

Matricola n° 0000315158

ALMA MATER STUDIORUM

UNIVERSITA' DI BOLOGNA

FACOLTA' DI SCIENZE MOTORIE

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE MOTORIE

OTTIMIZZAZIONE DEL CONSUMO DEI GRASSI

NELL'ESERCIZIO FISICO MIRATO

Tesi di laurea in: *Teoria e Metodologia del Movimento Umano*

Presentata da

Michelangelo Ferriani

Relatore

Ch.mo Prof. Claudio Tentoni

Co-relatore

Dott. Roberto Senaldi

SESSIONE III

Anno Accademico 2009/2010

INTRODUZIONE

Consideriamo come sport l'insieme di attività compiute dall'individuo al fine di aumentare e/o mantenere il benessere psicofisico dell'organismo.

Comincia ad essere chiaro ormai come una ridotta attività durante la nostra vita quotidiana aumenti il rischio di patologie varie e morti ad esse correlate.

Nei soggetti sedentari, col tempo, oltre alla perdita di massa magra e ai disagi cardiovascolari e metabolici derivati dalla mancanza di attività, si verifica un netto aumento di massa grassa, associato ad una marcata lassità dell'apparato osteo-tendineo-muscolare.

Diversi studi hanno dimostrato che l'esercizio di tipo aerobico praticato con regolarità può limitare questa degenerazione e può comunque far recuperare un soddisfacente stato di forma anche nel caso si tratti di soggetti sedentari da lungo tempo.

Altri studi recenti hanno portato alla luce che si può personalizzare per ogni individuo un'intensità di lavoro, denominata Fatmax, alla quale il consumo di grassi risulta massimale.

Questa tesi è basata sull'osservazione di un soggetto sedentario di 55 anni durante lo svolgimento di 3 test preliminari e durante 8 settimane di allenamento somministrato in base ai risultati di tali test.

Scopo dei test è stato il rilevamento di frequenza cardiaca e quoziente respiratorio in un'ampia gamma di intensità di lavoro, al fine di individuare la F.C. associata al R.E.R. più vicino all'esclusivo consumo di lipidi e più a lungo mantenibile nell'esercizio di lunga durata.

Le otto settimane di allenamento sono state caratterizzate da diverse modalità d'esercizio, quali camminata su treadmill, pedalata su cicloergometro, step. Il soggetto ha mantenuto la F.C. stabilita per tutta la durata del ciclo di allenamenti.

Da questa osservazione si è potuto ricavare che i diversi tipi di esercizio sono di qualità differente per quanto riguarda l'ottimizzazione del consumo dei lipidi e in particolare la camminata su treadmill risulta essere l'esercizio svolto con intensità maggiore, a parità di F.C.

Inoltre, ogni singola seduta d'allenamento ha influito in maniera positiva sulle seguenti e l'insieme degli allenamenti svolti con cadenza regolare ha portato ad una perdita di massa grassa e ad un generale aumento delle prestazioni a parità di frequenza cardiaca.

I seguenti capitoli contengono una panoramica sul metabolismo lipidico durante l'esercizio aerobico e gli adattamenti prodotti da quest'ultimo, una descrizione delle modalità d'esercizio che portano all'ottimizzazione del consumo dei grassi e infine la descrizione dei test effettuati e il confronto fra i dati rilevati.

INDICE

CAPITOLO 1 - METABOLISMO LIPIDICO DURANTE L'ESERCIZIO FISICO	4
1.1 BREVE RICHIAMO SUL METABOLISMO LIPIDICO DI BASE	4
1.1.1 LIPIDI	4
1.1.2 LIPOPROTEINE	5
1.1.3 DIGESTIONE DEI LIPIDI	6
1.2 EFFETTI DELL'ESERCIZIO DI RESISTENZA SUL METABOLISMO LIPIDICO	8
1.2.1 METABOLISMO LIPIDICO NEL MUSCOLO SCHELETRICO	8
1.2.2 ADATTAMENTI DOVUTI ALL'ESERCIZIO AEROBICO	11
CAPITOLO 2 - ESERCIZI AEROBICI MIRATI AL CONSUMO DI LIPIDI	14
2.1 ESERCIZIO AEROBICO	14
2.1.1 ESERCIZIO AEROBICO GENERICO	14
2.1.2 ESERCIZIO AEROBICO E FATMAX	16
2.1.3 L'EFFICIENZA FISICA E L'OTTIMIZZAZIONE DEL CONSUMO DEI LIPIDI	20
2.2 ESPERIENZA EMPIRICA SULL'ESERCIZIO AEROBICO MIRATO	21
2.2.1 ORGANIZZAZIONE DELL'ALLENAMENTO	21
2.2.2 L'ALLENAMENTO OTTIMALE	22
2.2.3 DIFFERENZE TRA SINGOLI ESERCIZI	22
CAPITOLO 3 - TEST A CONFRONTO	24
3.1 SOGGETTO OSSERVATO E ATTREZZATURE	24
3.1.1 ANALISI GENERALE DEL SOGGETTO	24
3.1.2 MATERIALE UTILIZZATO DURANTE I TEST	25
3.2 TEST EFFETTUATI	26
3.2.1 TEST INCREMENTALE	26
3.2.2 TEST A CARICO COSTANTE	27
3.2.3 TEST DI ASTRAND	29
3.3 CONFRONTO DEI TEST	30
CONCLUSIONI	32
<i>Bibliografia</i>	33

CAPITOLO 1 - METABOLISMO LIPIDICO DURANTE L'ESERCIZIO FISICO

1.1 BREVE RICHIAMO SUL METABOLISMO LIPIDICO DI BASE

1.1.1 LIPIDI

I lipidi, o grassi, rappresentano un gruppo eterogeneo di composti, accomunati da proprietà chimico-fisiche, ubiquitari nei tessuti corporei e rappresentano la metà dei substrati che vengono ossidati. In particolare sono caratterizzati dalla insolubilità in acqua (idrofobi) e dalla solubilità in composti apolari.

Classificabili come acidi grassi, fosfolipidi, trigliceridi, steroidi, cere, glicolipidi, terpeni, i lipidi possono avere un ruolo strutturale, in quanto compongono in parte tutte le membrane cellulari e plasmatiche (fosfolipidi, fosfogliceridi, glicolipidi, colesterolo), funzione di deposito, nel caso la loro funzione sia energetica (trigliceridi e acidi grassi come fonte di energia per il metabolismo del fegato, del cuore e del muscolo scheletrico) e possono essere precursori di ormoni (steroidi), vitamine liposolubili, messaggeri intracellulari e altre sostanze che possono essere modulatrici delle risposte infiammatorie.

Caratteristica comune dei lipidi è la presenza di almeno un acido grasso.

Gli acidi grassi sono composti organici con un gruppo carbossilico, che rappresenta la porzione polare dell'acido grasso, e una catena carboniosa che rappresenta la porzione apolare.

In base al numero di atomi di carbonio presenti nella catena, distinguiamo in acidi grassi a catena corta (fino a 4 atomi di carbonio), media (da 5C a 10C) e lunga (oltre i 10C). Inoltre, gli acidi grassi possono essere saturi, nel caso tra gli atomi di carbonio vi siano legami singoli (esempio, acido palmitico), o insaturi nel caso vi siano uno o più legami doppi (acido linoleico).

I trigliceridi (detti anche triacilgliceroli) sono esteri neutri del glicerolo (alcol a tre atomi di carbonio con un gruppo ossidrilico OH per ogni atomo di carbonio) e sono formati da quest'ultimo e da tre acidi grassi a catena lunga che si legano al glicerolo tramite legame estere (con eliminazione, cioè, di una molecola d'acqua). Fortemente idrofobi, i trigliceridi rappresentano una gran parte dei lipidi di deposito, possiedono un elevato valore calorico e si trovano principalmente nel tessuto adiposo, dove rappresentano il 90% circa dei lipidi totali.

I fosfolipidi sono i lipidi strutturali di maggior importanza e comprendono gli sfingofosfolipidi e i glicerofosfolipidi; questi ultimi sono del tutto simili ai trigliceridi, ad eccezione della terza posizione di legame, dove al posto di un acido grasso troviamo l'acido fosforico, al quale si lega un gruppo alcoolico che differenzia i vari tipi di fosfolipidi.

La porzione polare è rappresentata dall'acido fosforico con il gruppo ad esso legato, mentre la porzione apolare è quella composta dagli acidi grassi.

Gli steroidi sono lipidi formati da quattro anelli di carbonio (tre a 6 atomi e uno a 5), collegati spesso ad una coda alchilica. Lo steroide di maggior importanza è il colesterolo, alcool steroideo componente delle membrane cellulari, delle quali limita la fluidità. Molto abbondante nella guaina mielinica, alla quale conferisce qualità isolanti, è la base da cui derivano gli ormoni steroidei, la vitamina D e i sali biliari.

A partire dal colesterolo vengono prodotti gli acidi biliari, che si distinguono in primari, prodotti dal fegato e secreti nella bile, e secondari, che si formano nell'intestino per trasformazione dai primari.

I sali di sodio, o potassio, degli acidi biliari sono detti sali biliari.

1.1.2 LIPOPROTEINE

Le lipoproteine plasmatiche sono combinazioni di proteine specifiche (apolipoproteine, o apoproteine) con fosfolipidi, trigliceridi, esteri del colesterolo e colesterolo, che formano delle aggregazioni micellari.

