

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

Endurance: strategie nutrizionali per il ripristino delle scorte di glicogeno

Relatore: Sponsiello Nicola

Laureando: Zanella Celeste

N° di matricola: 2047780

Anno Accademico 2023/2024

INDICE

Abstract

Introduzione

Capitolo 1: fase di recupero e relazione al consumo dei substrati utilizzati

1.1 Importanza della fase di recupero

1.2 EIMD (exercise induced muscle damage)

1.3 Consumo dei substrati durante esercizio

1.4 Il glicogeno

1.5 Glicogeno nella fase di recupero

Capitolo 2: disamina dei tre principali macronutrienti e relativa funzione energetica

2.1 Principali macronutrienti

2.2 Carboidrati

2.2.1 Carboidrati come sorgente di energia

2.2.2 Quantità, tipo di assunzione, tempi di assunzione dei carboidrati

2.3 Proteine

2.3.1 Proteine come sorgente di energia

2.4 Grassi

2.4.1 Grassi come sorgente di energia

Capitolo 3: strategie nutrizionali, ruolo dei tre macronutrienti nel ripristino del glicogeno

Discussione

Conclusioni

Bibliografia

Ringraziamenti

Abstract

Questa tesi tratta come argomento principale le strategie nutrizionali che vengono utilizzate al fine di ripristinare le scorte di glicogeno dopo un allenamento di endurance. Questo è un argomento che negli ultimi anni sta assumendo sempre maggiore importanza all'interno del mondo dello sport di resistenza (in particolare corsa e bici), dimostrando l'importanza del recupero per la performance. Inizialmente una panoramica di quali siano le componenti del recupero post esercizio, con un approfondimento su quella che viene principalmente trattata nel testo, ovvero il glicogeno. Disamina dei tre principali macronutrienti e il rispettivo ruolo, per poi passare al capitolo principale, in cui si discutono varie strategie nutrizionali per favorire lo stoccaggio di glicogeno post esercizio. Vengono utilizzati 5 studi scientifici che testano sia ciclisti che runner, di cui uno riguarda in modo specifico l'utilizzo di diete ricche di grassi. Valutando le differenze e i risultati degli studi emerge che la miglior strategia è ingerire miscele di carboidrati e proteine, questo permette di massimizzare la risintesi del glicogeno.

Introduzione

La nutrizione è un aspetto molto importante nella preparazione sportiva, infatti tramite un'adeguata nutrizione è possibile fornire la giusta energia sia per la performance fisica che per il periodo di recupero successivo ad essa. E' fondamentale che durante la fase post esercizio vengano forniti i corretti nutrienti per ricostituire le riserve di energia e riparare i tessuti lesionati. Questo consente di recuperare le energie nel modo più efficiente possibile ed essere pronto al successivo allenamento. E' proprio questo l'argomento centrale di questo scritto che esamina la struttura e il potenziale ergogenico dei 3 macronutrienti, per poi discutere diverse strategie nutrizionali al fine di ripristinare le scorte di glicogeno. Il glicogeno è infatti una delle fonti di energia principali durante esercizio e la velocità con cui esso viene risintetizzato è una componente importante nel determinare la durata del recupero. Si farà un'analisi della letteratura per fare chiarezza sull'utilizzo di quantità, timing di assunzione e tipologie di nutrienti diversi. In particolare sembra che l'utilizzo di una fonte proteica assunta assieme ai carboidrati sia la soluzione migliore per il fine sopra indicato.

Capitolo 1

1.1 Importanza della fase di recupero

Come sappiamo l'esecuzione programmata e strutturata di esercizio fisico porta a miglioramenti nei vari apparati corporei, principalmente: muscolo scheletrico, cardiovascolare, cardiorespiratorio. Perché questo accada bisogna allenarsi tramite programmi adeguati che rispettino i principi fondamentali dell'allenamento: progressione, sovraccarico, reversibilità, individualizzazione, specificità e recupero (Paoli A. et al. 2013). Dopo che si sottopone l'organismo a uno stimolo allenante esso risponderà adattandosi, grazie a un processo chiamato super compensazione (Paoli A. et al. 2013). Nella fase di recupero il corpo attua un meccanismo in grado di ripristinare le condizioni di normalità riparando il danno subito e ricostruendo più di ciò che è stato danneggiato, in modo da poter sostenere uno sforzo sempre maggiore. "Il miglioramento di una data qualità non avviene durante l'esercizio, ma durante la fase di recupero in risposta al danno causato dall'allenamento" (Paoli A. et al. 2013). È evidente quindi quanto importante sia il periodo

di tempo che avviene dopo l'esercizio, poiché è proprio in questo lasso di tempo che avviene il miglioramento. Finito lo svolgimento di esercizio fisico, per un determinato arco temporale, si hanno modificazioni causate dallo stress meccanico e metabolico indotto dalle ripetute contrazioni muscolari; questo porta a dei cambiamenti che si verificano nel corpo al fine di riparare i danni causati dall'esercizio e ripristinare le iniziali capacità dell'organismo, per poi innalzarle a un livello superiore.

1.2 EIMD (exercise induced muscle damage)

Lo stato di affaticamento che si avverte dopo l'esercizio prende il nome di EIMD, ovvero la lesione muscolare indotta dall' esercizio (O'Connor E et al. 2022). Viene percepito soprattutto dopo esercizi nuovi o diversi dal solito, in particolare se comportano molte contrazioni di tipo eccentrico, poiché causano un maggiore stress meccanico. Oltre alla componente meccanica c'è un'importante componente metabolica, presente soprattutto con EIMD causati da esercizi di resistenza a bassa intensità, quindi principalmente esercizi di endurance. Le principali manifestazioni di questa condizione sono stanchezza e debolezza, dolore muscolare (DOMS), diminuzione della funzionalità e gonfiore del gruppo muscolare coinvolto (Hotfiel T et al. 2018). La gravità di queste manifestazioni varia in base al tipo di esercizio svolto, alla durata e all'intensità dello stimolo e al grado di allenamento personale. Per analizzarlo viene generalmente scandito in due fasi, una iniziale che avviene già durante esercizio e subito dopo, mentre la seconda prende il nome di fase di danno secondario, avviene 8-12 ore dal termine dell'esercizio e comporta una risposta infiammatoria. La fase primaria è caratterizzata da cambiamenti strutturali e biochimici all'interno del muscolo in seguito all'interruzione dei componenti contrattili e del connettivo a causa di carico meccanico e stress metabolico. Si verificano infatti danni strutturali alle miofibrille: al sarcomero, alla membrana, al citoscheletro, al reticolo endoplasmatico e variazioni nelle concentrazioni di proteine dovute a maggior permeabilità del sarcolemma (Stožer A et al. 2020). Avviene una maggiore produzione di specie reattive di ossigeno e azoto a causa dell'aumentata ventilazione e questo porta ad aumentare lo stato di stress infiammatorio. La fase secondaria nonostante sia il momento in cui l'infiammazione è più presente, è fondamentale per la sostituzione di tessuto danneggiato con tessuto nuovo e adattato. Infatti i neutrofili dopo esercizio aumentano per rimodellare il tessuto muscolare insieme ad un aumento nel rilascio di citochine pro-

infiammatorie che contribuiscono alla riparazione dei tessuti danneggiati. Tuttavia si parla di molecole che caratterizzano uno stato infiammatorio, che porta con sé: stravaso di liquidi, edema, conseguente gonfiore e percezione di dolore. Diverse ore dopo la fine dell'esercizio (48 ore) monociti e macrofagi si uniscono all'azione dei neutrofili, in particolare i macrofagi svolgono un ruolo importante perché sembra che stimolino la produzione di cellule satelliti e promuovano particolari citochine inibitorie nei confronti dell'infiammazione, in modo tale da controllare il grado infiammatorio (O'Connor E et al. 2022). Oltre alle lesioni delle componenti delle fibre muscolari e allo stato infiammatorio causato dai RONS altri fattori determinanti nel causare l'EIMD possono essere l'esaurimento dei substrati (fosfocreatina e glicogeno) e l'accumulo di prodotti di scarto (O'Connor E et al. 2022).

1.3 Consumo dei substrati durante esercizio

Il paragrafo precedente è una panoramica di cosa avviene nei muscoli durante il periodo di recupero post esercizio. È evidente come anche il rifacimento delle riserve di carburante, assieme al recupero dal danno muscolare e allo stato infiammatorio, svolga un ruolo di primaria importanza in questa fase. Per capire quale substrato viene utilizzato bisogna analizzare la tipologia di esercizio svolta in allenamento. Questa tesi tratta una tipologia specifica di esercizio, ossia quello di endurance, in cui i substrati maggiormente utilizzati sono i carboidrati e i grassi (Baker LB. Et al. 2015). Nell'esercizio prolungato ad alta intensità avviene un controllo molto preciso nell'interazione tra metabolismo di carboidrati e grassi. In particolare i carboidrati rappresentano un substrato meno dispendioso in fatto di costo di ossigeno, generano più ATP per volume di ossigeno consumato rispetto ai grassi (Vitale K, Getzin A 2019), e diventano la risorsa principale quando l'intensità aumenta poiché si rendono disponibili in meno tempo rispetto agli acidi grassi. "L'utilizzo di substrati diversi è un meccanismo fine regolato da diversi fattori" (Alghannam AF et al. 2021). Durata, intensità e frequenza dell'esercizio, tipo e livello di allenamento del soggetto, nonché l'assunzione precedente di nutrienti e la disponibilità del substrato determinano il contributo dei vari percorsi energetici (Thomas DT et al. 2016). In esercizi a bassa intensità (<70% VO_{2max}) la sorgente di carburante principalmente utilizzata a scopo energetico sono gli acidi grassi derivanti dai trigliceridi del tessuto adiposo. Il massimo consumo di acidi grassi si raggiunge dopo 20-30 minuti all'inizio dell'esercizio, prima viene

utilizzato anche il glucosio. In esercizi ad alta intensità rispetto allo sforzo massimale (oltre 70% VO₂max) il contributo dei carboidrati nel fornire energia aumenta, si utilizza energia derivante dalla deplezione di glicogeno muscolare. Per l'esercizio prolungato di endurance è fondamentale il metabolismo dei carboidrati, in questa tipologia di esercizio è importante mantenere elevati i livelli di glucosio e glicogeno per assicurare un corretto rifornimento ai muscoli in attività (Alghannam AF et al. 2021). Come spiegato nella review ad opera di Margolis LM et al. del febbraio 2021, è riconosciuto che la disponibilità di carboidrati sia un fattore determinante per la capacità di esercizio, in modo specifico per l'esercizio prolungato da moderata ad alta intensità in cui la dipendenza dalle riserve di carboidrati endogeni è fondamentale. Inoltre alcuni studi hanno riportato che un basso contenuto di glicogeno muscolare coincide con l'insorgenza della fatica e invece l'ingestione di carboidrati è correlata al mantenimento della prestazione. In particolare l'esaurimento delle riserve di carboidrati nei muscoli e nel fegato è associato alla sensazione di fatica e riduzione della concentrazione. (Vitale K, Getzin A 2019).

