with a slope value of 1.6%. The resistance on the DIGITAL CRONO MAG is generated by powerful magnets placed on the flywheel and two discs that cross its magnetic field. The cyclists were familiarized with the study procedures and with the 20 km time-trial at least twice before the trials. The cyclists performed three main trials separated by at least one

week in a randomized, counterbalanced design. During the tests the cyclists received information of their heart rate, time and distance recorded, but no encouragement was given.

The resting venous blood sample of 10 ml was obtained every 15 minutes during the 2 h recovery period and at the end of the 20 km ride. Blood variables (insulin, glucagon, glucose, CK, and lactic acid) were measured, and the time needed to ride 20 km was recorded. Plasma CK was obtained as an indicator of muscle damage. Approximately 17 mL of blood were collected using venous-blood draws from the antecubital vein, and whole blood was spun in a centrifuge at 7000 rpm to separate plasma. Plasma samples were frozen at $<-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, brought to room temperature ($22\text{ }^{\circ}\text{C}$), and mixed through gentle inversion before analysis. Plasma CK was analyzed using a Johnson and Johnson Vitro DT 6011. Before analyses, the measurement device was calibrated using a reconstituted lyophilized calibration standard purchased. The order and timeline of testing for this study is illustrated in Figure 1.

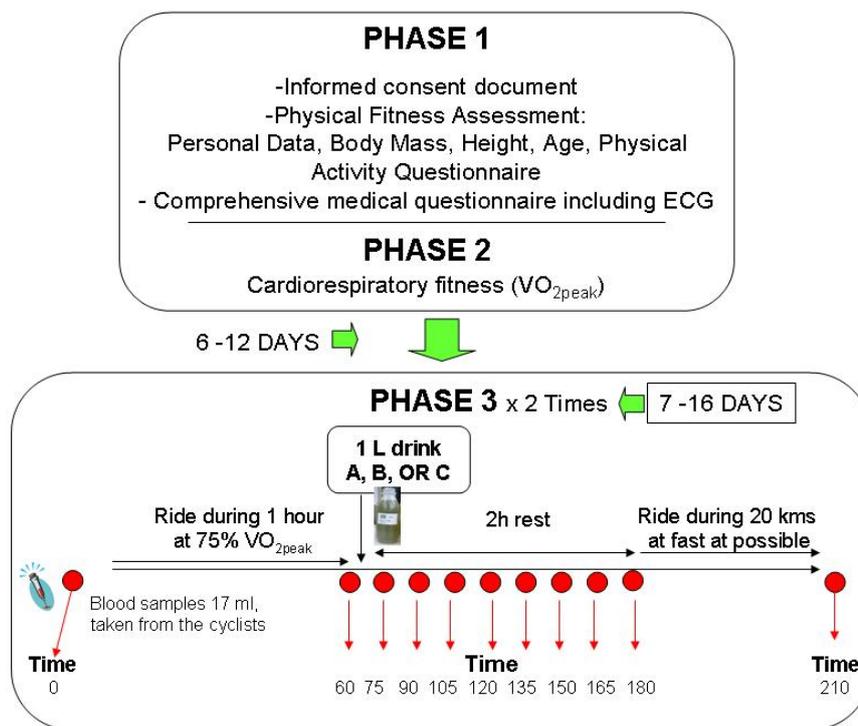


Figure 1. Schematic time course of study protocol.

Beverage formulation

Three prototypes of isotonic drinks were developed. The drinks have acceptable organoleptic characteristics after UHT treatment and are isotonic (osmolality of about 300 mOsm/kg). The beverages were fortified with vitamins C and E even though there is evidence that these antioxidants may protect against muscle damage (Romano-Ely et al., 2006). Reducing the quantity of CHO included in a supplement and replacing it with protein may not represent an effective nutritional strategy when the supplement is ingested during exercise. This may reflect the central ergogenic influence of exogenous CHO during this activity (Toone and Betts, 2010). The nutrient information and characteristics of these products are provided in Table 1.