Dal momento che questi componenti sono legati fra loro da forze non-covalenti, è possibile lo scambio di materiale lipidico e proteico tra diverse lipoproteine e tra lipoproteine e membrane cellulari.

Sono suddivisibili in 4 classi, differenti tra loro nella composizione, nella funzione e nella densità:

- Chilomicroni, si formano nelle cellule intestinali e sono presenti nel plasma solo dopo l'ingestione di lipidi, possiedono un'alta concentrazione di trigliceridi e il loro compito è quello di trasportare i lipidi provenienti dagli alimenti ai tessuti, sia adiposo che muscolare scheletrico e cardiaco

- VLDL (very-low-density-lipoprotein), sintetizzate nel fegato, la loro funzione è il trasporto di trigliceridi, e in parte anche di colesterolo, ai tessuti, dopo che sono stati sintetizzati nel fegato
- HDL (high-density-lipoprotein), prodotte dal fegato, rimuovono il colesterolo dai tessuti periferici, lo trasferiscono al loro interno e lo sottopongono ad esterificazione per mezzo dell'enzima LCAT (lecitina colesterolo acil-transferasi, enzima che si occupa anche dell'esterificazione degli acidi grassi con il glicerolo), per poi trasportarlo al fegato
- LDL (low-density-lipoprotein), sono derivati del metabolismo delle VLDL e contengono fosfolipidi e colesterolo, sia libero, che esterificato. Trasportano il colesterolo esterificato ai tessuti, 1/3 ai tessuti epatici, 2/3 ai tessuti extraepatici, entrando nelle cellule per endocitosi mediata da recettori, grazie all'apolipoproteina B-100 che funge da segnalatore.

Le apolipoproteine hanno diverse funzioni oltre quella strutturale, come l'attivazione di enzimi adibiti al metabolismo delle lipoproteine, dei quali, tra l'altro, sono anche cofattori, e la funzione di segnalatore per i recettori delle lipoproteine presenti sulle cellule.

Ecco alcune delle principali apolipoproteine:

- A, componente delle HDL, attiva l'enzima LCAT.
- B-100, componente delle VLDL e delle LDL, segnalatore per il recettore delle LDL.
- B-48, componente dei chilomicroni, necessaria nel rilascio dei chilomicroni stessi dall'intestino.
- CII, componente delle VLDL, delle HDL e dei chilomicroni, attiva l'enzima lipoprotein-lipasi.
- E, componente delle VLDL, delle HDL e dei chilomicroni, segnalatore per il recettore epatico, favorisce l'endocitosi.

1.1.3 DIGESTIONE DEI LIPIDI

La digestione dei lipidi avviene nei tratti intestinali duodeno e digiuno ed è composta da diverse fasi:

- Idrolisi dei trigliceridi con produzione di gliceridi e acidi grassi tramite gli enzimi lipasi linguale e lipasi gastrica, il primo agisce nella bocca, nell'esofago e nello stomaco, mentre il secondo nello stomaco e nel duodeno

- Emulsione dei trigliceridi e stabilizzazione dell'emulsione tramite i sali biliari, che porta alla formazione di micelle composte, costituite da porzione polare rivolta all'esterno e porzione apolare rivolta all'interno, la quale ospita i trigliceridi.
- Rilascio di bile e succo pancreatico, previa stimolazione da parte degli ormoni gastroenterici (CCK pancreozimina e secretina). Queste sostanze contengono enzimi quali lipasi pancreatiche, fosfolipasi A2, colipasi e colesterolo esterasi, che concorrono nel catalizzare i vari passaggi della lipolisi.
- La colipasi attiva la lipasi pancreatica e, fissandosi sulla micella, crea uno spazio di legame per la lipasi pancreatica, permettendone così l'azione enzimatica, mentre la fosfolipasi A2 incrementa le proprietà emulsionanti delle micelle composte.
- La lipasi pancreatica idrolizza i trigliceridi e i digliceridi, scindendo gli acidi grassi in posizione 1 e 3, lasciando come prodotto un monogliceride e due acidi grassi liberi.
- I monogliceridi e gli acidi grassi sono lievemente idrosolubili e quindi si posizionano nelle porzioni polari delle micelle miste, cioè sulla superficie, permettendo così l'assorbimento per diffusione da parte delle cellule enteriche della mucosa intestinale.
- All'interno delle cellule enteriche, gli acidi grassi e i monogliceridi si legano a proteine specifiche che li trasportano al livello del reticolo endoplasmatico, dove vengono utilizzati per sintetizzare nuovi trigliceridi (che non hanno la stessa composizione di quelli introdotti con la dieta), con lo scopo di ottimizzarne il trasporto e controllarne la composizione.
- I trigliceridi risintetizzati si combinano con fosfolipidi, colesterolo e apolipoproteine CII, assunte da lipoproteine HDL, grazie all'azione delle proteine I-FABP (Intestinal-Fatty Acid Building Protein), per dare forma ai chilomicroni, aggregati lipoproteici che verranno poi riversati nella linfa e immessi in circolo.
- L'apolipoproteina CII viene riconosciuta dalla lipoprotein-lipasi, che aggredisce quindi i trigliceridi scindendoli nuovamente in monogliceridi e acidi grassi, che a loro volta entrano nelle cellule adipose.
- Dopo la perdita di trigliceridi, i chilomicroni sono di dimensione inferiore e contengono prevalentemente esteri del colesterolo. Queste formazioni prendono il nome di remnants e vengono trasportate fino al fegato dove verranno assorbite per endocitosi.

1.2 EFFETTI DELL'ESERCIZIO DI RESISTENZA SUL METABOLISMO LIPIDICO

1.2.1 METABOLISMO LIPIDICO NEL MUSCOLO SCHELETRICO

Nel nostro organismo i trigliceridi rappresentano la più grande riserva di carburante e la maggior parte di essi sono immagazzinati nel tessuto adiposo, ma si possono trovare anche all'interno dei muscoli scheletrici e del plasma e la loro quantità totale supera di sessanta volte la riserva totale di glicogeno.

Sono i processi ossidativi a far sì che questa riserva sia utilizzabile come principale fonte di energia (e a lungo termine anche l'unica fonte di energia) per la sintesi di ATP; infatti, i trigliceridi per poter essere usati per produrre energia devono essere degradati, tramite lipolisi ed enzimi lipasi, ai componenti fondamentali: una molecola di glicerolo e tre acidi grassi liberi.

Oltre ai trigliceridi, anche altre fonti concorrono nella fornitura di acidi grassi come carburante, come l'albumina, che trasporta legando a sé acidi grassi a catena lunga (LCFA) all'interno del plasma, i trigliceridi associati alle lipoproteine a densità molto bassa (VLDL-TG) in circolo, gli acidi grassi liberati dal tessuto adiposo e potenzialmente anche i chilomicroni.²

La concentrazione e l'ossidazione delle LCFA dipendono in parte dalla riserva di glicogeno presente nel muscolo nella fase di pre-esercizio, ad un basso contenuto di glicogeno, corrisponde un largo utilizzo di LCFA, la cui maggior parte verrà poi utilizzata da tutte le parti del corpo coinvolte nell'esercizio fisico, mentre gli LCFA rimanenti andranno incontro a riesterificazione in trigliceridi intramuscolari all'interno dei muscoli non contratti, o comunque in parti del corpo non coinvolte nell'esercizio.¹

Il trasporto degli LCFA all'interno della membrana cellulare, ed in seguito all'interno dei mitocondri, avviene sia passivamente per diffusione, che attivamente con trasporto mediato da proteine di membrana, identificate come FABPpm (fatty-acid-binding-protein), FAT/CD36 (fatty acid translocasi), FATP (fatty acid transport protein) e che si occupano di tutte le fasi di legame e trasporto degli acidi grassi stessi.

Le FABPpm, presenti esclusivamente nelle fibre ossidative del muscolo scheletrico, sono localizzate nella zona periferica della membrana plasmatica, sono strutturalmente identiche all'enzima aspartato-amminotrasferasi e sono fondamentali per il trasporto di LCFA attraverso il sarcolemma.

Le FAT/CD36, presenti maggiormente nelle fibre muscolari ossidative e nelle cellule endoteliali sono glicoproteine integrali di membrana con due domini trans membrana, la cui concentrazione è direttamente proporzionale alla quantità di LCFA in circolo.^{3,1}

Le FATP sono proteine integrali con sei domini trans membrana, situate nelle cellule del muscolo scheletrico, hanno un ruolo rilevante nella conversione degli acidi grassi in acil-CoA e, nel caso del trasporto degli acidi grassi mediato dalle stesse, tendono, la maggior parte delle volte, ad andare verso la resintesi dei trigliceridi, evidenziando una relazione tra il trasporto di FFA mediato da FATP e immagazzinamento di lipidi.

Le VLDL-TG possono dare un apporto significativo per il trasporto di energia al muscolo scheletrico durante l'esercizio fisico, in quanto sono i principali trasportatori di TG liberi e, in diversi studi, è stato rilevato un aumento della concentrazione di VLDL-TG nelle arterie rispetto alle vene, durante l'attività fisica. L'entità di questo contributo dipende dal tipo di dieta, intensità e durata dell'esercizio e può raggiungere il 25% del fabbisogno energetico dopo gli adattamenti ad una dieta ricca di grassi. La degradazione delle VLDL-TG durante l'esercizio viene catalizzata dall'enzima LPL (lipo-proteina-lipasi), anch'esso in aumento in seguito ad allenamento di tipo aerobico, che rappresenta il primo agente idrolizzante delle lipoproteine in circolo. La sua azione rende disponibili gli acidi grassi liberati per i tessuti che si trovano in loro prossimità.²

Per quanto riguarda gli IMTG, la loro concentrazione è specifica in relazione al tipo di fibra muscolare, infatti, sono presenti in quantità maggiori nelle fibre muscolari di tipo 1 rispetto a quelle di tipo 2.