1.4 Il glicogeno

Le fonti di carboidrati che il corpo può utilizzare sono di due derivazioni: carboidrati endogeni e carboidrati esogeni (Alghannam AF et al. 2021). I carboidrati esogeni sono gli zuccheri che introduciamo direttamente con l'alimentazione, durante l'esercizio ci consentono di preservare l'utilizzo di quelli endogeni fornendo continuamente glucosio al corpo e posticipando l'insorgenza della fatica. I carboidrati endogeni sono rappresentati dal glicogeno, che può essere scisso tramite gluconeogenesi per fornire a sua volta glucosio al corpo in attività. Il glicogeno è un polimero ramificato del glucosio che viene utilizzato come mezzo per immagazzinare glucosio nelle cellule durante periodi di abbondanza nutrizionale, per poi essere utilizzato in momenti di necessità (Roach PJ et al. 2012). Nel corpo umano ci sono principalmente due localizzazioni del glicogeno: glicogeno muscolare e glicogeno epatico. Il muscolo scheletrico rappresenta il più abbondante tra i due poiché dispone di una massa molto maggiore, in condizioni normali il contenuto di glicogeno nel muscolo varia tra 300-400 mmol unità glucosilate per kg di massa (Alghannam AF et al. 2021). Questa quantità può essere aumentata tramite l'allenamento. Il glicogeno del muscolo rappresenta un efficiente sistema di accumulo di energia, che però è limitata a supportare esercizi di intensità moderata/alta per un periodo di tempo

limitato. Le due riserve di glicogeno hanno scopi differenti, il glicogeno epatico viene sintetizzato dopo i pasti per essere poi degradato dal fegato durante il digiuno, periodo in cui viene rilasciato come glucosio; ha la funzione di stabilizzare la glicemia. Mentre il glicogeno presente nel muscolo ha scopo prettamente energetico e viene degradato durante l'attività fisica così da fornire glucosio, da cui si genera ATP per permettere la contrazione (Anita B. 2017). Questo accade a meno che non si introducano fonti alternative di glucosio con la dieta. All'interno del muscolo scheletrico ci sono 3 principali pool di glicogeno: subsarcolemmale, intermiofibrillare e intramiofibrillare. La distribuzione nei diversi pool dipende dal tipo di fibra muscolare, dallo stato di allenamento e dal tipo di esercizio (Alghannam AF et al. 2018). I precursori per la sintesi del glicogeno sono di due tipi: glucogenici ovvero derivanti dal glucosio, oppure non glucogenici come il lattato e l'alanina, che tramite la via indiretta della gliconeogenesi vanno a formare anch'essi glicogeno (Roach PJ et al. 2012). La sintesi del glicogeno per via diretta richiede il trasporto nelle cellule da ad opera di uno o più trasportatori: GLUT. Il meccanismo di sintesi avviene tramite la regolazione ad opera di tre enzimi, ovvero: glicogenina, glicogeno sintasi ed enzima ramificante (Alghannam AF et al. 2018). La glicogenina funge da proteina iniziatrice e inizia a inglobare molecole di glucosio tramite reazione di autoglicosilazione, trasferisce il glucosio dall'UDP-glucosio a un residuo di tirosina e forma legami α -1,4-glicosidici fino che non incorpora circa 10 residui (Roach PJ et al. 2012). Agisce come substrato per gli altri due enzimi GS ed enzima ramificato che continuano il processo formando glicogeno. Recentemente è stato dimostrato come il glucosio può agire come accettore dal donatore UDP-glucosio in presenza di GS. Il donatore naturale per la glicogenina è l'UDP-glucosio. (Salsas e Larner 1975, Katz A et al. 2022). La degradazione coinvolge due enzimi: glicogeno fosforilasi ed enzima deramificante. La fosforilasi è limitata per la glicogenolisi (Katz A et al. 2022) ed esiste in due forme: fosforilata A (attiva) o non fosforilata B (inattiva nel muscolo a riposo). Entrambe sono soggette a regolazione da parte di AMP, IMP, Ca²⁺, disponibilità di glicogeno, modifiche covalenti mediante reazioni di fosforilazione/defosforilazione. Queste modificazioni portano ad attivazione di PK e di conseguenza della glicogeno fosforilasi (Alghannam AF et al. 2021). Tramite questi meccanismi la fosforilasi B può essere convertita nella forma A, ovvero attiva. In sintesi la degradazione di glicogeno avviene in funzione di questi due enzimi con azioni opposte: fosforilasi e GS.

1.5 Glicogeno nella fase di recupero

Come detto in precedenza, il recupero post esercizio è caratterizzato da diversi fattori: reidratazione, rigenerazione e riparazione dei tessuti danneggiati, ripristino delle riserve di glicogeno esaurite (Alghannam AF et al. 2021). In particolare è rilevante il ripristino delle riserve endogene di carboidrati. Il tempo necessario per ripristinare il glicogeno è influenzato da quattro fattori: il grado di esaurimento delle riserve dopo l'allenamento, l'entità del danno muscolare, quantità e tempo di assunzione dei carboidrati e livello di allenamento del soggetto (Anita B. 2017). Più è elevato il grado di deplezione e maggiore sarà il tempo necessario per il ripristino, questo dipende principalmente dalla durata e dall'intensità dell'allenamento (Anita B. 2017). L'intensità e la durata dell'esercizio sono i due fattori che incidono principalmente sui tassi di degradazione del glicogeno. Maggiore è l'intensità dell'esercizio e maggiore sarà la richiesta di glicogeno. La degradazione aumenta linearmente all'aumentare dell'intensità e diminuisce col passare del tempo (Alghannam AF et al. 2021). Come spiegato nella review scritta da Alghannam AF et al. nel 2018 nella prima fase di recupero post esercizio di endurance il tasso di ossidazione dei lipidi è molto elevato, questo avviene poiché il corpo ha l'esigenza primaria di risintetizzare i carboidrati utilizzati; di conseguenza attua un risparmio nell'ossidazione dei carboidrati a favore di quella dei lipidi. La risintesi di glicogeno inizia immediatamente dopo la fine dell'esercizio e resta più veloce durante le prime ore del recupero. Può essere scandita in due fasi: un primo e rapido aumento della produzione di glicogeno che avviene indipendentemente dalle concentrazioni di insulina, in questo arco di tempo l'azione di GLUT4, trasportatore del glucosio, raddoppia, assieme a un'aumentata attività di GS. Questa fase insulino-indipendente avviene solo quando il glicogeno è esaurito a livelli criticamente bassi ($150\text{mmol}\cdot\text{kg}$). La seconda fase avviene dopo l'ora dal termine dell'esercizio e ad una velocità sostanzialmente inferiore, circa l'80% in meno. Caratterizzata dalla affinità di glucosio e GS per l'insulina. Il periodo di tempo in cui la sensibilità insulinica rimane elevata dipende da quanti carboidrati vengono ingeriti e dalla quantità di glicogeno che viene ripristinata (Alghannam AF et al. 2018).

Capitolo 2

2.1 Principali macronutrienti

I nutrienti sono composti essenziali nella dieta dell'individuo, infatti servono per sostenere i processi fisiologici. Si dividono in due grandi categorie: macronutrienti e micronutrienti (Espinosa-Salas S, Gonzalez-Arias M 2023). I macronutrienti principali sono proteine, carboidrati e lipidi e sono i composti richiesti in maggiore quantità per il corretto funzionamento dell'organismo. "Svolgono un ruolo fondamentale nella fornitura di energia, nella sintesi di molecole strutturali, nella produzione di ormoni e nella regolazione dei percorsi metabolici" (Espinosa-Salas S, Gonzalez-Arias M 2023). Anche i micronutrienti sono composti essenziali nella dieta, a differenza dei macronutrienti sono richiesti in quantità inferiori. I principali sono le vitamine, i minerali e gli antiossidanti e hanno importanti ruoli in processi biochimici, servono per la crescita, lo sviluppo, il metabolismo e il funzionamento del corpo (Cena H, Calder PC 2020). Di seguito è riportata una disamina sui tre principali macronutrienti, che essendo la principale fonte di energia per il corpo, rappresentano un punto importante per questa discussione.

2.2 Carboidrati

I carboidrati sono uno dei tre macronutrienti (Vitale K, Getzin A 2019) e sono ingredienti molto abbondanti negli alimenti. Costituiscono la principale fonte di energia nella dieta fornendo il 40/80% dell'apporto totale di energia (Kiely LJ, Hickey RM 2022).