Table 1. Beverage formulation

| | A Control drink CHO | B Whey hydrolysate drink CHO+Pw | C Casein hydrolysate drink CHO+Pc |
|---------------------|--|--|--|
| Energy | 36 kcal/100 ml | 36 kcal/100 ml | 36 kcal/100 ml |
| Protein | 0% | 2 % Whey hydrolysate | 2% Casein hydrolysate |
| Fat | 0% | 0% | 0% |
| Carbohydrates | 9% | 7% | 7% |
| Vitamins B, E, C, D | 25% DRI per L | 25% DRI per L | 25% DRI per L |
| Folic Acid | 25% DRI per L | 25% DRI per L | 25% DRI per L |
| Minerals | Isotonic | Isotonic | Isotonic |
| Taste/Color | Lemon-green | Lemon-green | Lemon-green |
| Treatment | UHT | UHT | UHT |

Statistical Analysis

A two factor (treatment by time) ANOVA with repeated measures was used to compare means from the three beverages. The Tukey Post Hoc test was applied to identify significant difference between means. Differences in the 20 km time trial performance, CK, insulin, glucose glucagon, and lactic acid were analyzed. An alpha level of 0.05 was used to indicate statistical significance. The data are presented as means \pm SD.

RESULTS

Cycling Performance

Participants performed three times a 20-km bicycle ride as fast as possible after drinking one liter of beverage and resting for 2 hours (Figure 1, Phase 3). The results showed no significant differences in time taken in performing the 20-km ride when consuming the CHO beverage (1770 ± 210 s), the CHO+Pc (1819 ± 185 s) or the CHO+Pw drink (1803 ± 201).

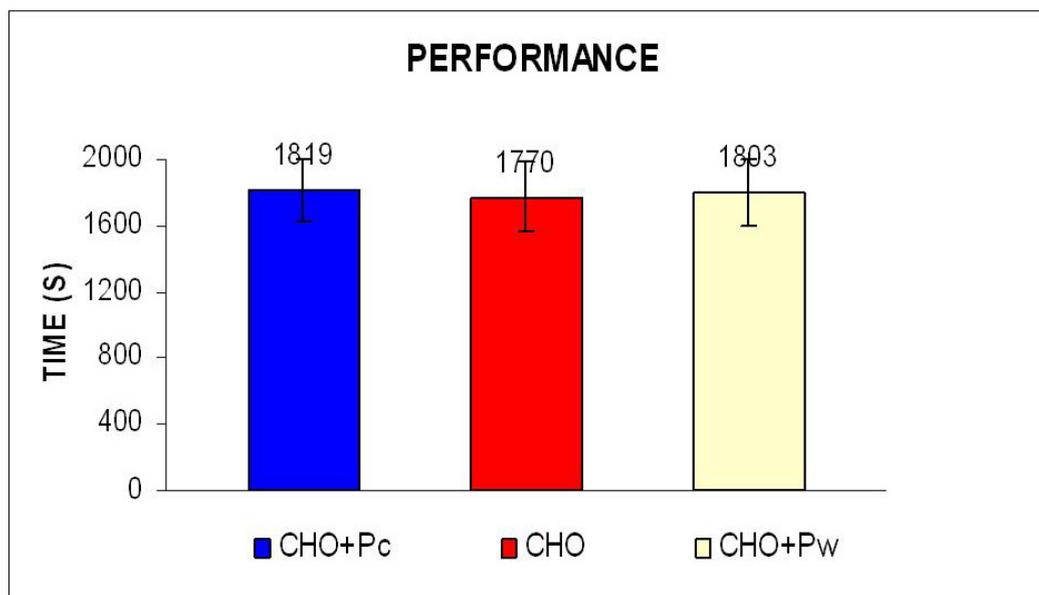


Figure 2. Performance of the 20-km ride after consuming CHO+Pc, CHO+Pw or CHO.

Blood Parameters

The blood parameters of the subjects are listed in Table 2. Post exercise muscle damage was indirectly assessed using plasma CK levels among the three beverage conditions and was not significantly affected by treatment.