La loro concentrazione muscolare a riposo dipende soprattutto dal tipo di dieta.

In seguito ad esercizio fisico la loro concentrazione aumenta ed è stato dimostrato da numerosi studi che l'attività fisica è già sufficiente per riscontrarne una quantità maggiore rispetto a quella che troveremmo in un muscolo di una persona sedentaria

L'ossidazione degli IMTG durante l'esercizio è stata fonte di molti dibattiti e una buona parte degli studi effettuati hanno evidenziato un aumento dell'ossidazione esclusivamente nelle fibre di tipo 1.

Tuttavia, è risultato evidente che finché sono disponibili LCFA come carburante, e finché il loro tasso di utilizzo incrementa, declinano i tassi di ossidazione sia di IMTG che di TG derivati dall'ossidazione di lipoproteine.

Durante la fase di post-assorbimento la maggior parte degli acidi grassi e del carburante lipidico viene fornita dal tessuto adiposo e a riposo la disponibilità di acidi grassi liberi (FFA) è decisamente maggiore in confronto alla loro ossidazione.

Per poter utilizzare gli acidi grassi, di cui sono composti i trigliceridi, come carburante durante l'attività fisica, al fine di risparmiare glicogeno e ritardare l'ipoglicemia, è necessario effettuare un esercizio di tipo aerobico.

Dal momento che durante l'esercizio aerobico viene riscontrato un quoziente respiratorio (RER) relativamente basso, dopo un certo lasso di tempo che varia a seconda dell'intensità, si attiva il metabolismo ossidativo dei lipidi, che comincia con la lipolisi dei trigliceridi sia nel tessuto adiposo, sia nel muscolo, che nel plasma e gli acidi grassi liberati vengono trasportati fino alle fibre del muscolo scheletrico, dove penetrano per diffusione. Gli FFA vengono quindi attaccati dagli enzimi grazie all'energia proveniente dall'ATP e preparati per il processo di catabolismo all'interno dei mitocondri, ovvero la Beta-ossidazione, tramite la quale un acido grasso viene degradato ad acetil-CoA ed in seguito, grazie a diversi cicli di reazioni chimiche, vengono prodotti 1 NADH(H+) e 1 FADH₂ per ogni ciclo, che vengono riossidati nella catena respiratoria producendo 5 ATP.

L'attività lipolitica nel tessuto adiposo è regolata dall'equilibrio tra catecolammine, che stimolano l'enzima lipasi, catalizzatore della lipolisi dei trigliceridi in acidi grassi e glicerolo, e l'insulina, che lo inibisce. L'aumento delle catecolammine e il calo della concentrazione dell'insulina possono aumentare il tasso di rilascio di FFA di 4-5 volte.

La quantità di acidi grassi rilasciati in seguito a lipolisi da tessuto adiposo è comunque superiore alla quantità di acidi grassi ossidati, con un rapporto di circa 2 : 1 e una maggior concentrazione di acidi grassi facilita la penetrazione degli stessi nella fibra muscolare per diffusione; gli acidi grassi rimanenti vanno incontro a resintesi per formare nuovi trigliceridi.

Il rendimento energetico del metabolismo ossidativo è quello più elevato, ma anch'esso deve rispettare certi limiti:

- Capacità ossidativa dei muscoli, ovvero l'indice della massima capacità delle fibre muscolari di consumare ossigeno.
- Percentuale qualitativa di fibre nei muscoli e loro stato di allenamento; le fibre a scossa lenta (o rosse) sono quelle che vengono interessate maggiormente nell'allenamento di resistenza e nel metabolismo aerobico, in quanto più efficienti, ovvero a parità di potenza richiedono un VO₂ più basso.
- Disponibilità di ossigeno, basata sul fabbisogno del metabolismo e sulle capacità cardiorespiratorie e circolatorie.
- Attività e quantità di enzimi ossidativi.

1.2.2 ADATTAMENTI DOVUTI ALL'ESERCIZIO AEROBICO

Gli adattamenti che avvengono nel nostro corpo, in seguito ad attività fisica, producono a loro volta altri adattamenti che sono in relazione fra loro, come l'equilibrio tra insulina e catecolammine, o il fatto che una maggiore capillarizzazione porti ad una maggior capacità di scambi gassosi e di sostanze. L'aumento della gettata cardiaca, l'aumento del volume sistolico e della massima differenza artero-venosa, la diminuzione della frequenza cardiaca a un dato consumo di ossigeno e la diminuzione del tempo di recupero della frequenza dopo sforzo, l'aumento della massima ventilazione volontaria e del VO₂max, sono indice della malleabilità del nostro sistema cardiovascolare.

La frequenza cardiaca massima è invece un parametro non modificabile con allenamento, dipende soprattutto dall'età e viene calcolata sulla popolazione media tramite formule elaborate per ridurre al minimo il margine d'errore: per esempio la formula di Tanaka, $F_{cmax} = 208 - 0.7 * \text{età del soggetto}$; si consigliano invece test diretti per persone con grado evoluto di allenamento per ottenere una buona precisione (e anche perché tali soggetti, al contrario di una buona parte della popolazione, riescono a sopportare sforzi massimali senza conseguenze per la salute).

L'esercizio aerobico può apportare diminuzione della pressione arteriosa, sia per effetto diretto su parametri emodinamici e tessuto nervoso, sia indirettamente per via della perdita di peso.

La regolare attività fisica riduce il lavoro del cuore sia a riposo che durante lo sforzo, grazie a un minor fabbisogno di ossigeno delle cellule miocardiche, correlato alla minor frequenza cardiaca sia a riposo che a un dato lavoro; nel caso dell'allenamento di resistenza (contrariamente all'isometrico) aumenta il volume tele-diastolico, senza nette modificazioni nelle pareti cardiache.

L'esercizio fisico è inoltre fondamentale per la salute del cuore stesso, in quanto è stato dimostrato che l'intensità dell'esercizio stesso è direttamente proporzionale al flusso coronarico, ossia all'irrorazione del cuore.

L'aumento della capillarizzazione del muscolo scheletrico è uno dei punti più importanti della serie di adattamenti derivanti dall'allenamento, in quanto si denota un prolungamento del tempo di transito del sangue e quindi un miglioramento nello scambio di metaboliti, gas e substrati. In particolare è documentata la relazione tra aumento della capillarizzazione e diminuzione della frequenza cardiaca a carico di lavoro sub massimale, con conseguente adattamento del muscolo a consumare nell'ordine giusto i substrati (comincia a bruciare lipidi con largo anticipo e quindi ne consegue una più consistente perdita di peso) ed in maniera ottimale e a trattenere una riserva di

trigliceridi al suo interno; ne consegue un consistente risparmio di glucosio, dal momento che un soggetto allenato consuma in proporzione più acidi grassi e meno carboidrati. Grazie a questo adattamento, una data quantità di glicogeno sarà disponibile più a lungo, apportando così un miglioramento nella resistenza allo sforzo, che l'atleta non può più sostenere una volta terminata la riserva di glicogeno nelle cellule muscolari. Troviamo inoltre un aumento degli enzimi aerobici (catalizzatori biologici che garantiscono il rifornimento di ATP tramite ossidazione di carboidrati e lipidi), aumento del rapporto tra lipoproteine HDL e LDL (a favore quindi dell'effetto antiaterogeno delle HDL, mentre le LDL provocano l'effetto contrario), un miglior rapporto tra glucosio e insulina nel sangue.⁴

Si nota anche una minor produzione di acido lattico ad una determinata percentuale del VO₂max, dovuta ad una maggior tolleranza allo sforzo da parte del soggetto, per via del ritardo del meccanismo energetico anaerobico lattacido a parità di lavoro, ovvero uno spostamento della soglia anaerobica verso una maggior percentuale di VO₂max.

Grazie all'attività fisica otteniamo inoltre un miglioramento, o come minimo una tendenza al mantenimento, della funzionalità e della struttura di tendini, legamenti e muscoli, i quali tendono a degenerare con l'età e l'inattività.

Ricordiamo comunque che ci sono dei limiti dal punto di vista genetico, oltre i quali non si può andare: infatti, chi riesce a diventare un atleta di alto livello avrà limiti superiori sempre più elevati rispetto a chi si allena altrettanto bene e con altrettanta intensità, ma non arriva a quello stesso livello prestazionale.

Non appena il nostro corpo passa dallo stato di riposo a quello di lavoro, il nostro fabbisogno energetico aumenta in maniera direttamente proporzionale e il consumo di ossigeno arriva ad un punto di stallo (in un tempo che varia da 1 a 3 minuti) se si mantiene costante il livello di intensità desiderato, a patto che non si superi la soglia anaerobica. In tal caso il consumo di ossigeno continua ad aumentare, vengono reclutate anche le fibre a scossa rapida ed in poco tempo il metabolismo si sposta verso i carboidrati e comincia la produzione di acido lattico.