Strutturalmente sono formati da tre molecole principali ovvero carbonio, ossigeno e idrogeno. La classificazione primaria ha carattere chimico, in particolare in base al singolo monomero, al grado di polimerizzazione e al tipo di legame (Cummings JH, Stephen AM 2007). In base a questo si distinguono quattro tipologie: monosaccaridi, disaccaridi, oligosaccaridi e polisaccaridi. La struttura più semplice è quella dei monosaccaridi, formati da una sola unità di zucchero/saccaride. Grazie alla struttura semplice è l'unica forma assorbita a livello dell'intestino tenue. I monosaccaridi più comuni nel corpo umano sono fruttosio e glucosio, presentano tra loro delle differenze a livello della struttura che ne determina funzioni diverse. Chimicamente vengono distinti in due principali famiglie in base alla tipologia di gruppo carbonilico: aldeidi e chetoni. I disaccaridi nascono

dall'unione di due monosaccaridi mediante legame glicosidico. I principali sono mannosio, lattosio e saccarosio. Quest'ultimo nasce dall'aggregazione di fruttosio e glucosio ed è lo zucchero più importante per la dieta umana, fornisce il 14% dell'energia totale (Kiely LJ, Hickey RM 2022). Gli oligosaccaridi sono catene contenenti da 3 a 10 monosaccaridi, man mano che le catene si allungano la digestione ad opera dell'organismo diventa più difficile; infatti la maggior parte degli oligosaccaridi riesce ad essere digerita nell'intestino crasso tramite fermentazione. I polisaccaridi sono polimeri naturali, chiamati generalmente glicani, sono formati da molti monosaccaridi uniti da legami O-glicosidici. Si dividono in due famiglie omopolisaccaridi e eteropolisaccaridi in base a se contengono una tipologia o più tipologie di monosaccaridi. Hanno importanti funzioni nutrizionali e di riserva e sono coinvolti nell'immagazzinamento di energia. I carboidrati infatti sono principalmente substrati utilizzati per la produzione di energia, ma influenzano anche altre condizioni tra cui il senso di sazietà, la glicemia e l'insulina e hanno grande influenza sulla sfera intestinale (Cummings JH, Stephen AM 2007). Per quanto riguarda il loro principale scopo, ovvero quello energetico, il glucosio è la molecola di principale importanza.

2.2.1 Carboidrati come sorgente di energia

Il glucosio è il precursore per la formazione del glicogeno, un polimero ramificato che viene conservato come riserva energetica durante il riposo e utilizzato per produrre energia secondo necessità. Infatti, come spiegato nel capitolo precedente, è il substrato principalmente utilizzato durante esercizi ad alta intensità. Risulta evidente come la quantità di glucosio ingerita sia una componente fondamentale nel tasso di risintesi del glicogeno (Alghannam AF et al. 2018). Gli studi scientifici eseguiti in tale ambito portano a dire che l'ingestione di 6-12 g di carboidrati per chilo di massa corporea bastano per ripristinare le riserve energetiche, questo però quando si hanno a disposizione tempi di recupero elevati (più di 24 ore). Per molti atleti, che spesso affrontano anche più allenamenti al giorno, il tempo a disposizione per il recupero non è sufficiente a ripristinare interamente il contenuto di glicogeno muscolare, questo può influenzare la qualità degli allenamenti successivi. Quando si ha a disposizione un recupero limitato (inferiore alle 8 ore) le capacità prestantive non vengono completamente ripristinate (Alghannam AF et al. 2018). In quest'ottica sta assumendo sempre maggiore importanza il ruolo della corretta

nutrizione nel periodo di recupero, in modo da ripristinare le riserve di carboidrati endogeni nel modo più veloce ed efficace possibile. Essendo il glucosio la molecola che compone il glicogeno, l'assunzione di carboidrati in questa fase gioca un ruolo molto importante. Secondo la posizione di comune accordo dell'Academy of Nutrition and Dietetics (AND), dei Dietitians of Canada (DC) e dell'American College of Sports Medicine (ACSM) è necessario assumere 5-7 g/kg/giorno di carboidrati se si esegue esercizio moderato (1 ora al giorno), da 6 a 10 g/kg/giorno per esercizio di intensità moderata (1-3 ore) e anche fino a 8-12 g/kg/giorno per soggetti con livelli estremi di attività fisica (4-5 ore di esercizio a intensità moderata) ad esempio per gli atleti di endurance e ultrarunning. Per massimizzare le riserve di glicogeno negli atleti è raccomandata una dieta molto ricca di carboidrati, in particolare l'assunzione da 8 a 12 g/kg/giorno di carboidrati (ISSN: International Society of Sports Nutrition).

2.2.2 Quantità, tipo di assunzione, tempi di assunzione dei carboidrati

Appreso che ingerire carboidrati sia di primaria importanza per la risintesi del glicogeno, ci sono dei fattori secondari che possono modificare le tempistiche della risintesi, come la quantità di assunzione dei carboidrati, il tempo e il tipo di assunzione. Per quanto riguarda la quantità di carboidrati da ingerire durante il recupero si deve considerare un aspetto molto importante ovvero l'entità della deplezione del glicogeno muscolare. Quest'ultima ha un grande range di variabilità in base all'allenamento che viene svolto, può variare in un intervallo da 25 a 255 mmol·kg⁻¹·h⁻¹ (Alghannam AF et al. Nutrients 2018). Minore sarà il contenuto di glicogeno e maggiore sarà la necessità di assorbire velocemente il glucosio e questo causa diversità nella risintesi. Inoltre, come spiegato nella metanalisi ad opera di Betts JA e Williams C nel 2010 esiste una significativa correlazione positiva tra quantità di carboidrati ingerita e tasso di risintesi del glicogeno durante il recupero a breve termine. Dalle recenti ricerche scientifiche in tale ambito viene suggerito che la migliore quantità per massimizzare la risintesi del glicogeno sia di circa 1,2 g di carboidrati·kg⁻¹·h⁻¹ e che carboidrati aggiuntivi non conducano ad ulteriori incrementi (Alghannam AF et al. 2018). Per quanto riguarda la tipologia di carboidrati ingeriti il principale fattore nel determinare la risintesi è l'assorbimento di glucosio mediato dall'insulina, che varia in carboidrati a basso e alto indice glicemico. I carboidrati a elevato indice glicemico causano

maggiori picchi di aumento di insulina, risultano quindi più utili nell'aumentare l'assorbimento di glucosio. L'indice glicemico serve per capire gli effetti che i diversi alimenti hanno sui livelli di zucchero nel sangue. Misura la velocità con cui il cibo riesce a essere digerito e trasformato in glucosio, più veloce avviene questa trasformazione e maggiore è l'indice glicemico. Scegliere cibi con un alto indice glicemico può aiutare a far entrare più rapidamente il glucosio nelle cellule per iniziare a sintetizzare glicogeno (Anita B. 2017). Sembra che se assunti singolarmente glucosio e saccarosio siano più efficaci nella stimolazione insulinica rispetto al fruttosio. Se assunti in modo combinato sembra che la combinazione migliore sia assumere miscele di glucosio e fruttosio per fornire una miscela in grado di ripristinare il glicogeno sia epatico che muscolare e nel contempo non creare problematiche gastrointestinali. Per questo motivo il saccarosio, che contiene quantità uguali di glucosio e fruttosio sembra risultare il disaccaride più favorevole (Alghannam AF et al. 2018). L'ingestione di carboidrati in forma solida o liquida non sembra apportare differenze nel tasso di risintesi. L'altro elemento che risulta determinante per un recupero in tempi brevi è il timing di assunzione dei carboidrati. Infatti dopo la fine dell'esercizio, quando i depositi di glicogeno sono esauriti, c'è un arco di tempo in cui il flusso di sangue ai muscoli rimane elevato e la sensibilità all'apporto di sostanze nutritive è più elevata, grazie all'aumento della sensibilità all'insulina con conseguente maggior assorbimento di glucosio. Per questo motivo è meglio assumere i carboidrati in tempi non troppo lontani dal termine dell'allenamento quando si hanno a disposizione periodi di recupero brevi. Infatti dalla conduzione di un studio in tale campo è emerso che fornendo immediatamente carboidrati dopo esercizio il tasso di recupero nelle ore successive era di $25 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, mentre il tasso di risintesi era solamente 14 mmol aspettando 2 ore in più nel fornire i nutrienti (Alghannam AF et al. 2018). Avendo a disposizione periodi di recupero più lunghi la tempistica di assunzione dei carboidrati non assume più un ruolo così determinante.

2.3 Proteine

La struttura della proteina è formata dall'unione di 20 diversi amminoacidi legati tra loro da legami peptidici. Le catene di amminoacidi si combinano tra loro a formare proteine con diverse strutture: struttura primaria, secondaria, terziaria, quaternaria (Coazzini I. et al. 2006). Si possono definire gli amminoacidi come "sostanze organiche contenenti sia gruppi

amminici che acidi” (Wu G. 2009). Tutti gli amminoacidi (tranne la prolina) hanno un atomo di carboni asimmetrico cui sono legati 4 diversi gruppi: presentano infatti un gruppo carbossilico, un gruppo amminico, un atomo di idrogeno e differiscono per la catena laterale R. La variazione della catena laterale conferisce proprietà e funzioni biologiche diverse (Coazzini I. et al. 2006). In natura ne esistono oltre 300 tipologie. Gli amminoacidi proteogenici, ovvero quelli che vengono normalmente incorporati nella sintesi proteica, sono 20. Di essi, 10 sono definiti essenziali poiché il nostro corpo non è in grado di sintetizzare lo scheletro di carbonio che li compone e vanno quindi introdotti con la dieta. Gli amminoacidi essenziali sono arginina, fenilalanina, isoleucina, istidina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano e valina. Tutti i 20 amminoacidi fondamentali e i rispettivi metaboliti sono necessari per la normale fisiologia cellulare (Wu G. 2009). Peptidi e proteine sono polimeri di amminoacidi e in base al numero possono aggregarsi a formare dipeptidi, tripeptidi, oligopeptidi e polipeptidi. I polipeptidi (proteine) possono contenere da 40 a 4000 amminoacidi (Coazzini I. et al. 2006). Oltre il loro ruolo di elementi costitutivi delle proteine alcuni amminoacidi sono regolatori dei processi metabolici, questi vengono chiamati amminoacidi funzionali e sono arginina, cisteina, glutammina, prolina, leucina e triptofano. Sono coinvolti nella crescita, nella riproduzione e nell'immunità dell'organismo aiutando a mantenerne lo stato di salute (Wu G. 2009). Le proteine sono di enorme importanza nell'organismo perché sono i componenti principali dei tessuti nel corpo umano. Gli amminoacidi sono precursori importanti nella sintesi delle proteine e dei peptidi, principalmente, ma anche degli ormoni e di altre sostanze azotate importanti per i meccanismi fisiologici come: RNA, DNA dopamina, serotonina, glutazione ecc (Wu G. 2016).