Table 2. Blood parameters differences between treatments at the time points indicated for Figure 1.

| VARIABLES | | TIME | | | | | | | | | | | |
|---|--------|------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|--------|---------|---------|----------|
| | | 0 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 | 135 | 150 | 165 | 180 | 210 | |
| CK Concentration (U/L) | CHO+Pc | M | 124,93 | 136,27 | | 127,47 | | 124,53 | | | | | 140,87 |
| | | SD | 44,46 | 45,79 | | 46,85 | | 48,55 | | | | | 52,12 |
| | CHO+Pw | M | 136,00 | 151,87 | | 143,93 | | 142,73 | | | | | 156,27 |
| | | SD | 76,30 | 87,04 | | 83,28 | | 77,23 | | | | | 77,85 |
| | CHO | M | 113,87 | 127,87 | | 119,40 | | 117,87 | | | | | 132,47 |
| | | SD | 53,62 | 53,33 | | 52,66 | | 58,43 | | | | | 63,88 |
| Serum Insulin concentration (mcU/ml) | CHO+Pc | M | 5,42 | 4,90 | 19,94 | 47,43 | 47,03 | 30,27 | 28,40 | 26,4* | 25,18** | 17,27** | 9,91 |
| | | SD | 0,87 | 0,03 | 9,88 | 27,72 | 48,88 | 20,33 | 14,90 | 13,95 | 8,83 | 11,00 | 5,91 |
| | CHO+Pw | M | 4,95 | 4,90 | 8,99** | 27,24 | 27,62 | 23,62 | 16,11 | 13,43 | 11,87** | 8,94** | 6,70 |
| | | SD | 0,18 | 0,00 | 6,88 | 16,88 | 20,77 | 25,30 | 13,01 | 12,46 | 10,44 | 10,10 | 3,10 |
| | CHO | M | 5,43 | 4,93 | 17,01 | 39,08 | 39,88 | 28,83 | 21,31 | 18,54* | 11,11** | 7,68** | 9,11 |
| | | SD | 1,40 | 0,10 | 11,46 | 19,75 | 28,33 | 22,90 | 19,74 | 18,86 | 8,48 | 6,64 | 7,14 |
| Plasma Glucose concentration (mg/dl) | CHO+Pc | M | 90,68 | 100,96 | 115,60 | 109,68 | 92,99* | 82,50 | 78,67 | 87,74 | 89,24* | 78,42 | 132,97 |
| | | SD | 15,01 | 14,27 | 18,09 | 19,49 | 32,77 | 18,82 | 13,10 | 23,50 | 16,98 | 15,32 | 46,82 |
| | CHO+Pw | M | 90,78 | 101,26 | 111,51 | 123,54 | 96,42 | 80,68 | 76,10 | 75,93 | 78,41 | 79,62 | 120,08* |
| | | SD | 14,78 | 15,87 | 23,63 | 25,30 | 35,51 | 25,32 | 19,77 | 20,72 | 21,86 | 27,29 | 28,02 |
| | CHO | M | 87,33 | 99,66 | 115,47 | 128,65 | 114,85* | 95,55 | 81,41 | 75,02 | 72,09* | 65,10 | 137,80* |
| | | SD | 11,77 | 14,36 | 24,38 | 21,61 | 33,35 | 33,14 | 26,17 | 21,99 | 20,03 | 16,32 | 36,33 |
| Glucagon concentration (pg/ml) | CHO+Pc | M | 61,13 | 64,73 | | 81,00 | | 80,73 | | | | | 93,93* |
| | | SD | 13,36 | 12,38 | | 10,04 | | 10,98 | | | | | 16,07 |
| | CHO+Pw | M | 70,33 | 78,40 | | 93,00 | | 93,33 | | | | | 111,93 |
| | | SD | 13,69 | 15,46 | | 19,19 | | 17,31 | | | | | 23,95 |
| | CHO | M | 70,07 | 75,79 | | 83,71 | | 82,07 | | | | | 114,53* |
| | | SD | 14,71 | 17,20 | | 15,08 | | 16,96 | | | | | 22,19 |
| Blood lactate concentration (mg/dl) | CHO+Pc | M | 12,82 | 15,16 | | 12,98 | | 15,42 | | | | | 72,44** |
| | | SD | 3,59 | 4,42 | | 3,17 | | 4,09 | | | | | 20,07 |
| | CHO+Pw | M | 11,89 | 14,97 | | 13,55 | | 16,47 | | | | | 89,52 |
| | | SD | 3,54 | 8,37 | | 3,77 | | 3,29 | | | | | 29,22 |
| | CHO | M | 12,22 | 15,28 | | 13,24 | | 16,48 | | | | | 100,35** |
| | | SD | 3,85 | 8,63 | | 4,62 | | 3,95 | | | | | 31,13 |