L'adattamento più evidente, in seguito ad allenamento aerobico, è l'aumento dell'ossidazione dei grassi e sono molti i fattori che contribuiscono ad ottenere questo risultato:

- Aumento nel muscolo scheletrico del numero dei mitocondri e della loro superficie, che migliora l'efficienza della capacità ossidativa.
- Aumento nel muscolo scheletrico della capillarizzazione, che incrementa la capacità di trasporto degli acidi grassi.

- Incremento della quantità di carnitina transferasi che facilita il trasporto degli acidi grassi attraverso le membrane dei mitocondri.
- Incremento della quantità di proteine che legano gli acidi grassi, che regolano il trasporto degli acidi grassi all'interno della cellula muscolare.
- Aumenta in definitiva il VO₂max e la relativa disponibilità periferica di ossigeno.⁴

CAPITOLO 2 - ESERCIZI AEROBICI MIRATI AL CONSUMO DI LIPIDI

2.1 ESERCIZIO AEROBICO

2.1.1 ESERCIZIO AEROBICO GENERICO

Generalmente per ottenere benefici per la salute, o anche solo per mantenere lo stato di benessere psicofisico, il tipo di esercizio consigliato è quello aerobico, per via della grande quantità e qualità degli adattamenti che ne conseguono nel nostro organismo, associato ad un corretto riscaldamento e ad esercizi di flessibilità muscolare prima di iniziare.

In linea di massima, per soggetti sedentari, il tipo di esercizio aerobico che si prescrive è inizialmente la camminata veloce, esente dalla maggior parte dei rischi cardiovascolari, seguita poi, in caso di progressivo miglioramento della condizione fisica, da jogging, nuoto, o bicicletta.

Il tutto va regolato in base a Intensità, Frequenza e Durata dell'esercizio.

L'intensità può essere definita in termini assoluti o relativi: assoluti nel caso la si valuti come quantità di energia spesa durante un allenamento, ovvero in MET (equivalente metabolico corrispondente a 3,5 ml di ossigeno consumati per kg di peso corporeo al minuto), relativi nel caso sia espressa in percentuale di VO₂max, ovvero la quantità massima di ossigeno che il soggetto riesce a consumare quando viene sottoposto ad esercizio fisico dinamico di massima intensità (nonché principale parametro indicatore dello stato di forma del soggetto), che è variabile da persona a persona.

Quando si lavora per termini assoluti sappiamo che un'attività può essere:

- leggera, nel caso le corrisponda un'intensità assoluta inferiore a 3 MET,
- moderata se compresa tra 3 e 6 MET,
- vigorosa se superiore a 6MET;

Questo però non tiene conto dello stato di forma del soggetto.

Al contrario se utilizziamo il metodo di dosaggio dell'intensità per termini relativi possiamo personalizzare l'allenamento per ogni soggetto. Infatti la percentuale di VO₂max a cui lavorerà è

riferita al suo VO₂max personale e in questo modo si otterrà più o meno la stessa percezione di fatica e un ritmo di lavoro specifico per il metabolismo che vogliamo attivare nel soggetto, a prescindere dal suo stato di allenamento.

Tale personalizzazione richiede test specialistici, come il test cardiopolmonare per definire VO₂max e percentuali di interesse, o il test della frequenza cardiaca ed elettrocardiogramma associato alla percezione di fatica del soggetto.

Per quanto riguarda la frequenza dell'esercizio è auspicabile che il soggetto riesca a compierlo tutti i giorni, in caso contrario le linee guida consigliano una frequenza di cinque volte a settimana, aumentando progressivamente l'intensità e diminuendo la durata, mentre la durata consigliata è di almeno 30 minuti al giorno per attività ad intensità moderata, 20 minuti per quelle ad attività più intensa e almeno un'ora per le attività a bassa intensità.

Intensità, frequenza e durata devono essere modulate al fine di ottenere un progressivo miglioramento del livello di allenamento, da livelli bassi e facilmente accettabili dal soggetto, fino ad arrivare alla dose consigliata.

Durante l'esercizio aerobico carboidrati e lipidi sono le due principali fonti d'energia ed il loro relativo utilizzo dipende in gran parte dall'intensità dell'esercizio.

A seconda del tipo di intensità, l'energia viene attinta da fonti diverse:

- nel caso di attività ad intensità bassa (25-30% del VO₂max), gli acidi grassi vengono liberati principalmente dai trigliceridi del tessuto adiposo e scarsamente da trigliceridi intramuscolari;
- ad intensità moderata (50-60%) il contributo degli acidi grassi plasmatici diminuisce (solo in termini relativi, in termini assoluti rimane uguale), fino a pareggiare con quello dei trigliceridi intramuscolari;
- ad intensità elevata (75-90%) si tende a raggiungere gradualmente e superare la soglia anaerobica e la maggior parte dell'energia è quindi fornita da glucosio ematico e soprattutto dalle riserve muscolari ed epatiche di glicogeno.⁶

L'allenamento di resistenza aumenta il VO₂max e pertanto aumenta la capacità del nostro organismo di bruciare grassi ad un determinato carico di lavoro.

L'esercizio aerobico continuo a carico costante, garantisce benefici in ampio spettro sulla maggior parte degli apparati del nostro corpo, migliorando il nostro stato di fitness (attività fisica regolare finalizzata a migliorare e mantenere le capacità fisiche), di benessere, la nostra qualità di vita.

2.1.2 ESERCIZIO AEROBICO E FATMAX

Tra questi benefici indotti dall'esercizio fisico regolare, prendiamo in esame la produzione di energia a carico dei lipidi; abbiamo già visto come e in che misura l'esercizio aerobico possa provocare adattamenti, ci interessa ora evidenziare quale sia il tipo di attività aerobica e l'intensità ottimali per ottenere il massimo consumo di lipidi.

Durante l'esercizio aerobico carboidrati e lipidi sono le due principali fonti d'energia ed il loro relativo utilizzo dipende in gran parte dall'intensità dell'esercizio.

Il tasso di ossidazione dei grassi aumenta da intensità bassa a moderata, dopodiché si verifica un marcato declino ad alte intensità, il che implica che ci sia un'intensità di lavoro (fatmax) alla quale il consumo di grassi risulti massimale.¹

Come vedremo più avanti, l'intensità corrispondente al fatmax viene determinata tramite test incrementali (o a carico costante per confermare il risultato del test incrementale), nei quali vengono individuate la frequenza cardiaca e l'intensità corrispondenti al RER più vicino alla massima ossidazione di lipidi e più a lungo mantenibile nel tempo.

Questi valori andranno poi inseriti in un'equazione matematica che calcolerà i lipidi consumati in g/min a quell'intensità e confermerà quali saranno il RER e la frequenza cardiaca da mantenere durante l'esercizio aerobico che vogliamo somministrare al fine dell'ottimizzazione del consumo di grassi.

L'esercizio che induce la massima ossidazione di grassi non sembra superare il 30%-40% del VO₂max, che consente di mantenere un RER compreso tra 0,80 e 0,85.⁶

Tuttavia, è evidente che, per quello che riguarda la puntualizzazione del carico individuale, ogni persona avrà una sua specifica intensità (fatmax), corrispondente ad una determinata percentuale di VO₂max, dipendente da tanti fattori quali l'età, il sesso, lo stato di allenamento, la disposizione genetica e le capacità metaboliche.

L'intensità corrispondente al fatmax determina quindi frequenza ed intensità da mantenere in un esercizio a carico costante e può essere assolutamente determinante quando si prescrivono esercizi per il controllo del peso.

Diversi studi hanno dimostrato che un programma di allenamento fatto eseguire a carico costante, all'intensità corrispondente al fatmax, incrementa notevolmente sia l'efficienza della cinetica del consumo di lipidi, sia la sensibilità all'insulina del soggetto (anche nel caso sia obeso o affetto da sindrome metabolica).

Oltre all'intensità, ci sono anche altri elementi che concorrono a determinare l'utilizzo relativo dei diversi substrati:

- La durata; infatti, in un esercizio a carico costante col passare del tempo si nota un aumento dell'ossidazione dei lipidi in concomitanza ad una netta diminuzione dell'utilizzo dei carboidrati. Inoltre, non è detto che un soggetto sia in grado di bruciare la stessa quantità di lipidi oltre un certo limite di tempo ad una determinata intensità. I test servono, appunto, a determinare quale sia l'intensità alla quale il RER resti costante più a lungo e in termini di consumo dei grassi.
- La riserva di glicogeno muscolare ed eventuali riserve di glicogeno derivate dai nutrienti. Un'abbondante riserva di glicogeno muscolare può protrarre la seduta d'allenamento andando a sopperire eventuali momenti di crisi del metabolismo lipidico. L'ingestione di carboidrati prima di un esercizio fisico aumenta il rapporto degli scambi gassosi e può quindi influire su gran parte della prestazione.

La letteratura evidenzia inoltre che l'ottimizzazione del consumo dei grassi è ulteriormente indotta dalla ripetizione con cadenza programmata dell'esercizio specifico.

Anche una sola precedente seduta di allenamento può influire positivamente sulla qualità dei substrati utilizzati nell'esercizio aerobico.⁵

Sono state individuate diverse modalità che sortiscono questo risultato, come effettuare un esercizio aerobico un'ora prima dell'esercizio seguente; oppure effettuare due esercizi da 30 minuti l'uno al 60% del VO₂max, con 20 minuti di pausa tra uno e l'altro.