2.3.1 Proteine come sorgente di energia

Anche il metabolismo delle proteine, oltre a quello di grassi e carboidrati, è collegato alla produzione di energia, infatti molti processi riguardanti queste molecole necessitano di energia. Tra i principali ci sono il turnover proteico, il trasporto di amminoacidi, la formazione di basi azotate, il riassorbimento e l'eliminazione di amminoacidi e metaboliti rispettivamente (Wu G. 2016). “Il metabolismo proteico durante dopo l'esercizio è influenzato da sesso, età, intensità, durata e tipo di esercizio, assunzione di energia e disponibilità di carboidrati” come viene scritto nella pubblicazione *“Nutrizione e prestazioni atletiche”* del 2016

(Thomas DT et al. 2016). Secondo le direttive RDA (Recommended Daily Allowances), tramite l'esecuzione di studi sul bilancio dell'azoto, è emerso che la dose di proteine raccomandata per un adulto sano è $0,8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ di peso corporeo ogni giorno (Thomas DT et al. 2016). Questa quantità è adatta a individui che eseguono attività fisica minima, ma se l'attività fisica inizia ad essere più importante questa quantità di proteine va ad aumentare fino a $1,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ di peso corporeo, il doppio rispetto alla necessità basale. Oltre alla quantità di proteine ingerite, è necessario valutarne la qualità e consumare una quantità adeguata di proteine di alta qualità per permettere un corretta crescita e sviluppo. Quando si tratta di atleti e soggetti molto allenati, il dispendio calorico giornaliero aumenta di molto e di conseguenza anche il fabbisogno proteico. Il corpo è in equilibrio tra tassi di sintesi e degradazione di proteine. Durante l'esercizio si verifica uno stato catabolico e il tasso di ossidazione degli amminoacidi aumenta, questa condizione varia in base al tipo di esercizio svolto. Durante esercizio di endurance c'è un aumentato tasso di degradazione in tutto il corpo che supera la sintesi (Wu G 2016). Si verifica uno stato energetico negativo, che può essere ripristinato ad un bilancio positivo durante il recupero post esercizio, quando l'assunzione di amminoacidi ed energia è sufficiente. L'aumentato tasso di ossidazione proteica durante esercizio di resistenza ha portato alla necessità di un aumento dell'assunzione di proteine per il recupero (Thomas DT et al. 2016). Per quanto riguarda il consumo proteico negli atleti, utilizzare il metodo del bilancio dell'azoto risulta obsoleto, poiché è stato progettato per prevenire carenze nutrizionali. Con questa tipologia di soggetto l'obiettivo principale è fornire sufficienti proteine per l'adattamento all'allenamento e il miglioramento delle prestazioni (Thomas DT et al. 2016). E' stato riscontrato seguendo le direttive di AND, DC e ACSM che per gli atleti di resistenza servono da 1,2 a 2,0 g per kg di massa corporea di proteine, per gli atleti di ultra resistenza si può arrivare anche a tassi leggermente superiori (Vitale K, Getzin A 2019). Secondo questo punto di vista, fornito dall' American College of Sports Medicine, l'assunzione di proteine da 1,2 a 2,0 g/kg/giorno è ottimale per supportare il turnover proteico, l'adattamento metabolico, il rimodellamento e la riparazione dei tessuti (Thomas DT et al. 2016). Nell'ottica del bilancio energetico, sarebbe opportuno cercare di minimizzare l'ossidazione di amminoacidi a scopo energetico, risparmiandoli per la sintesi proteica, per fare questo è necessario un sufficiente apporto di carboidrati per soddisfare le spese energetiche richieste durante esercizio. Le proteine giocano un ruolo molto

importante anche durante il recupero post esercizio, in cui avviene l'MPS (muscular protein synthesis). Nell'articolo *"American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance"* è riportato che secondo studi eseguiti in laboratorio l'MPS dopo l'esercizio è ottimizzato dal consumo di proteine ad alto valore biologico. In particolare sono consigliati 10g di aminoacidi essenziali nelle prime fasi del recupero post esercizio (2 ore). Quindi, salvo eccezioni per atleti con peso al di fuori dello standard, sembra che un apporto di proteico di 0,25/0,3 g/kg di peso corporeo sia ottimale per la prima fase di recupero (Thomas DT et al. 2016).

2.4 Grassi

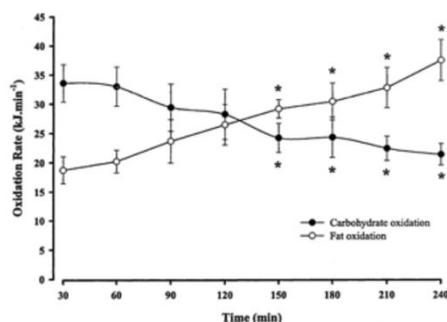
Il grasso nel nostro organismo si trova in diverse forme: come acidi grassi liberi nel plasma, trigliceridi intramuscolari oppure stoccato come tessuto adiposo (Thomas DT et al. 2016). I grassi sono costituiti per la maggior parte da trigliceridi, essi sono formati da un unità di glicerolo a cui sono legati 3 acidi grassi. Ogni acido grasso è composto da una catena di atomi di carbonio e idrogeno, alle cui estremità si trovano un gruppo metilico (CH₃) e un gruppo carbossilico (-COOH). In base alla struttura chimica si possono dividere in tre famiglie di acidi grassi: saturi, monoinsaturi e polinsaturi (Anita B. 2017). A seconda della percentuale di tipologia di grasso presente in un cibo esso può essere allo stato solido o liquido e varia l'effetto che ha sul corpo. I grassi saturi sono caratterizzati dal fatto che ogni carbonio è legato a un atomo di idrogeno, questo conferisce una forma solida alla struttura. I grassi saturi sono solidi a temperatura ambiente e hanno perlopiù origine animale. Se assunti in quantità eccessiva possono essere dannosi per la salute perché concorrono alla formazione di LDL con conseguente rischio di malattie cardiovascolari. Per questo motivo è consigliato limitare l'apporto di grassi saturi non oltre al 10% dell'introito energetico totale. Gli acidi monoinsaturi contengono un doppio legame nella catena di carbonio e formano meno legami con l'idrogeno. Si trovano solitamente in forma liquida ma possono solidificare a basse temperature. Nelle giuste quantità hanno effetti benefici sulla salute, infatti sono in grado di ridurre LDL. Possono ricoprire fino al 12% dell'apporto energetico totale. Nei grassi polinsaturi le catene di carbonio contengono molti legami e quindi si riesce a legare meno idrogeno. Per questo motivo si trovano solo in forma liquida. Una loro sottoclasse è rappresentata dagli acidi grassi essenziali, non vengono prodotti dall'organismo e vanno

integrati con la dieta, sono suddivisi in due gruppi principali: omega3 e omega6. I grassi sono quindi una componente importante della dieta poiché forniscono energia, elementi essenziali delle membrane e facilitano l'assorbimento di vitamine (Thomas DT et al. 2016).

2.4.1 Grassi come sorgente di energia

Il grasso fornisce una fonte di energia importante e un substrato disponibile per il muscolo durante esercizio di resistenza (Thomas DT et al. 2016). Durante l'esercizio di resistenza a bassa intensità il meccanismo che viene principalmente utilizzato per produrre energia in condizioni aerobiche è l'ossidazione dei lipidi. Questo meccanismo inizia con la lipolisi che permette la scissione dei trigliceridi per liberare acidi grassi, che vanno poi incontro alla fosforilazione ossidativa (Paoli A. et al. 2013). Tramite la β -ossidazione degli acidi grassi viene prodotto Acetil-CoA che nel mitocondrio consente poi la produzione di ATP. I depositi di grasso rappresentano il deposito energetico endogeno più grande del corpo umano, superiore di 60 volte alla quantità di energia che viene immagazzinata come glicogeno (Alghannam AF 2021). Nell'esercizio di endurance prolungato, l'utilizzo degli acidi grassi a scopo energetico rappresenta una fonte efficace di energia per soddisfare il fabbisogno energetico, risparmiando nel contempo le riserve di carboidrati; dunque consente il protrarsi dell'esercizio nel tempo. Il tasso di ossidazione dei grassi aumenta a partire da intensità di circa 25% del Vo_{2max} fino al 64% del Vo_{2max} , quest'ultimo valore è stato dimostrato essere l'intensità a cui avviene la massima ossidazione di acidi grassi (Juul Achten et al. 2004). La fonte di acidi grassi cambia durante l'esercizio, al 25% di Vo_{2max} essa è rappresentata dagli acidi grassi di origine plasmatica. Quando l'intensità si sposta a valori più alti (sempre nel range di ossidazione dei lipidi) sono i trigliceridi intramuscolari a fornire fino al 50% degli acidi grassi per la produzione di energia (Muscella A et al. 2020). A un'intensità bassa/moderata e durante esercizio prolungato è l'ossidazione dei grassi che permette di sostenere la maggior parte dei requisiti energetici. In particolare il metabolismo degli acidi grassi risulta determinante durante l'esercizio di resistenza passate le due ore di esercizio. Man mano che l'attività si prolunga le concentrazioni di glicogeno si riducono sempre più e la percentuale di grassi utilizzata aumenta. In media le scorte di glicogeno consentono di sostenere 90-180 min. di attività di endurance, sempre tenendo conto che maggiore è l'intensità maggiore sarà l'utilizzo del glicogeno. I grafici mostrano che dopo 180

minuti di attività di resistenza l'energia deriva in modo quasi esclusivo dall'ossidazione dei grassi (Anita B., 2017). Nella pubblicazione del 2002 Watt MJ et al. hanno tentato di definire l'utilizzo del substrato energetico durante 4 ore di esercizio condotte al 55% del Vo2max, ponendo l'attenzione in particolare sull'utilizzo del glicogeno e dei trigliceridi intramuscolari (IMTG). I risultati hanno riportato che l'ossidazione dei carboidrati è diminuita nelle ultime due ore di esercizio a causa della ridotta degradazione di glicogeno, per quanto riguarda l'ossidazione di IMTG nelle ultime due ore non si sono verificate riduzioni e inoltre c'è stato un importante aumento degli acidi grassi di origine plasmatica (FFA). Nelle prime due ore di esercizio invece la maggior parte di energia derivava sia da FFA plasmatici che dal glucosio, più una quota derivante da IMTG e glicogeno muscolare (MJ et al. 2002).