**P<0.01 *P<0.05

In the three groups the serum insulin level rose after the beverages were drunk. Serum insulin concentrations were higher during recovery in the CHO+Pc in the final phases of recovery, at 165 and 180 min ($P<0.01$). Blood glucose was significantly elevated at 105 and 165 min during recovery with CHO compared to CHO+Pc and CHO+Pw ($P<0.05$). Glucagon levels increased during the trial, but more with CHO than with the CHO+Pc and CHO+Pw treatment at 210 min ($P<0.05$). Lactic acid levels were stable during the trial, but increased following the 20-km ride and were affected by the beverage.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The primary objective of this study was to compare the effects of CHO+Pc, CHO+Pw and CHO beverages on time to perform 20 km in a bicycle ride as fast as possible. Time of performance was not different among treatments, a finding that is in agreement with some studies but in contrast to others that compared carbohydrate-protein beverages with CHO.

An often discussed explanation for the performance improvements, in others studies, sometimes seen with carbohydrate-protein beverages is that the added protein may facilitate greater carbohydrate uptake by increasing insulin levels.

Recently published studies have reported significant improvements in endurance when protein is consumed with carbohydrate during prolonged exercise (Saunders et al., 2009). The small difference in overall 60-km performance was not statistically different between treatments. However, as hypothesized in the introduction of this article, all the performance improvement with CHO+ProH was observed in the final 20 km of the trial, and most of it occurred during the final 5-km climb to the finish. As a result, the presence of protein in the beverage explained a significant portion of the variance in performance time for the final 20- and 5-km segments, and CHO+P ingestion resulted in a 3% improvement in time for the final 5 km of the trial. These findings have substantial relevance for competitive athletes, because most cycling races are determined by time differences of considerably less than 30 s. Although the total times were not significantly different between treatments, this is probably related to the statistical sensitivity with which differences between treatments can be detected (Saunders et al., 2009)

Ivy et al (2003) compared the effects of a carbohydrate protein beverage (CHO+P) versus carbohydrate-only (CHO) and placebo beverages. To assess endurance performance, these investigators measured cycling time to exhaustion at 85% VO_{2peak} after 180 min of varied-intensity, sub maximal cycling, which was designed to simulate the variations in intensity typically observed during competitive cycling events. Cyclist rode significantly longer (36%) in the time to exhaustion segment of the CHO+P trial (26.9 ± 4.5 min) than the CHO trial (19.7 ± 4.6 min), with both sports beverages outperforming a placebo (12.7 ± 3.1 min). Saunders (20) compared endurance performance between CHO+P and CHO beverages in male cyclist during a ride to exhaustion at 75% VO_{2peak} . Cyclist rode 106.3 ± 45.2 min when receiving the CHO+P beverage, compared with 82.3 ± 32.6 with the CHO beverage, a 29% improvement endurance. However, Van Essen and Gibala (2006) examined 80 km time-trial performance between CHO and CHO+P beverages, these investigators observed no significant differences in performance between CHO+P (135 ± 9 min) and CHO (135 ± 9 min) treatments, although both beverages outperformed a placebo beverage (141 ± 10 min).

Romano-Ely et al. (2006) and one reported by Millard-Stafford et al. (2005), support that protein typically contributes a small proportion to total energy demands during exercise, utilization of protein added to CHO beverages could spare carbohydrate reserves, allowing athletes to perform for longer periods before exhaustion occurs. In those and in this study there were no significant differences between times to fatigue or performance when the comparison beverages were matched for total calories.