In particolare, nel secondo caso sono stati rilevati valori di epinefrina e di FFA significativamente più alti nel secondo esercizio, contemporaneamente ad una diminuzione della concentrazione di insulina, con conseguente miglioramento della cinetica di ossidazione dei grassi e un incremento del consumo total body dei lipidi.

Un altro studio si è basato su due test incrementali effettuati prima e dopo una seduta di un'ora a carico costante ad intensità fatmax, per esaminare gli effetti di quest'ultima sulla cinetica di ossidazione dei lipidi nel secondo test incrementale.

I soggetti esaminatisi sono sottoposti ad una prima visita nella quale è stato effettuato un test incrementale singolo (Incr) ed in seguito ad una seconda visita dove hanno effettuato prima l'esercizio continuo (CONT) e a seguire un nuovo test incrementale (IncrC).⁵

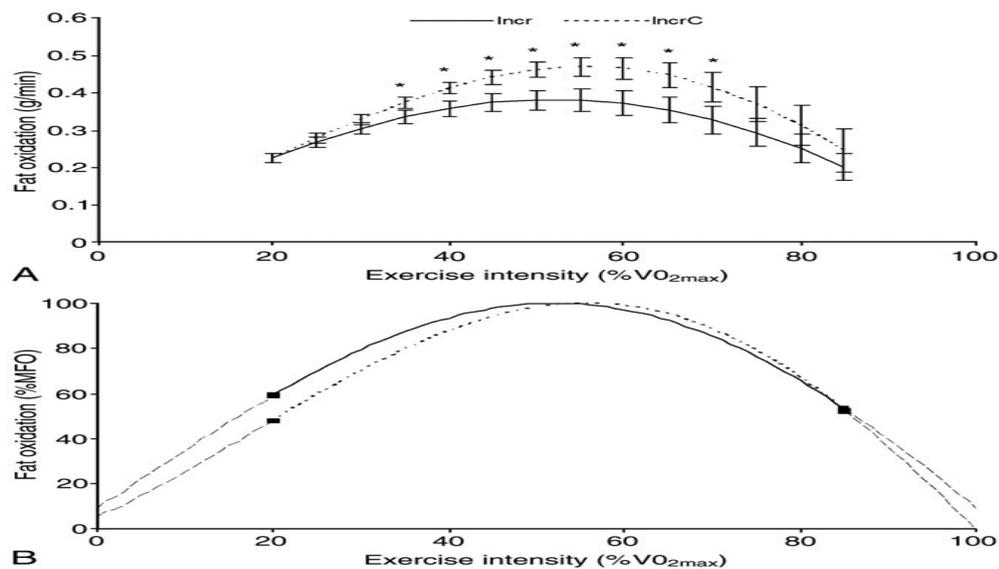


Figura 1 Chenevière et al. Metabolism Clinical and Experimental 58 (2009) 1778–1786

La figura A mostra le principali cinetiche di ossidazione dei grassi, rappresentate come funzione dell'intensità d'esercizio (%VO_{2max}).

La figura B fornisce una rappresentazione grafica delle cinetiche di ossidazione relative, espresse come % massimo consumo di grassi (MFO).

Non sono state rilevate grandi differenze nel RER e nell'ossidazione di grassi a intensità fatmax tra la prima prova incrementale e l'esercizio a carico costante, mentre sono risultati evidenti gli effetti di quest'ultimo sulla seconda prova incrementale:

- Aumento dell'ossidazione dei grassi
- Abbassamento del quoziente respiratorio
- Spostamento del fatmax ad una più alta intensità d'esercizio
- Aumento della massima frequenza cardiaca

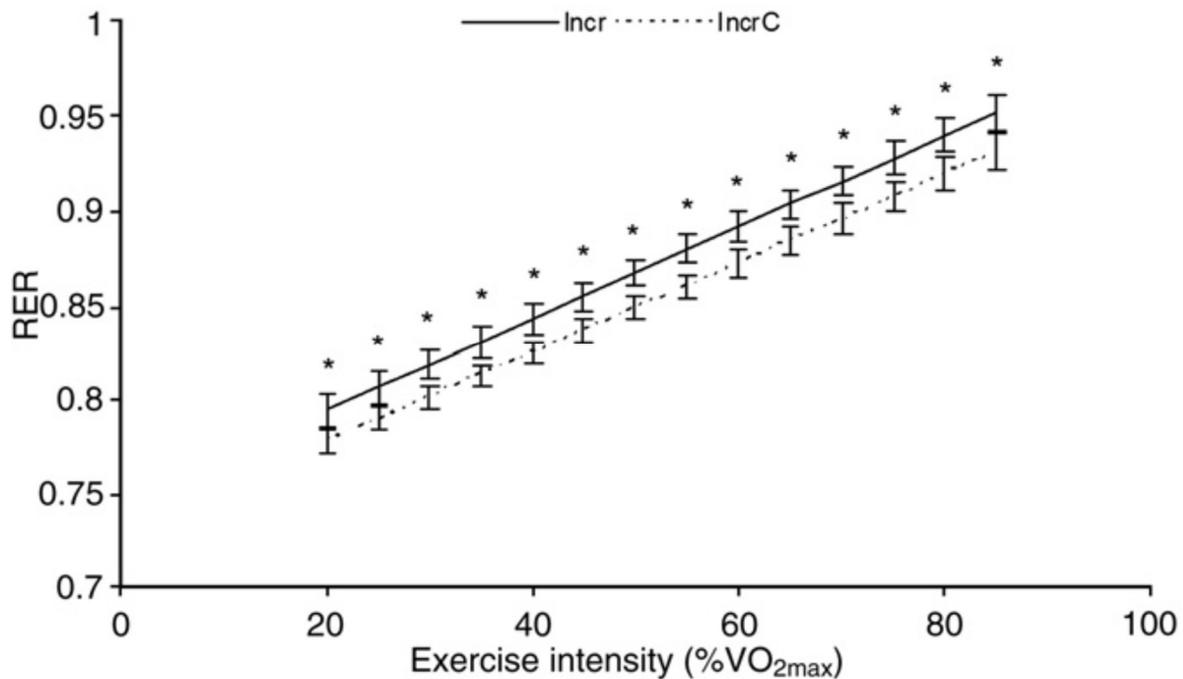


Figura 2 Chenevière et al. Metabolism Clinical and Experimental 58 (2009) 1778–1786

In un altro studio è stato effettuato, invece, un allenamento del tipo interval training, composto da dieci step da quattro minuti l'uno al 90% del VO_{2max}, con pause da due minuti tra uno step e l'altro. I soggetti esaminati hanno sostenuto un esercizio di un'ora su cicloergometro al 60% del VO_{2max} sia prima che dopo la seduta di interval training. Nell'esercizio seguente l'allenamento sono stati rilevati un incremento del consumo totale di grassi, un'augmentata sensibilità all'insulina, un aumento del 13% del VO_{2max} e una notevole concentrazione di tutti i tipi di proteine vincolanti gli acidi grassi. Sono rimaste tuttavia invariate le riserve di glicogeno muscolare e di trigliceridi muscolari e, inoltre, è stato registrato un calo della concentrazione di epinefrina durante gli ultimi trenta minuti dell'esercizio.

Questi studi sono accomunati dal fatto che, nonostante gli esercizi proposti per il miglioramento della cinetica di ossidazione dei lipidi siano diversi fra loro per intensità e tipologia, con il reiterarsi di questi ultimi nelle settimane viene raggiunto il risultato voluto (anche se con percentuali diverse).

2.1.3 L'EFFICIENZA FISICA E L'OTTIMIZZAZIONE DEL CONSUMO DEI LIPIDI

In ogni caso, se l'obiettivo è arrivare all'ottimizzazione del consumo dei grassi, in particolare per i soggetti sedentari, l'esercizio più efficace da prescrivere risulta essere quello a carico costante di bassa intensità e di lunga durata (in quanto i soggetti sedentari necessitano di un tempo maggiore sia per l'attivazione del metabolismo lipidico che per arrivare a steady state), ripetuto nelle varie settimane.

I soggetti già iniziati all'allenamento di tipo aerobico possiedono una maggiore capacità ossidativa muscolare, alla quale è correlato un maggiore metabolismo lipidico, nonché una massima frequenza cardiaca inferiore.⁴

In uno studio condotto su 300 persone sedentarie in salute è stato riportato il fatmax ad una media del 48% del massimo consumo di ossigeno, considerando un range che va dal 25% al 77% del VO₂max; altri studi invece hanno rilevato il massimo consumo di lipidi al 63% (range tra 62% e 64%) del VO₂max in soggetti moderatamente allenati.

Questo dimostra una maggiore regolarità nel rilevamento di fatmax, oltre ad una percentuale media più alta di VO₂max alla quale si trova il fatmax, per quanto riguarda i soggetti allenati rispetto ai sedentari.