Esiste una dieta, praticata soprattutto da atleti di ultra resistenza, chiamata dieta chetogenica. Essa consiste nell'assumere più grassi a scapito dei carboidrati, risultando, dopo diverse settimane, in un adattamento metabolico che consiste nella dipendenza principalmente dai lipidi a scopo energetico (Volek JS 2016). Questo tipo di alimentazione viene utilizzato proprio perché durante l'allenamento prolungato a bassa intensità il metabolismo più utilizzato per produrre energia è rappresentato dall'ossidazione dei grassi, lo scopo è quello di riuscire a migliorare l'ossidazione dei grassi rispetto a quella del glucosio. Adattarsi ai grassi e eseguire esercizio a bassa intensità sembra che migliori la lipolisi e promuova la perdita di peso (Vitale K, Getzin A 2019). Tuttavia questa pratica può non risultare adatta per gli atleti, infatti questo tipo di dieta limita la capacità dell'atleta di allenarsi ad alta intensità e può influire negativamente sui risultati nella competizione. Abbiamo parlato di come una dieta molto ricca di grassi influisca sulla prestazione; è bene però ricordare che i grassi sono molecole fondamentali per il nostro organismo e svolgono ruoli molto importanti. Gli atleti che limitano in maniera esagerata i grassi (meno 20%

dell'energia totale) risultano a rischio di carenze nutrizionali; infatti possono incorrere nell'aver un basso apporto di vitamine liposolubili e acidi grassi essenziali, sia omega3 che omega6. Anche in questo caso non si è nelle condizioni ottimali per eseguire prestazioni agonistiche. Avere un corretto e bilanciato apporto di grassi risulta importante prima di tutto per la salute e in secondo luogo influenza anche le prestazioni sportive.

Capitolo 3

Dopo aver chiarito la composizione e il ruolo dei principali macronutrienti come fonte di energia per il nostro organismo, possiamo affermare che la nutrizione gioca un ruolo di fondamentale importanza anche in ambito sportivo. Una corretta alimentazione infatti, è importante per permettere un recupero ottimale dopo l'esercizio di resistenza (Moore DR 2015). Durante il periodo di recupero avvengono dei processi volti a ripristinare il più rapidamente possibile la funzionalità e le prestazioni muscolari, tra essi hanno un ruolo di fondamentale importanza il ripristino del glicogeno e il rimodellamento delle proteine del muscolo scheletrico. Per compiere questi due processi i substrati utilizzati sono forniti da carboidrati e proteine (Moore DR 2015). L'interesse di questa tesi è volto al primo di essi, ossia il ripristino delle scorte di glicogeno. Negli ultimi anni la teoria più sostenuta riguardo alla migliore strategia nutrizionale per promuovere il ripristino del glicogeno post esercizio sembra essere l'assunzione combinata di proteine e carboidrati. Di seguito vengono confrontati 5 paper scientifici recenti in cui sono testate diverse strategie nutrizionali sugli atleti di endurance, più precisamente su ciclisti e runners.

3.1

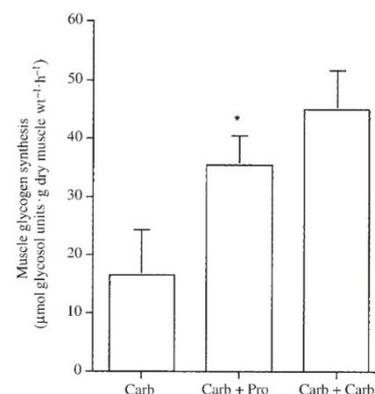
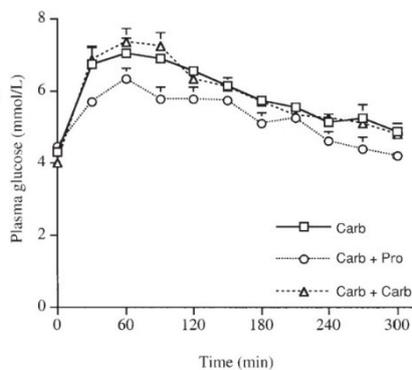
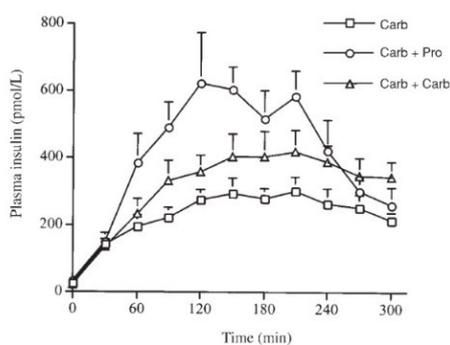
Nel primo studio viene testata l'ipotesi che un integratore combinato di proteine e carboidrati (Cho-Pro) sia più efficace rispetto a integratori di carboidrati con equivalenza calorica (HCHO) o a un integratore con uguale contenuto di carboidrati (LCHO) (Ivy JL. 2004). Per fare questo sono stati testati 7 soggetti maschi allenati, tutti sono stati sottoposti a un protocollo di esercizio che consisteva in 2 ore di pedalata al 65/70% del Vo_{2max} al termine delle quali il soggetto eseguiva una serie di sprint intervallati da 1 minuto al massimo sforzo. La prova terminava quando il glucosio plasmatico scendeva sotto le 3,89mmol/l. Dopodiché veniva somministrato ai soggetti un integratore subito dopo la fine dell'esercizio e di nuovo a distanza di 2 ore dal termine. Hanno eseguito lo stesso protocollo di esercizio tre volte in occasioni separate, e ogni volta è stato fornito loro un integratore diverso. I tre integratori erano: carboidrati + proteine (CHO-Pro), contenente 80 g di carboidrati + 28 g di proteine + 6 g di grassi; HCHO contenente 108 g di carboidrati + 6 g di grassi; e LCHO contenente 80 g di carboidrati + 6 g di grassi. I livelli di glicogeno sono stati misurati tramite spettroscopia NMR C-C. La scansione NMR è stata eseguita a riposo

prima dell'esercizio, subito dopo il termine dell'esercizio e a distanza di 20, 40, 60, 120, 180, 240 minuti di recupero, per un totale di 7 scansioni C-NMR. Il prelievo del sangue è stato eseguito a riposo prima dell'esercizio, subito dopo il termine, a 30, 60, 120, 150, 180, 210, 240 minuti di recupero. I risultati non hanno mostrato differenze significative nel contenuto di glicogeno durante il periodo subito dopo la fine dell'esercizio, in cui le concentrazioni di glicogeno erano risalite circa a 41mmol/l. Durante le 4 ore di recupero il ripristino del glicogeno è nettamente migliorato durante il trattamento Cho-Pro rispetto a LCHO e HCHO tra i quali non sono state riscontrate differenze. In particolare nel trattamento Cho-Pro dopo 4 ore il glicogeno risintetizzato è stato il 46,8%, in LCHO è stato il 28% e in HCHO del 31,1%. Il p value calcolato sulla base dei risultati è inferiore a 0,05 quindi si può dire che siano risultati statisticamente significativi per affermare che il ripristino del glicogeno nelle 4 ore post esercizio intensivo è migliorato con un integratore di carboidrati e proteine, fornendo gli integratori subito dopo il termine dell'esercizio e a due ore di distanza dalla fine. (Ivy JL. 2004).