The observation of prolonged time to exhaustion in the studies by Ivy et al. (2003) and Saunders et al. (2004, 2007), suggest a strong potential for ergogenic effects with carbohydrate-protein beverages. However, as demonstrated in this study and by Van Esse and Gibala (2006), improved endurance performance has not been universally observed with carbohydrate-protein ingestion. Thus, questions remain regarding the conditions under which the presence of protein in a sports beverage may improve performance.

Carbohydrate and CHO+P beverages have been compared using time-to-exhaustion (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2007) and long-duration time trials, in Van Essen and Gibala, (2006) and in this study, this could minimize the putative benefits of CHO+P ingestion, because protein oxidation is heightened in late exercise when glycogen levels are depleted (Van Hall et al., 1996). However, Jeukendrup et al. (1996), observed that time-to-exhaustion protocols may evoke relatively high measurement error, reporting a coefficient of variation of >25% over 5 repeated trials and the treatment effects between beverages would need to be quite large to overcome this error variance.

In this study, performance has been measured in a typical race against the clock in 20 km. This kind of time trials exhibit lower error variance between repeated trials (Jeukendrup et al., 1996) and is representative of performance in endurance cycling (St Laurent et al., 2006). However, the relative differences reported between nutritional treatments are typically smaller when using time trials versus time-to-exhaustion protocols, perhaps because time-trial performance is less closely linked to glycogen depletion (Saunders et al., 2007) although in this study the cyclists arrived exhausted to the final.

An often discussed explanation for the performance improvements sometimes seen with carbohydrate-protein beverages is that the added protein may facilitate greater carbohydrate uptake by increasing insulin levels. Ivy et al. (2003) reported elevated insulin levels with CHO+P ingestion compared with water, but these levels were not statistically higher than a CHO trial. In this study, we have obtained greater significant values for serum insulin at 165 and 180 minutes with the CHO+P beverage. This data showed a positive physiological effect although this was not reflected in post recovery exercise performance. Niles et al. (2001) also reported that a carbohydrate-protein beverage was associated with greater postexercise insulin increases than an isocaloric CHO beverage; however, in contrast to the present study, time to fatigue following a glycogen-depleting regime was greater with the carbohydrate-protein beverage.

Fundamental differences in design may explain the discrepancy. The present study was designed to mimic day-to-day training and dietary practices common among competitive cyclist, whereas Niles et al. (2001) appear to have designed a study intended to maximize the treatment effect. Niles et al. (2001) facilitated glycogen depletion with a low-carbohydrate diet (i.e., 35–40% of

total calories) that began 48 h prior to an exhaustive exercise bout, and the run to exhaustion occurred within 2 h of ingesting the recovery beverage, presumably at a time when insulin levels were estimated to peak (Jeukendrup, 1996). Participants in the present study cycled to exhaustion on two separate days. The first ride was at 70% VO_{2peak} , considerably lower than the intensity used by Niles et al. (2001), and these conditions prior to the second ride were not comparable with the conditions used by these (Niles et al., 2001) or other researchers (Colombani et al., 1999).

Millard-Stafford et al. (2005) compared the effects of a carbohydrate–protein beverage with an isocaloric CHO beverage and reported time to fatigue results similar to those found in the present study, thus supporting the position that a much of the performance difference observed in other research (Colombani et al., 1999) was due to utilization of added protein. An alternate view assumes that when protein calories are substituted for carbohydrates, a resulting attenuation of the insulin response favors greater hepatic glucose output, but the position that the added protein calories are used as an energy substrate is further supported by data from Colombani et al. (1999). These researchers found that amino acid levels, urea, and urinary total nitrogen were elevated with a carbohydrate–protein supplementation during marathon running when compared with a CHO treatment.

In the present study, the CHO+P beverage contained the same number of total calories and 25% fewer carbohydrate calories than the CHO beverage. Under these conditions, performance time during the CHO+P trial was nearly identical to that observed in the CHO trial, thus indicating that when matched for total calories, carbohydrate–protein beverages are equally effective as CHO beverages in providing metabolic benefits during exercise.