In ogni caso, a prescindere dallo stato di allenamento, dopo un ciclo di lavoro aerobico di lunga durata, in tutti i soggetti si possono notare:

- Un aumento della capillarizzazione delle fibre muscolari
- Un aumento della concentrazione degli enzimi ossidativi
- Un aumento del numero di proteine trasportatrici di FFA
- Un RER più basso a parità d'intensità d'esercizio, ovviamente negli allenati è sempre relativamente più basso rispetto ai sedentari
- Un aumento della concentrazione di FFA
- Un aumento della concentrazione ematica di glicerolo dopo i primi dieci minuti di allenamento
- Una progressiva diminuzione dell'insulina col procedere dell'allenamento

I principali svantaggi che si possono notare, invece, nei soggetti sedentari rispetto agli allenati sono:

- Valori più bassi in termini assoluti di concentrazione di FFA, proteine trasportatrici di FFA ed enzimi ossidativi e minor sensibilità all'insulina.
- Valori più alti di RER alle varie intensità d'esercizio.
- Maggiore frequenza cardiaca massima
- Maggiore difficoltà nello smaltire l'acido lattico, qual'ora si arrivasse a produrne
- Una bassa capacità di assorbimento di FFA da parte delle membrane plasmatiche, anche nel caso aumenti la concentrazione ematica di FFA, probabilmente dovuta ad un numero troppo basso di proteine trasportatrici di FFA, con conseguente saturazione del trasporto
- Una riserva di glicogeno muscolare assai inferiore, dalla quale però i sedentari attingono molto di più rispetto ai soggetti allenati. Infatti, i soggetti sedentari necessitano di una quantità di tempo maggiore, rispetto ai soggetti allenati, per attivare il metabolismo ossidativo lipidico.

Per quanto riguarda i soggetti sedentari che abbiano già praticato in passato attività agonistiche o comunque di buon livello, si registrano capacità meno accentuate, rispetto agli allenati, nell'attivazione e nel mantenimento del metabolismo lipidico durante l'esercizio aerobico; tuttavia essi manifestano una capacità nettamente superiore rispetto ai soggetti puramente sedentari nel riattivare il suddetto metabolismo già dopo la prima seduta di allenamento.

2.2 ESPERIENZA EMPIRICA SULL'ESERCIZIO AEROBICO MIRATO

2.2.1 ORGANIZZAZIONE DELL'ALLENAMENTO

Questo studio si basa sulla partecipazione ad un più ampio progetto riguardante la personalizzazione del target del fatmax.

Il suddetto progetto prevede che diversi gruppi di soggetti (sedentari in sovrappeso, B.M.I. compreso fra 25 e 30 e di un'età compresa fra 40 e 55 anni) si sottopongano ai test per rilevare l'intensità con la quale dovranno svolgere un lavoro, per un periodo di otto settimane, che apporti una diminuzione della massa grassa.

Il lavoro è stato svolto con una frequenza di due allenamenti per settimana, con 3-4 giorni di distanza tra una seduta e l'altra.

Ogni seduta consisteva in un'ora di esercizio aerobico continuo e a carico costante, suddiviso in tre esercizi differenti quali step, camminata su treadmill e cicloergometro.

Ogni soggetto è stato monitorato tramite cardiofrequenzimetro per assicurarsi che fosse mantenuta, per tutta la durata della seduta, la frequenza cardiaca corrispondente al RER rilevato durante i test preliminari e quindi al fatmax ottimale.

E' indispensabile sottolineare che, stando ai risultati ottenuti dai test, qualunque sia il tipo di esercizio effettuato, se viene mantenuta costante la frequenza cardiaca corrispondente al RER individuato, si ottiene il massimo consumo di lipidi in termini di g/min.

2.2.2 L'ALLENAMENTO OTTIMALE

E' stato preso in esame, ad esempio, uno dei soggetti partecipanti al summenzionato progetto, al fine di rilevare la progressiva efficacia delle sedute di allenamento sulle capacità aerobiche del soggetto stesso e determinare quale sia la modalità d'esercizio più consona all'ottimizzazione del consumo dei lipidi.

Il soggetto in esame, nonostante lo stato di sedentarietà, vanta una notevole capacità aerobica di base, dovuta in parte all'aver praticato in passato attività sportive di buon livello.

La prima seduta è stata caratterizzata da un'intensità relativamente bassa in tutti e tre gli esercizi, a causa di una leggera difficoltà a far rientrare la frequenza cardiaca nel range stabilito, fatto comunque prevedibile in quanto la risposta fisiologica di un soggetto sedentario necessita di un riadattamento all'esercizio.

Le sedute seguenti hanno evidenziato, di volta in volta, un progressivo aumento dell'intensità in ogni esercizio, a parità di frequenza cardiaca.

A partire da quest'ultimo dato si possono fare due considerazioni che trovano peraltro coincidenza con la letteratura sopra riportata:

- Ogni singola seduta di allenamento influisce in maniera positiva su quella successiva.⁵
- L'insieme delle sedute d'allenamento effettuate con cadenza regolare porta ad un miglioramento, chiaramente evidenziabile (ΔW) dell'intensità di lavoro a parità di frequenza cardiaca, a dimostrazione di un aumentato rendimento fisico.¹²

2.2.3 DIFFERENZE TRA SINGOLI ESERCIZI

Anche se mantenendo costante la frequenza cardiaca stabilita si ottiene il massimo consumo di grassi in un'ora d'esercizio, si notano variazioni d'intensità a parità di frequenza cardiaca tra un esercizio e l'altro, o meglio ancora, a parità di intensità percepita dal soggetto (che è poi il

parametro su cui si basa quest'ultimo per iniziare un nuovo esercizio prima di adattarsi alla F.C. richiesta), si notano variazioni di frequenza cardiaca nei differenti esercizi.

In altre parole, alcune tipologie di esercizio sono di qualità migliore e permettono di esprimere una maggiore intensità lavorativa e quindi migliore efficienza fisiologica, comunque mantenendo l'ottimizzazione del consumo di grassi.

In particolare, la camminata sul treadmill risulta essere l'esercizio con l'intensità percepita più alta, nonché quello nel quale sono stati facilmente osservabili miglioramenti più marcati e regolari, in termini di velocità e inclinazione del piano di lavoro.

A seguire la bicicletta e lo step hanno presentato vantaggi e svantaggi legati alla natura stessa dell'esercizio.

Durante l'esercizio di step, essendo quest'ultimo effettuato a corpo libero, similmente alla camminata si può raggiungere un VO₂max e una massima frequenza cardiaca più alti rispetto all'esercizio su bicicletta o cicloergometro. Tuttavia, la minore ciclicità del movimento ed il continuo accelerare e rallentare per salire e scendere dal gradino concorrono a limitare la regolarità dell'esercizio e aumentano la difficoltà nel mantenere costante la frequenza cardiaca. Inoltre, sono state osservate differenze di F.C. a seconda di quale fosse il piede a salire sul gradino, altra causa di difficoltà nel mantenimento della F.C.

L'esercizio su bicicletta possiede il pregio della grande regolarità (che però dipende anche dall'abilità del soggetto di dosare la pedalata). Tuttavia contrariamente agli esercizi di camminata e step, va incontro ad un limite più basso di VO₂max e di massima frequenza cardiaca, a causa anche del fatto che in questo esercizio viene reclutata una massa muscolare inferiore e perciò si genera un maggior stress muscolare per ogni fibra, che richiederà pertanto un consumo energetico più alto e quindi la necessità di lavorare ad un'intensità più bassa per mantenere la frequenza cardiaca.⁹

La camminata, dunque, all'osservazione risulta essere l'esercizio che meglio di tutti sposa la regolarità e la ciclicità con un'elevata intensità a parità di frequenza cardiaca.

CAPITOLO 3 - TEST A CONFRONTO

Come abbiamo anticipato nel capitolo precedente, il soggetto in osservazione è stato sottoposto a diversi test al fine di individuare la frequenza cardiaca corrispondente al fatmax e quindi al RER ottimale per l'ossidazione dei lipidi.

I test sono stati messi a confronto fra loro per stabilirne la precisione e per comparare i risultati, allo scopo di verificare e confermare la frequenza cardiaca alla quale il soggetto ha poi svolto il lavoro.

3.1 SOGGETTO OSSERVATO E ATTREZZATURE

3.1.1 ANALISI GENERALE DEL SOGGETTO

Il soggetto in osservazione è stato sottoposto ad una valutazione generale del suo stato di salute e delle sue capacità motorie tramite questionario e osservazione da parte dell'operatore.

Questo tipo di analisi si rende necessario per prendere coscienza dello stato muscolo-scheletrico del soggetto ed anche per rilevare eventuali malattie croniche, terapie farmacologiche seguite ed altri eventuali fattori che potrebbero limitare la prestazione fisica.