3.2

Il secondo paper riguarda ancora l'utilizzo delle proteine nell'integrazione post esercizio assieme ai carboidrati. Gli obiettivi principali di questo studio sono di dimostrare come l'ingestione di una miscela di idrolizzato proteico e amminoacidi assunti assieme ai carboidrati ($0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) possano accelerare la sintesi del glicogeno, poiché le proteine hanno la funzione di aumentare le concentrazioni di insulina nel plasma e ciò conduce a un maggiore intake di glucosio e di conseguenza migliore sintesi di glicogeno. Il secondo obiettivo è quello di determinare se la sintesi del glicogeno può aumentare incrementando l'introito di carboidrati (van Loon LJ et al. 2000). Vengono testati otto soggetti tra ciclisti maschi ben allenati e triatleti, sottoposti a un protocollo che prevede tre test per la deplezione del glicogeno, dopo i quali vengono somministrati diversi integratori nella fase di recupero. Il protocollo in questo caso consisteva in 10 minuti riscaldamento, al termine del quale si ripetevano 2 minuti a intensità elevatissima 90% W_{max} e poi 2 minuti a 50% W_{max} , procedendo con questa alternanza finché l'atleta non era in grado di completare i 2 minuti al 90%. A questo punto l'intensità dei blocchi veniva calata prima a 80% e poi a 70%, sotto il 70% il test terminava. In media i ciclisti eseguivano 45 blocchi ad alta intensità per un totale di più di 90 min di pedalata. Lo studio è strutturato in modo

simile al precedente, in questo il periodo di recupero è di 5h durante le quali vengono forniti integratori differenti nei tre test: carb trial (0,8 g carboidrati $\text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), carb+pro trial (0,8 carboidrati e 0,4 amminoacidi e proteine idrolizzate), carb+carb trial (1,2 g carboidrati $\text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$). I nutrienti sono stati forniti sotto forma di bevanda e assunti a 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 e 270 minuti del recupero. I metodi utilizzati per analizzare sono stati la biopsia muscolare (immediatamente dopo termine esercizio e la seconda al termine dei prelievi di sangue) e prelievi di sangue (tramite un catetere) ogni 30 minuti fino a 300 minuti post fine esercizio. I risultati hanno riportato che l'ingestione di una miscela di idrolizzato proteico con leucina e fenilalanina in combinazione coi carboidrati conduce durante il recupero a una risposta insulinica dell' 88% più elevata rispetto al protocollo con soli carboidrati ($P < 0.05$). La risposta del glucosio plasmatico è stata di conseguenza inferiore con carb+pro rispetto a solo carb. Con l'assunzione di 0,8 g di carboidrati e l'aggiunta della miscela proteica la sintesi del glicogeno era del 113% maggiore. Questo aumento è spiegato dall'aumento delle concentrazioni di insulina con integratori carb+pro. Infatti l'insulina stimola l'attivazione del trasportatore di glucosio GLUT-4 e di conseguenza l'utilizzo del glucosio da parte delle cellule muscolari. Dunque sia la disponibilità di glucosio che i livelli di concentrazione di insulina sono determinanti nell'aumentare la velocità di assorbimento del glucosio dei muscolo scheletrico e di conseguenza la possibilità di ripristinare velocemente il glicogeno. Questo studio mostra chiaramente che tassi maggiori di risintesi sono ottenuti attraverso l'assunzione di 1,2 g $\cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ di carboidrati rispetto a 0,8 g $\cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ di carboidrati quando gli integratori sono forniti a 30 minuti di distanza ($P < 0.05$). Questo può essere spiegato dal fatto che i carboidrati non sono in grado di mantenere elevati i livelli di insulina e glucosio plasmatico a lungo (a differenza delle proteine) e per questo motivo assumerli con maggiore frequenza risulta efficace nello scopo di migliorare la sintesi del glicogeno. Questa ipotesi è stata confermata da questo studio, infatti è stato osservato un chiaro aumento della sintesi di glicogeno quando l'ingestione di carboidrati è stata aumentata da 0,8 a 1,2 g ogni 30 minuti di intervallo. Anche l'aumento nell'ingestione di carboidrati a intervalli di 30 minuti porta a un incremento (170%) della velocità di risintesi del glicogeno.

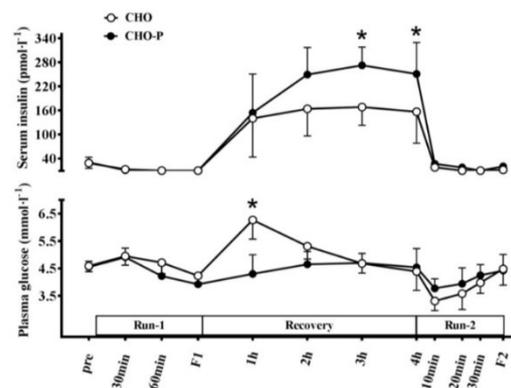
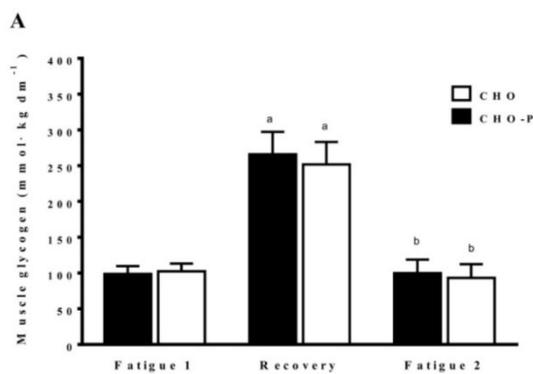


La differenza principale tra i primi due studi è il timing di assunzione dei nutrienti durante il recupero, infatti nel primo (Ivy JL et al. 2002) gli integratori venivano assunti a distanza di due ore l'uno dall'altro mentre nel secondo (van Loon LJ et al. 2000) le bevande per il recupero venivano assunte ogni 30 minuti durante le 4,5 ore di recupero. Nel primo è emerso che i tassi di risintesi erano più elevati con l'integratore Cho-Pro rispetto a HCHO questo può essere spiegato dal fatto che le proteine consentono di mantenere elevato l'indice insulinico per più tempo rispetto ai soli carboidrati, sebbene assunti in maggiore quantità, risultando in un aumento maggiore di sintesi di glicogeno. Nel secondo studio in cui i nutrienti erano assunti a breve distanza l'indice insulemico rimaneva elevato anche con l'assunzione di soli carboidrati, ed essendo assunti in maggior quantità nel trial carb+carb rispetto a carb+prot risultano in un incremento maggiore di risintesi del glicogeno.

3.3

Il terzo studio, a differenza di precedenti, ha esaminato il ruolo dell'ingestione di carboidrati e proteine durante il recupero a breve termine da una sessione di esercizio sul tapis roulant (Alghannam AF et al. 2016), gli atleti coinvolti erano dunque runner e non più ciclisti. Sei individui hanno eseguito due prove di corsa all'esaurimento al 70% del VO₂max intervallate da 4 ore di recupero. Nel recupero sono state ingerite bevande a base di carboidrati e proteine (CHO-P contenente 0,8 g di carboidrati·kg di massa corporea ·h⁻¹ più 0,4 g di proteine·kg BM⁻¹·h⁻¹) o bevande isocaloriche a base di carboidrati (1,2 g di carboidrati·kg BM⁻¹·h⁻¹) a intervalli regolari di 30 minuti. I risultati sono stati rilevati tramite biopsie muscolari. Nel recupero i livelli di concentrazione di glicogeno sono aumentati a 252 e 266 mmol kg dm⁻¹ rispettivamente in CHO e CHO-P, le concentrazioni di glicogeno

per i due trattamenti erano simili sia dopo la prima prova che dopo la seconda, rispettivamente 99 mmol kg dm⁻¹ dopo la prima e 3,3/3,5 mmol kg dm⁻¹ dopo la seconda. Questo risultato ha portato a dire che l'ingestione di 1,2 g di carbo x kg durante il recupero breve dopo esercizio esaustivo al tapis roulant accelera la risintesi del glicogeno allo stesso modo di quando si assumono carboidrati e proteine assieme. Questo studio ha esito concorde con il precedente, infatti anche in questo gli integratori venivano forniti a intervalli brevi di 30 minuti, dunque l'indice insulinico restava alto sia per l'integratore CHO-P che per quello CHO. In entrambe le prove con i diversi integratori le concentrazioni di glicogeno erano similmente basse, inoltre nella seconda prova in cui si partiva con livelli di glicogeno inferiori il tempo di corsa è stato minore (81 e 84 min per le prime prove, 51 e 49 minuti per le seconde), questo porta a confermare che la quantità di glicogeno è un fattore determinante per la capacità di esercizio. Inoltre una possibile spiegazione per la miglior efficacia della risintesi del glicogeno con integratore CHO-P, può essere che sia una strategia più efficace quando la dose di carboidrati è subottimale, ovvero $\leq 1 \text{ g} \cdot \text{kg BM}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ di carboidrati dopo una sessione di ciclismo esaustiva, oppure nel momento in cui intercorre molto tempo tra l'assunzione degli integratori, come visto nel primo studio.



3.4

Un altro studio utile a chiarire il ruolo di carboidrati e proteine nelle dinamiche del recupero post esercizio è quello di Berardi JM et al. del 2006. Lo scopo era valutare se gli integratori liquidi di carboidrati e proteine (C+P) migliorassero la sintesi di glicogeno rispetto a integratori isoenergetici di carboidrati (CHO) o a un pasto solido (PLB). Sono stati testati 6 ciclisti maschi, studiati sia con C+P che con CHO. Inoltre 4 di essi son stati studiati anche nella condizione PLB (pasto solido e integratori placebo). La dieta e il livello di

allenamento dei partecipanti è stato monitorato durante il periodo precedente la prova, poi sono stati sottoposti a una sessione di ciclismo al massimo sforzo di 60 minuti. Durante il recupero hanno assunto i diversi integratori 10, 60, 120 minuti dopo l'esercizio e dopo 240 minuti di recupero hanno assunto un pasto solido. In questo caso PLB ha ricevuto un pasto più abbondante per garantire un'assunzione di energia costante in tutti e 3 i trattamenti durante il recupero di 6 ore. Dopodiché sono stati sottoposti di nuovo allo stesso esercizio. Sono state valutate le concentrazioni di glicogeno tramite C-NMR sia a riposo che dopo le due prove. Dai risultati emerge che tra la prima prova e la seconda prova la risintesi del glicogeno era significativamente maggiore con C+P rispetto a PLB e CHO. La concentrazione totale di glicogeno prima della seconda prova rispetto ai valori basali era 85% per C+P, 81% per CHO e 68% per PLB. Per quanto riguarda la distanza percorsa durante primo e secondo test non ci sono state differenze tra le tre integrazioni. In tutte le 3 prove c'è stato un effetto nelle tempistiche, con una riduzione di 1,2 km nella seconda prestazione rispetto alla prima. La principale constatazione che emerge è che gli integratori liquidi C+P somministrati da subito durante il recupero migliorano la risintesi di glicogeno rispetto a integratori liquidi isoenergetici di CHO e a un pasto isoenergetico consumato dopo 4 ore dal termine. In particolare $6,42 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ in più tra C+P e CHO e $10,12 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ tra C+P e PLB ($P \leq 0,05$). Tra CHO e PBL non sono state riscontrate differenze significative. Anche questo studio conferma la teoria che l'aggiunta di proteine sia benefica per il ripristino delle scorte di glicogeno. Inoltre è emerso che l'aumento delle concentrazioni di glicogeno in C+P non implica un miglioramento della prestazione in questo studio. Una possibile spiegazione è l'intensità non eccessivamente elevata dell'esercizio, che può non essere sufficiente a esaurire completamente le scorte di glicogeno. Bisogna tenere presente che queste tipologie di test seppur simili tra loro sono influenzate dalle differenze nei tempi di ingestione e nelle quantità di energia totale fornite dai nutrienti durante il recupero. Interessante notare che qui gli integratori vengono assunti subito e a distanza di una e due ore, quindi a intervalli più brevi rispetto al primo studio analizzato. Nonostante ciò l'integratore con proteine risulta più efficace, effetto che sembrava diminuire quando gli integratori si assumevano a intervalli più brevi, come nel secondo e terzo studio.