The studies discussed suggest that recovery from exercise could be augmented by CHO+P ingestion during exercise. This concept is supported by a number of recent studies that have observed attenuated markers of postexercise muscle damage with CHO+P ingestion. CHO+P has been associated with attenuated postexercise levels of plasma CK (Luden et al., 2007; Romano-Ely 2006) and LDH (Romano-Ely et al., 2006) and subjective ratings of muscle soreness (Luden et al., 2007) compared with CHO ingestion. Furthermore, these benefits have been observed in studies that compared CHO+P and CHO beverages that were matched for carbohydrate content (Luden et al., 2007) or total calories (Romano-Ely et al., 2006).

CHO+P ingestion during and after a cycling time trial also prevented increases in plasma CK and muscle-soreness ratings that were observed in the CHO trial. These findings support previous research suggesting that CHO+P beverages consumed during and immediately after exercise might be advantageous for performance and muscle recovery in endurance athletes (Saunders et al., 2009)

Saunders (2004) reported significant reductions in postexercise plasma CK levels after CHO+P ingestion, which were accompanied by improvements in subsequent endurance-exercise performance. However, this research have reported no improvements in subsequent performance after CHO+P ingestion. Differences in these findings may be a result of relative differences in muscle damage in these studies, because the postexercise CK response elicited during the non protein trial was much greater in the study reporting a significant improvement in subsequent

performance (~1300 U/L) (20) than in studies showing no differences in subsequent performance (~300–580 U/L) (Luden et al., 2007). Similarly, Luden et al. (2007) reported that runners completing higher weekly mileages observed the greatest attenuations in postexercise CK with CHO+P, perhaps because of the higher potential for damage associated with increased mileage. These higher mileage athletes also had a greater tendency for improved subsequent performance with the CHO+P treatment.

The data discussed here suggest that CHO+P ingestion may reduce markers of muscle damage in endurance athletes. These alterations may produce important effects on subsequent performance if the attenuations in muscle damage are large enough to be of practical importance for muscle function. Although these studies suggest that CHO+P is potentially important for recovery in endurance athletes, it is difficult to determine whether these benefits were the result of feedings provided during exercise, because the aforementioned studies provided CHO+P postexercise (Luden et al., 2007; Millard et al., 2005) or both during exercise and postexercise (Romano-Ely et al., 2006). However, St Laurent et al. (2006), compared the muscle recovery effects of a CHO+P beverage (78 g CHO/h + 19 g Pro/h) with those of a calorically matched CHO beverage (97 g CHO/h), carbohydrate-matched CHO beverage (78 g CHO/h), and placebo beverage (0 g CHO/h), which were provided during exercise to exhaustion. Although the beverages were provided only during exercise, the CHO+P treatment produced significant reductions in postexercise CK and myoglobin levels compared with all other treatments.

In addition, muscle performance during a leg-extension test 24 h postexercise was significantly higher after the CHO+P trial than all other trials. Collectively, these data suggest that CHO+P ingestion can reduce markers of postexercise damage and potentially improve performance in subsequent exercise. In addition, it appears that these benefits can be elicited by consuming CHO+P beverages during exercise alone.

In agreement to the present study, Millard-Stafford et al. (2005) reported no difference in postexercise CK values between isocalorically matched carbohydrate–protein and CHO treatments.

Within the context of this experimental design, the CHO+P drink showed more explicit physiological effects than the CHO drink, but this was not reflected in post-recovery exercise performance.

There are a number of design factors that should be considered for future research. First, more valid comparisons could be made if three types of beverages (i.e., CHO+P, isocaloric CHO, and isocarbohydrate–CHO) were simultaneously studied. This design would help clarify whether the benefits of carbohydrate–protein beverages are due to the additional calories or somehow attributable to the unique properties of protein.