Le caratteristiche del soggetto sono riportate nella seguente tabella:

Genere	Data di Nascita	Altezza	Peso	B.M.I.	Condizioni Patologiche	Terapie Farmacologica	Condizioni Osteo-tendineo-muscolari
maschio	08/12/1956	1,80 m	92 kg	28,395	dislipidemia pregressa, ipertensione	tiartan, ascriptin, torvast 20	ernia del disco l4-l5, ernie cervicali c3-c4, menisco dx rotto

Tabella 1 Caratteristiche del soggetto

3.1.2 MATERIALE UTILIZZATO DURANTE I TEST

- Cardio MedGraphics: rappresenta l'unione tra l'ECG a dodici tracce e il metabolimetro fisso, il tutto collegato al computer e gestito da uno specifico software che calcola in automatico la soglia anaerobica, integrando i dati in entrata dal metabolimetro con l'elettrocardiogramma.
- Metabolimetro fisso: misura gli scambi gassosi e la ventilazione tramite uno spirografo collegato ad un computer fisso. Viene fissato alla faccia e alla bocca del soggetto tramite apposita mascherina elastica e permette di registrare, durante il test incrementale, i dati di %VO₂max, RER, consumo di O₂, produzione di CO₂ e ventilazione.
- Metabolimetro portatile MedGraphics VO2000: funzione del tutto simile a quella del metabolimetro fisso; tale strumento è costituito da un analizzatore di gas di nuova concezione in grado di acquisire i dati in tempo reale e di inviarli ad un'unità ricevente connessa ad un PC portatile. Questo sistema risulta essere poco ingombrante e relativamente leggero (circa 1,2 kg) e permette di rilevare diverse variabili metaboliche: (VO₂) consumo di ossigeno, (VCO₂) produzione di anidride carbonica, (V_e) ventilazione, e il quoziente respiratorio (RER), dato dal rapporto VCO₂/VO₂.¹³
- Cardiosenzimetro: strumento utilizzato per monitorare la frequenza cardiaca del soggetto in osservazione durante l'allenamento e durante il test a carico costante e il test di Astrand. Questo strumento è composto da un sensore inserito in una fascia elastica da tenere sul petto all'altezza del cuore e da un orologio da polso che oltre a fungere da ricevitore e visualizzare i battiti cardiaci, possiede altre funzioni tipiche degli orologi sportivi. La fascia da avvolgere al petto ha degli elettrodi a contatto con la pelle per monitorare la tensione elettrica del cuore. Quando una pulsazione cardiaca viene individuata, viene trasmesso un segnale radio, che il ricevitore utilizza per determinare il battito cardiaco corrente.
- Treadmill: pedana mobile gestita da un software che permette di regolarne velocità e piano di inclinazione. E' stato utilizzato in tutti e tre i test come strumento di locomozione e anche durante le otto settimane di lavoro come esercizio di camminata veloce.

3.2 TEST EFFETTUATI

3.2.1 TEST INCREMENTALE CPET

Il soggetto si è sottoposto in primo luogo ad un test di tipo incrementale cardiopolmonare, effettuato su treadmill e monitorato tramite elettrocardiogramma e metabolimetro fisso.

Il test ha lo scopo di rilevare %VO₂max, RER e frequenza cardiaca ad un'ampia gamma di intensità d'esercizio, in modo da stabilire quale sarà l'intensità di lavoro più consona per ottenere il massimo consumo di lipidi nel tempo.

Ogni 3 minuti viene aumentata la velocità del nastro di 0,5 km/h, fino ad arrivare alla soglia anaerobica, dopodiché la velocità viene aumentata ogni minuto fino ad esaurimento.

I risultati del test vengono poi inseriti in un calcolo polinomiale computerizzato, effettuato tramite il software Polimedicus, che calcolerà il carico (sotto forma di wattaggio, velocità, frequenza cardiaca) corrispondente al massimo consumo lipidico in grammi/minuto.

Escludendo la fase di riscaldamento, dove si può rilevare un quoziente respiratorio molto basso ma probabilmente non mantenibile per molto tempo, il RER ottimale per il consumo di lipidi risulta compreso tra 0,80 e 0,85.

A questo quoziente respiratorio viene associata una determinata frequenza cardiaca, che, stando alle linee guida, dovrebbe corrispondere al 45%-50% del F.C.max e di conseguenza un'intensità di lavoro pari al 30%-40% del VO₂max.

A seguito riportiamo i risultati ottenuti dal soggetto in questo test, esclusi i primi 5 minuti di riscaldamento:

TEMPO (min)	R.E.R.	FREQUENZA CARDIACA
05:01	0,76	90
08:00	0,81	94
11:33	0,83	106
14:40	0,85	122
17:11	0,88	126
17:50	0,90	139
18:50	0,91	147
19:41	0,93	151

Tabella 2 Risultati del test incrementale CPET

Inserendo questi risultati nel summenzionato calcolo matematico polinomiale, è risultato che il RER più a lungo mantenibile corrisponde a 0,79 e la frequenza cardiaca ad esso associata è compresa tra 86 e 96 battiti al minuto (91). A questo ritmo di lavoro il soggetto dovrebbe smaltire intorno ai 32 grammi/h di solo grasso.

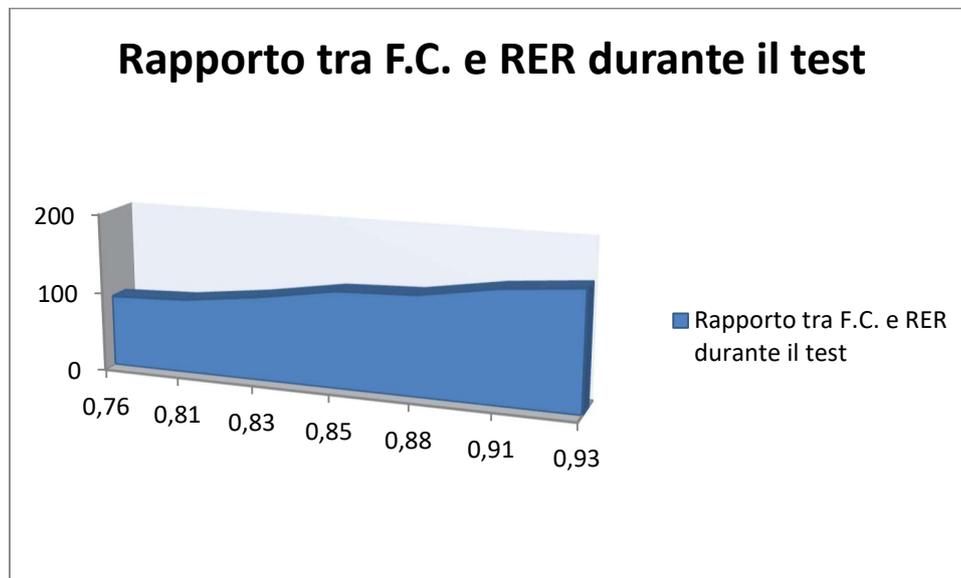


Figura 3 Rapporto di proporzionalità diretta tra il R.E.R. e la F.C. all'aumentare dell'intensità

3.2.2 TEST A CARICO COSTANTE

Questo test è stato svolto per confermare i risultati del primo, in quanto si tratta di un'ora di lavoro a carico costante, con lo scopo di mantenere, per tutta la durata del test, la frequenza cardiaca associata al RER ottimale per il consumo dei grassi rilevato nel primo test.

L'esercizio si è svolto nuovamente su treadmill e con l'utilizzo di metabolimetro portatile VO2000 collegato ad un computer portatile.

La F.C. è stata monitorata tramite cardiofrequenzimetro e, come carico costante associato alla frequenza cardiaca da mantenere, la velocità è stata impostata sui 4,2 km/h senza inclinazione del piano di lavoro.

TEMPO (min)	R.E.R.	FREQUENZA CARDIACA
05:00	0,77	86
10:00	0,81	87
15:00	0,80	91
20:00	0,81	92
25:00	0,81	92
30:00	0,84	93
35:00	0,78	96
40:00	0,80	97
45:00	0,81	97
50:00	0,80	98
55:00	0,81	90
60:00	0,81	92

Tabella 3 Risultati del test a carico costante

Il test eseguito suggerisce che, in effetti, se viene mantenuta la frequenza cardiaca individuata col test incrementale, anche il RER si mantiene costante con qualche piccola variazione che però non risulta essere significativa per ciò che riguarda il tipo di metabolismo utilizzato.

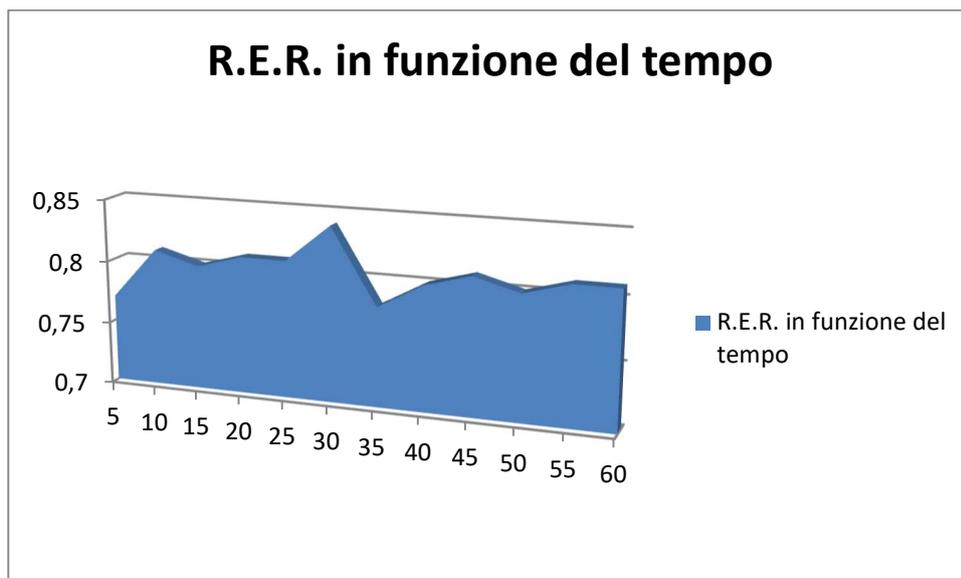


Figura 4 Il R.E.R. si mantiene costante se viene mantenuta costante la F.C. anche per un lungo periodo di tempo

Il leggero picco del RER verso 0,84, a metà test, precede di qualche minuto l'innalzamento di frequenza e da questo dato (anche se in realtà non si è usciti dal range richiesto) si potrebbe ipotizzare che il soggetto osservato faticasse a mantenere l'intensità d'esercizio per un'ora intera e che quindi abbia attinto per un attimo alle riserve di glicogeno. L'operatore ha comunque provveduto a diminuire l'intensità d'esercizio riportando così RER e frequenza cardiaca ai valori ottimali.