3.5

L'ultimo paper riguarda il terzo macronutriente fondamentale, di cui non si è ancora discusso, ovvero i grassi. In particolare nell'ambito dell'endurance è stata introdotta una tipologia di dieta chiamata dieta chetogenica. Consiste principalmente nell'alimentarsi con un alto contenuto di grassi e basso contenuto di carboidrati. Alimentandosi con un regime alimentare povero di carboidrati, ricco di grassi e con un normale introito proteico per molte settimane, i livelli di glicogeno diminuiscono significativamente e parallelamente aumenta la produzione di chetoni ad opera del fegato, per sostituire il glucosio e fornire energia al cervello. La gluconeogenesi fornisce gli elementi alle cellule dipendenti dalle glicolisi, mentre gli acidi grassi diventano la fonte di energia per i muscoli scheletrici. Questa dieta viene utilizzata soprattutto dagli atleti di ultra resistenza, questo gli permette di riuscire a derivare più del 90% del carburante dall'ossidazione degli acidi grassi durante esercizio al 64% del Vo_{2max} . Lo studio di Volek JS et al. del 2016 mette a confronto 20 atleti di endurance (ultra maratona e ironman) divisi in due gruppi: un gruppo di 10 atleti cheto adattati (LC, 82 g/carbo/giorno) e un gruppo di 10 atleti che consumano molti carboidrati (HC, 684 g/carbo/giorno). Vengono sottoposti a un test massimale a gradini e una corsa submassimale di 180 minuti al 64% del Vo_{2max} . I risultati hanno mostrato che l'ossidazione massima dei grassi era 2,3 volte più alta nel gruppo LC rispetto HC. L'ossidazione dei carboidrati era significativamente inferiore in LC però le concentrazioni di glicogeno muscolare non erano differenti tra i due gruppi. Questo sembrerebbe opporsi all'idea che le diete chetogeniche riducano la concentrazione di glicogeno muscolare. La spiegazione a questo risultato può essere data dal lattato e dal glicerolo, le cui concentrazioni erano due volte più elevate in LC ma che poi sono diminuite durante il recupero. Presumibilmente per fornire molecole per la sintesi del glicogeno, che può avvenire per gluconeogenesi o ciclo di Cori. Questa ipotesi sul lattato è supportata da altri studi. Indipendentemente dal meccanismo è emerso dal presente studio che anche una dieta chetogenica porta a adattamenti nella regolazione del glicogeno. Importante precisare che in questo studio non sono state valutate le performance degli atleti, che potrebbero essere ben diverse tra LC e HC. Infatti il glicogeno viene utilizzato soprattutto ad alta intensità e meno in esercizi al 64% del Vo_{2max} come nel test sub massimale in questione. La numerosità dei soggetti che hanno partecipato allo studio è ridotta ed è importante tenere conto anche di questo. Infatti altri studi svolti sulle diete chetogeniche

hanno portato a risultati diversi, in futuro molto probabilmente saranno pubblicati ulteriori studi per aumentare la conoscenza riguardo all'argomento.

Discussione

Dall'analisi di questi studi condotti sugli atleti di endurance emergono varie considerazioni riguardo alle strategie nutrizionali da adottare durante il recupero. Come detto in precedenza, per un recupero ottimale è fondamentale che le riserve di carburante vengano ripristinate e che il tessuto danneggiato venga riparato. Dai peper analizzati sopra emerge l'importanza della tempistica e delle quantità di assunzione dei nutrienti, in modo particolare quando i periodi di recupero sono brevi ed è necessario un recupero più veloce possibile. Per quanto riguarda il timing di assunzione dei nutrienti sembra che la scelta ottimale sia assumere integratori a distanza di 30 minuti l'uno dall'altro e iniziando subito dopo il termine dell'allenamento. Con queste tempistiche non sono state evidenziate differenze tra integratori di soli carboidrati e carboidrati e proteine, a parità di apporto calorico. Per massimizzare la sintesi del glicogeno si possono anche assumere integratori di carboidrati+proteine, con questo tipo di alimentazione l'integrazione può avvenire anche a intervalli di due ore poiché le proteine aggiunte ai carboidrati consentono di mantenere alto l'indice glicemico più a lungo, rispetto ai soli carboidrati. L'aggiunta di proteine ha anche il vantaggio di favorire la sintesi proteica e ridurre la degradazione, risultando in una migliore riparazione dei tessuti. In particolare il primo (Ivy JL 2004) e il quarto studio (Berardi JM et al. 2006) analizzati dimostrano la maggior efficacia di un integratore contenente sia carboidrati che proteine nel migliorare il ripristino del glicogeno, quando gli integratori vengono assunti subito dopo l'esercizio e a distanza di una/due ore nel recupero. Di fondamentale importanza nell'integrazione post allenamento è iniziare subito dopo il termine dell'esercizio, poiché fornisce una fonte immediata di energia per iniziare i processi del recupero, sfruttando la maggior permeabilità del glucosio e l'aumento della sensibilità all'insulina che si verificano in questa fase (Ivy JL. 2004). Un ruolo determinante in questo contesto è assunto dalle quantità di carboidrati che vengono ingerite, infatti è stato dimostrato che maggiori quantità di carboidrati fino a 1,2 g di carboidrati x kg aumentano la sintesi del glicogeno rispetto a quantità inferiori. Sembra che la quantità ideale di carboidrati sia proprio 1,2 g di carboidrati x kg. Quando l'integrazione avviene a intervalli brevi di 30 minuti non risultano differenze nell'aumento del glicogeno, a parità di

contenuto calorico, tra integratori contenenti questa elevata quantità di carboidrati e quelli contenenti carboidrati e proteine. Quando la stimolazione insulinica rimane elevata a fare la differenza principale diventa la quantità dei carboidrati ingeriti. Un'altra considerazione nasce dal fatto che può essere difficile assumere una dose elevata di carboidrati e che quindi un integratore misto possa essere la strategia migliore nel momento in cui non si riesca ad assumere una dose ottimale di carboidrati (inferiore a 1,1 g/kg), questo viene compensato dall'aggiunta di proteine. Non è stato possibile tramite i 5 articoli fare un confronto in termini di quantità di glicogeno sintetizzata tra diete in cui si assumono molti grassi e diete in cui si assumono molti carboidrati, però dallo studio in questione emerge che anche con alimentazioni ricche di grassi avvengono adattamenti nella regolazione del glicogeno. Interessante il fatto che nello studio di Volek JS et al. del 2016 nel post esercizio non ci fossero differenze significative nelle concentrazioni di glicogeno, nonostante le diverse quantità di carboidrati ingeriti.

Conclusioni

Il ripristino del glicogeno dopo esercizio di endurance è una componente determinante per il recupero. Per massimizzare la risintesi di questa sorgente di carburante è importante iniziare a integrare con i carboidrati subito dopo il termine dell'esercizio. Se l'integrazione avviene solo tramite i carboidrati è consigliato assumere una quantità di 1,2 g/kg all'ora, meglio se assunta in piccoli pasti o ad intervalli frequenti di 30 minuti, per un massimo di 4/5 ore dopo l'esercizio (Jentjens R, Jeukendrup A. 2003). L'aggiunta di proteine all'integratore di carboidrati migliora l'efficienza di risintesi del glicogeno e inoltre aiuta a migliorare la crescita e la riparazione muscolare grazie alla presenza di proteine. Se si assumono integratori con entrambi i macronutrienti è consigliato assumere 0,8 g di carboidrati·kg⁻¹ peso corporeo più 0,2/0,4 g di proteine·kg⁻¹ subito al termine e due ore dopo il termine (Ivy JL. 2004). Questo tipo di integrazione risulta conveniente soprattutto nel caso non si riescano ad assumere sufficienti carboidrati durante il recupero (inferiore a 1,1 g/kg), oppure quando si preferisce assumere gli integratori con intervalli di tempo più lunghi (distanza di uno o 2 ore). Inoltre sarebbe bene scegliere carboidrati di qualità e con indice glicemico moderato/alto perché potrebbe portare a tassi di sintesi più elevati rispetto a carboidrati con basso indice glicemico (Jentjens R, Jeukendrup A. 2003).

BIBLIOGRAFIA

Bianco, Antonino, et al. *Principi Di Metodologia Del Fitness*. Erica, 2013.

Anita B. *Guida Completa All'alimentazione Sportiva*. Cesena (Fc), Erika, 2017.

Ivo Cozzani, et al. *Biochimica Degli Alimenti E Della Nutrizione*. Padova, Piccin, 2006.

Katz A. A century of exercise physiology: key concepts in regulation of glycogen metabolism in skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol*. 2022 Aug;122(8):1751-1772. doi: 10.1007/s00421-022-04935-1. Epub 2022 Mar 30. PMID: 35355125; PMCID: PMC9287217.