Secondly, to determinewhether adding protein to carbohydrate drinks attenuates fatigue, these beverages should be studied in conditions where carbohydrate intake and absorption are maximized. In the present study, the subjects tolerated the 9 carbohydrate solution, a concentration that is above the general recommendations. Considering that carbohydrate availability is a primary limiting factor in prolonged exercise, maximal capacity for carbohydrate

absorption needs to be further addressed. If additional carbohydrate can be reasonably tolerated, a greater amount of energy can be provided during exercise. Furthermore, because protein is absorbed by a separate mechanism in the digestive tract, discovering the upper limit of carbohydrate absorption and then adding protein may prove to be an effective way to maximize performance. Finally, the effect of CHOPA-type beverages on muscle damage should be compared against a control trial that includes exercise to exhaustion without the aid of supplements and against one supplement containing only protein and another supplement containing only antioxidants. A control trial would be of particular value if the protein or antioxidants provided a small but significant benefit that could not be detected when statistically compared with the opposing supplement or CHOPA.

The effects of these nutrients on muscle damage should also be evaluated with direct measures of damage (i.e., muscle biopsies or MRI) as well as biochemical markers specific to oxidative stress. Given the high variability of CK and muscle soreness observed in this and other studies, measures of muscle damage that are more direct and specific may provide better evidence of whether the benefits of CHO+P beverages are attributable to the protein, antioxidants, or a combination of both.

In conclusion, data from this study add to the growing body of evidence indicating that CHO+P beverages consumed during and after exhaustive exercise may attenuate muscle damage, increasing the posterior performance. Also, because time to fatigue was the same between the isocaloric treatments, these data suggest that protein may serve as an important energy substrate when given in combination with CHO beverages during exercise. These results further corroborate data from previous studies showing that performance benefits observed with carbohydrate and protein sports beverages may be due to a carbohydrate-sparing effect related to the oxidation of the additional protein calories.

Acknowledgments

We would like to thank the cyclists that participated in this study and Puleva Biotech S.A. and DSM for their support in this research.

REFERENCES

1. AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. *Guidelines for exercise testing and prescription (7th ed.)*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 2006. [[Back to text](#)]
2. ARTS FJP, H KUIPERS. The relation between power output (W), oxygen uptake (VO_{2max}) and heart rate in male athletes. *International Journal of Sports Medicine*. 1994; 5(15): 228-231. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
3. BETTS JA, WILLIAMS C, BOOBIS L, TSINTZAS K. Increased carbohydrate oxidation after ingestion carbohydrate with added protein. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2008; 40: 903–912. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]

4. CEPERO M, ROJAS FJ, GEERLINGS A, DE LA CRUZ JC, ROMERO S, BOZA JJ. Effects of a carbohydrate and a carbohydrate and casein protein beverages on recovery and performance of endurance cycling capacity. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2009; 2: 161-172. [[Full text](#)] [[Back to text](#)]
5. COLOMBANI PC, KOVACS C, FREY-RINDOVA P, et al. Metabolic effects of a proteinsupplemented carbohydrate drink in marathon runners. *International Journal of Sports Nutrition*. 1999; 9:181-201. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
6. HAFF GG, KOCH AJ, POTTEIGER JA, KUPHAL KE, MAGEE LM, GREEN SB, JAKICIC JJ. Carbohydrate supplementation attenuates muscle glycogen loss during acute bouts of resistance exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2000; 10:326-339. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
7. IVY JL, RES PT, SPRAGUE RC, WIDZER MO. Effect of a carbohydrate-protein supplement on endurance performance during exercise of varying intensity. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2003; 13:388-401. [[Full text](#)] [[Back to text](#)]
8. JACOBS KA, SHERMAN WM. The efficacy of carbohydrate supplementation and chronic high-carbohydrate diets for improving endurance performance. *International Journal of Sports Nutrition*. 1999; 9(1): 92-115. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
9. JENTJENS RL, ACHTEN J, JEUKENDRUP AE. High oxidation rates from combined carbohydrates ingested during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004; 36(9):1551-1558. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
10. JEUKENDRUP AE, SARIS WMH, BROUNS F, KESTER ADM. A new validated endurance performance test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1996; 28:266-270. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
11. KRAEMER WJ, RATAMESS NA, VOLEK JS, HÄKKINEN K, RUBIN MR, FRENCH DN, et al. The effects of amino acid supplementation on hormonal responses to overreaching Metabolism. *Clinical and Experimental*. 2006; 55:282–291. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
12. LEMON PW, TARNOPOLSKY MA, MACDOUGAL JD, ATKINSON SA. Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *Journal of Applied Physiology*. 1992; 73:767–775. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
13. LIPSEY MW. *Design Sensitivity: Statistical Power for Experimental Research*. Newbury Park, CA: Sage; 1990, 88-92, 133-136. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
14. LUDEN ND, SAUNDERS MJ, TODD MK. Post-exercise carbohydrate-protein-antioxidant ingestion decreases CK and muscle soreness in cross-country runners. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2007; 17:109-122. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
15. MILLARD-STAFFORD M, WARREN G, THOMAS L, DOYLE J, SNOW T, HITCHCOCK K. Recovery from run training: efficacy of a carbohydrate-protein beverage? *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2005. 15:610-624. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
16. NILES ES, LACHOWETZ T, GARFI J, et al. Carbohydrate-protein drink improves time to exhaustion after recovery from endurance exercise. *Journal of Exercise Physiology online*. 2001; 4:45-52. [[Back to text](#)]
17. RATAMESS NA, KRAEMER WJ, VOLEK JS, RUBIN MR, GOMEZ AL, FRENCH DN, et al. The effects of amino acid supplementation on muscular performance during

- resistance training overreaching. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2003; 17, 250–258. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
18. ROMANO-ELY BC, TODD MK, SAUNDERS MJ, ST LAURENT TG. Effects of an isocaloric carbohydrate-protein-antioxidant drink on cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2006; 8:1608-1616. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
 19. SAUNDERS MJ, KANE MD, TODD MK. Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004; 36:1233-1238. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
 20. SAUNDERS MJ, LUDEN ND, HERRICK JE. Consumption of an oral carbohydrate-protein gel improves cycling endurance and prevents post-exercise muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2007; 21(3):678-84. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
 21. SAUNDERS MJ, LUDEN ND, PRATT CA, & MOORE RW. Carbohydrate and protein hydrolysate beverage improves late-race cycling performance and prevents post-exercise muscle damage. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2006; 3(1):20. [[Back to text](#)]
 22. SAUNDERS MJ, MOORE RW, KIES AK, LUDEN ND, PRATT C. Carbohydrate and protein hydrolysate coingestion's improvement of late-exercise time trial performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2009; 19: 136-149. [[Full text](#)] [[Back to text](#)]
 23. ST LAURENT TG, TODD MK, SAUNDERS MJ, VALENTINE RJ, FLOHR JA. Carbohydrate protein beverage improves muscle damage and function versus isocarbohydrate and isocaloric carbohydrate-only beverages. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2006; 38(5):340. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
 24. TARNOPOLSKY MA, ATKINSON SA, MACDOUGAL JD, CHESLEY A, PHILLIPS S, SHWARCZ HP. Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *Journal of Applied Physiology*. 1992; 73: 1986–1995. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
 25. TIPTON KD. Role of protein and hydrolysates before exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2007; 17: 77-86. [[Back to text](#)]
 26. TOONE RJ, BETTS JA. Isocaloric carbohydrate versus carbohydrate-protein ingestion and cycling time-trial performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2010; 20: 34-43. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
 27. VALENTINE RJ, SAUNDERS MJ, TODD MK, ST LAURENT TG. Influence of carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and indices of muscle disruption. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2008; 18: 363-378. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
 28. VAN ESSEN M, GIBALA MJ. Failure of protein to improve time trial performance when added to a sports drink. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2006; 38(8):1476-1483. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]
 29. VAN HALL G, MACLEAN DA, SALTIN B, WAGENMAKERS AJ. Mechanisms of activation of muscle branched-chain alpha-keto acid dehydrogenase during exercise in man. *Journal of Physiology*. 1996; 494(3): 899-905. [[Full text](#)] [[Back to text](#)]
 30. VAN LOON JC. Application of protein or protein hydrolysates to improve postexercise recovery. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2007; 17: 104-S117. [[Back to text](#)]

31. WILLIAMS MB, RAVEN PB, FOGT DL, IVY JL. Effects of recovery beverages on glycogen restoration and endurance exercise performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2003; 17:12-19. [[Abstract](#)] [[Back to text](#)]