Alghannam AF, Gonzalez JT, Betts JA. Restoration of Muscle Glycogen and Functional Capacity: Role of Post-Exercise Carbohydrate and Protein Co-Ingestion. *Nutrients*. 2018 Feb 23;10(2):253. doi: 10.3390/nu10020253. PMID: 29473893; PMCID: PMC5852829.

Alghannam AF, Ghaith MM, Alhussain MH. Regulation of Energy Substrate Metabolism in Endurance Exercise. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 May 7;18(9):4963. doi: 10.3390/ijerph18094963. PMID: 34066984; PMCID: PMC8124511.

O'Connor E, Mündel T, Barnes MJ. Nutritional Compounds to Improve Post-Exercise Recovery. *Nutrients*. 2022 Nov 29;14(23):5069. doi: 10.3390/nu14235069. PMID: 36501099; PMCID: PMC9736198.

Stožer A, Vodopivec P, Križančić Bombek L. Pathophysiology of exercise-induced muscle damage and its structural, functional, metabolic, and clinical consequences. *Physiol Res*. 2020 Aug 31;69(4):565-598. doi: 10.33549/physiolres.934371. Epub 2020 Jul 16. PMID: 32672048; PMCID: PMC8549894.

Baker LB, Rollo I, Stein KW, Jeukendrup AE. Acute Effects of Carbohydrate Supplementation on Intermittent Sports Performance. *Nutrients*. 2015 Jul 14;7(7):5733-63. doi: 10.3390/nu7075249. PMID: 26184303; PMCID: PMC4517026.

Roach PJ, Depaoli-Roach AA, Hurley TD, Tagliabracci VS. Glycogen and its metabolism: some new developments and old themes. *Biochem J*. 2012 Feb 1;441(3):763-87. doi: 10.1042/BJ20111416. PMID: 22248338; PMCID: PMC4945249.

Betts JA, Williams C. Short-term recovery from prolonged exercise: exploring the potential for protein ingestion to accentuate the benefits of carbohydrate supplements. *Sports Med.* 2010 Nov

Cummings JH, Stephen AM. Carbohydrate terminology and classification. *Eur J Clin Nutr.* 2007 Dec;61 Suppl 1:S5-18. doi: 10.1038/sj.ejcn.1602936. PMID: 17992187.

Kiely LJ, Hickey RM. Characterization and Analysis of Food-Sourced Carbohydrates. *Methods Mol Biol.* 2022;2370:67-95. doi: 10.1007/978-1-0716-1685-7_4. PMID: 34611865.

Vitale K, Getzin A. Nutrition and Supplement Update for the Endurance Athlete: Review and Recommendations. *Nutrients.* 2019 Jun 7;11(6):1289. doi: 10.3390/nu11061289. PMID: 31181616; PMCID: PMC6628334.

Wu G. Dietary protein intake and human health. *Food Funct.* 2016 Mar;7(3):1251-65. doi: 10.1039/c5fo01530h. PMID: 26797090.

Wu G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids.* 2009 May;37(1):1-17. doi: 10.1007/s00726-009-0269-0. Epub 2009 Mar 20. PMID: 19301095.

Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2016 Mar;48(3):543-68. doi: 10.1249/MSS.0000000000000852. Erratum in: *Med Sci Sports Exerc.* 2017 Jan;49(1):222. doi: 10.1249/MSS.0000000000001162. PMID: 26891166.

Roach PJ, Depaoli-Roach AA, Hurley TD, Tagliabracci VS. Glycogen and its metabolism: some new developments and old themes. *Biochem J.* 2012 Feb 1;441(3):763-87. doi: 10.1042/BJ20111416. PMID: 22248338; PMCID: PMC4945249.

Cena H, Calder PC. Defining a Healthy Diet: Evidence for The Role of Contemporary Dietary Patterns in Health and Disease. *Nutrients.* 2020 Jan 27;12(2):334. doi: 10.3390/nu12020334. PMID: 32012681; PMCID: PMC7071223.

Espinosa-Salas S, Gonzalez-Arias M. Nutrition: Macronutrient Intake, Imbalances, and Interventions. 2023 Aug 8. In: *StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan–.* PMID: 37603617.

Hotfiel T, Freiwald J, Hoppe MW, Lutter C, Forst R, Grim C, Bloch W, Hüttel M, Heiss R. Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. *Sportverletz Sportschaden*. 2018 Dec;32(4):243-250. English. doi: 10.1055/a-0753-1884. Epub 2018 Dec 11. PMID: 30537791.

Margolis LM, Allen JT, Hatch-McChesney A, Pasiakos SM. Coingestion of Carbohydrate and Protein on Muscle Glycogen Synthesis after Exercise: A Meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2021 Feb 1;53(2):384-393. doi: 10.1249/MSS.0000000000002476. PMID: 32826640; PMCID: PMC7803445.

Moore DR. Nutrition to Support Recovery from Endurance Exercise: Optimal Carbohydrate and Protein Replacement. *Curr Sports Med Rep*. 2015

Ivy JL, Goforth HW Jr, Damon BM, McCauley TR, Parsons EC, Price TB. Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol* (1985). 2002 Oct

van Loon LJ, Saris WH, Kruijshoop M, Wagenmakers AJ. Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures. *Am J Clin Nutr*. 2000 Jul;

Alghannam AF, Jedrzejewski D, Bilzon J, Thompson D, Tsintzas K, Betts JA. Influence of Post-Exercise Carbohydrate-Protein Ingestion on Muscle Glycogen Metabolism in Recovery and Subsequent Running Exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2016 Dec;

Berardi JM, Price TB, Noreen EE, Lemon PW. Postexercise muscle glycogen recovery enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *Med Sci Sports Exerc*. 2006 Jun;38(6):1106-13. doi: 10.1249/01.mss.0000222826.49358.f3. PMID: 16775553.

Volek JS, Freidenreich DJ, Saenz C, Kunces LJ, Creighton BC, Bartley JM, Davitt PM, Munoz CX, Anderson JM, Maresh CM, Lee EC, Schuenke MD, Aerni G, Kraemer WJ, Phinney SD. Metabolic characteristics of keto-adapted ultra-endurance runners. *Metabolism*. 2016

Ivy JL. Regulation of muscle glycogen repletion, muscle protein synthesis and repair following exercise. *J Sports Sci Med*. 2004 Sep 1;3(3):131-8. PMID: 24482590; PMCID: PMC3905295.

Jentjens R, Jeukendrup A. Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med*. 2003;33(2):117-44. doi: 10.2165/00007256-200333020-00004. PMID: 12617691.

Achten, Juul, and Asker E Jeukendrup. "Optimizing Fat Oxidation through Exercise and Diet." *Nutrition*, vol. 20, no. 7-8, July 2004, pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15212756/, <https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.04.005>.

Muscella A, Stefàno E, Lunetti P, Capobianco L, Marsigliante S. The Regulation of Fat Metabolism During Aerobic Exercise. *Biomolecules*. 2020 Dec 21;10(12):1699. doi: 10.3390/biom10121699. PMID: 33371437; PMCID: PMC7767423.

Watt MJ, Heigenhauser GJ, Dyck DJ, Spriet LL. Intramuscular triacylglycerol, glycogen and acetyl group metabolism during 4 h of moderate exercise in man. *J Physiol*. 2002 Jun 15;541(Pt 3):969-78. doi: 10.1113/jphysiol.2002.018820. PMID: 12068055; PMCID: PMC2290362.

Ringraziamenti

Infine ci tengo a ringraziare chi mi ha aiutata e sostenuta durante questi tre anni di università e mi ha permesso di raggiungere questo traguardo. Ringrazio:

Prima di tutto la mia famiglia: Fabio, Sara, i miei fratelli Davide e Diego che mi hanno sempre supportato e aiutato quando ne ho avuto bisogno. Tra mille viaggi avanti e indietro tra Mori e la Val di Ledro e quando è servito anche a Padova.

Mia mamma che ancora una volta mi ha aiutata a non mollare, anche quando tutto andava male ed ero convinta di voler andare via da Padova. Mi ha insegnato a essere forte e non arrendermi davanti alle difficoltà.

Le mie nonne: Ester e Augusta, che anche se sono stata via mi sono sempre state vicine.

Marco e la sua famiglia che mi hanno ospitato da loro quando non trovavo un alloggio e tutte le volte in cui ho avuto il piacere di andare a trovarli. Un grazie speciale a Marco che c'è sempre per me e con cui condivido la passione per la montagna, lo sport di endurance e l'allenamento, grazie ai quali ho trovato l'idea per questa tesi.

Tutte le mie coinquiline: Caterina, Sara, Gioia, Anna e Angela, è stato bello condividere l'esperienza di vita universitaria con voi, ho passato tanti bei momenti che sono sicura non scorderò. In modo particolare a Caterina, la mia compagna di stanza durante questi 3 anni e che da quando ho conosciuto ha portato una ventata di allegria nella mia vita a Padova.

I miei amici e compagni di corso: Edoardo, Lorenzo, Francesco, Giacomo, Riccardo, Vittorio, Matteo, Elisa, Emma e Virginia che hanno reso lezioni e studio più divertenti. Grazie a Michele per i pranzi, pomeriggi di studi, momenti di confronto e viaggi in macchina passati assieme.

I miei amici della Val di Ledro, che nonostante la distanza porto sempre con me, sono sempre un punto di riferimento e il loro sostegno non manca mai.

La mia amica Vittoria, la persona con cui più di tutti ho condiviso questo percorso universitario, che c'è sempre stata per risolvere dubbi e incertezze. Con la quale ho condiviso ore di studio, appunti, ansie pre-esame, allenamenti, pranzi, risate e soprattutto tanti bei momenti. E' proprio vero che avere qualcuno al tuo fianco rende tutto più semplice e bello!