3.2.3 TEST DI ASTRAND

Eseguito sempre su treadmill, consiste nel mantenere costante una velocità non troppo bassa (in questo caso 8 km/h), mentre si aumenta ogni tre minuti l'inclinazione del piano di lavoro, in modo che progressivamente la frequenza cardiaca aumenti, fino ad arrivare ad intensità sub massimale, equivalente all'85% della F.C. max. (originariamente il test prevede variazioni ogni 2 minuti, ma è stato modificato per via delle condizioni cliniche del soggetto).

Scopo di questo test è di confrontare i valori di frequenza cardiaca al 40%-55% della F.C.max con la frequenza cardiaca individuata dal primo test, per verificare che sia veramente questa la percentuale di F.C. max alla quale si ottiene il massimo consumo di lipidi.

STEP	TEMPO (min)	F.C.	VELOCITA' (km/h)	INCLINAZIONE (%)
1	0	115	8	0
2	3	128	8	2,5
3	6	132	8	5
4	9	138	8	7,5
5	12	146	8	10
6	15	155	8	12,5
7	18	162	8	15
Recupero	21	113	8	2,5

Tabella 4 Risultati del test di Astrand

Facendo un rapido calcolo, si evidenzia che la frequenza cardiaca compresa tra il 40% e il 55% della F.C. max corrisponde al range di F.C. individuato dal primo test, all'interno del quale si dovrebbe ottenere il massimo consumo di lipidi: $162 * 100 / 85 = 190$.

$190 * 50 / 100 = 95$; $190 * 45 / 100 = 85,5$.

Più chiaramente, il range di F.C. al quale il soggetto in osservazione dovrebbe ottenere il maggior consumo di lipidi equivale a 85 – 95 battiti al minuto.

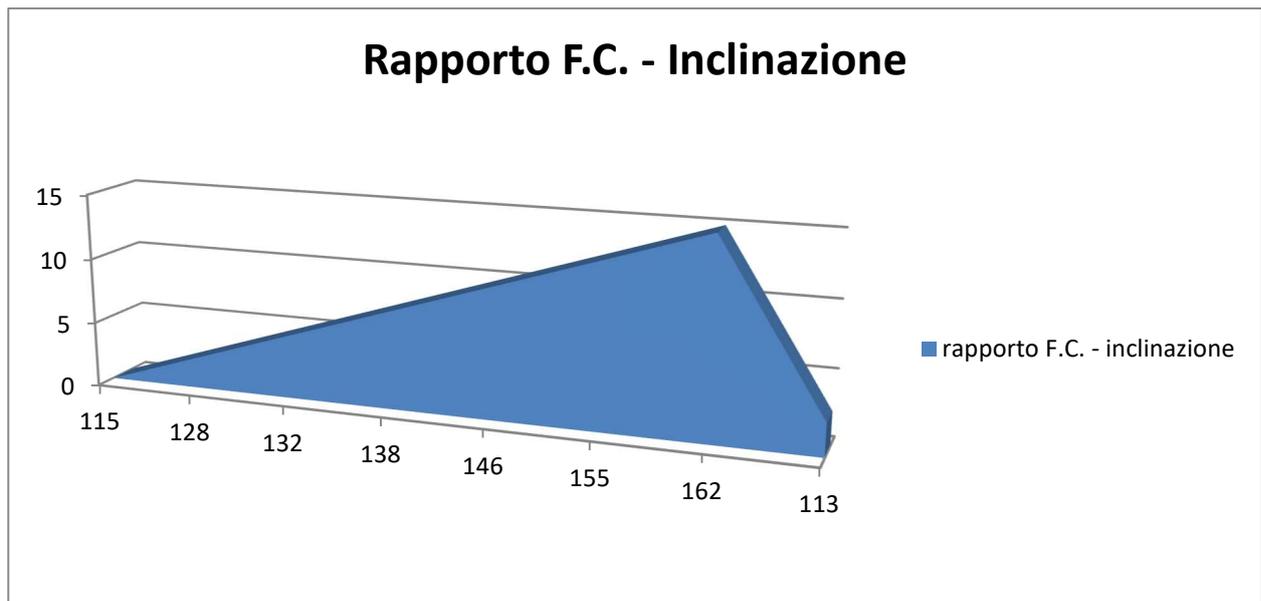


Figura 5 L'aumento dell'inclinazione del piano di lavoro comporta un incremento direttamente proporzionale della F.C.

3.3 CONFRONTO DEI TEST

Confrontando i risultati delle singole prove effettuate, si nota che ciascun test ha confermato, con buona precisione, i risultati degli altri due, nonostante si focalizzasse su qualità differenti.

Il test di Astrand, per esempio, basato sull'aumento del piano di inclinazione per alzare progressivamente la frequenza cardiaca fino ad esaurimento, si focalizza principalmente sulla precisione nel rilevare la F.C. max.

In questo modo sarà precisa anche la percentuale di F.C. max alla quale si vuole somministrare l'allenamento e con la quale si vuole effettuare il confronto con gli altri test.

La percentuale utile di F.C. max per il consumo ottimale dei lipidi, ricavata da questo test, coincide con i valori calcolati dal software Polimedicus basandosi sui risultati del test incrementale, con uno scarto di un battito: 85 – 95 battiti al minuto contro 86 – 96.

Il test a carico costante si è focalizzato sul monitoraggio del RER tramite metabolimetro portatile e della F.C. tramite cardiofrequenzimetro.

Questa prova ha ampiamente dimostrato che il mantenimento della F.C. individuata dal software Polimedicus, a partire dai dati del test incrementale, porta al mantenimento del RER ottimale per tutta la durata dell'esercizio.

Il lieve aumento di F.C. riscontrato tra il minuto 40 e il minuto 55 del test è dovuto al fatto che il soggetto probabilmente ha faticato nel mantenere il carico di lavoro per un'ora, di conseguenza l'operatore ha provveduto a diminuire l'intensità, dal momento che è la F.C. a dover rimanere costante per garantire il RER ottimale, che corrisponde al fatmax.

Il test incrementale è quello che racchiude il maggior numero di dati ed essendo monitorato da software medici è certamente quello che garantisce una maggiore precisione nei dati.

In ogni caso, gli altri due test hanno confermato i risultati del primo, scongiurando così eventuali errori dell'operatore o malfunzionamenti delle attrezzature.

CONCLUSIONI

Dopo aver osservato il soggetto durante i test e durante le otto settimane di allenamento aerobico continuo a carico costante si è potuto constatare che i test effettuati sono stati soddisfacenti nell'individuare con precisione la frequenza cardiaca alla quale si è poi svolto l'allenamento e il loro confronto ha portato alla conferma, diretta o indiretta, dei risultati di ogni singolo test, nonostante fossero focalizzati su parametri differenti.

La frequenza cardiaca individuata dai test è risultata facile da mantenere, da parte del soggetto osservato, durante gli allenamenti e le attrezzature utilizzate hanno consentito un monitoraggio completo e facilmente ripetibile.

In particolare si potrebbe aggiungere che il test di Astrand permette velocemente, con buona precisione e con un numero limitato di attrezzature di individuare la F.C. necessaria al soggetto per compiere questo tipo di lavoro.

Ogni singola seduta di allenamento ha influito in maniera positiva su quella seguente, in quanto si è notato un incremento dell'intensità di esercizio a parità di frequenza cardiaca di volta in volta.

Inoltre, l'insieme delle sedute di allenamento effettuate con cadenza regolare ha portato ad un miglioramento dello stato di salute del soggetto, dovuto agli adattamenti tipici dell'allenamento aerobico. In particolare, si è potuto notare un marcato miglioramento del metabolismo lipidico, in quanto il RER si è mantenuto costante, assieme alla F.C., nonostante l'intensità d'esercizio progressivamente aumentasse col passare delle settimane.

Il soggetto ha riportato una leggera perdita di massa totale, traducibile in una buona perdita di massa grassa, dal momento che l'esercizio aerobico aumenta la capillarizzazione e la massa magra a scapito di quella grassa.

Gli esercizi a cui il soggetto ha partecipato durante le settimane di lavoro sono risultati di qualità differente tra loro: il mantenimento della frequenza cardiaca ha permesso di mantenere invariato il RER e quindi il tasso di consumo dei lipidi, tuttavia sono state necessarie correzioni d'intensità tra un esercizio e l'altro.

In particolare la camminata su treadmill è risultata essere la modalità d'esercizio ottimale per la mobilitazione del metabolismo lipidico in tutto il corpo, per l'intensità d'esercizio percepita dal soggetto e per la regolarità e la facilità nel rilevare i dati durante gli esercizi. E' stato infatti l'esercizio nel quale si è potuto registrare il più marcato incremento di intensità a parità di frequenza cardiaca.

Alla luce di queste considerazioni, si potrebbe affermare che, per un soggetto sedentario e sovrappeso, la modalità d'esercizio aerobico più semplice e più facilmente ripetibile sia quella giusta da somministrare, dal momento che più viene svolto con regolarità e costanza più si ottengono i tipici benefici e adattamenti di tale esercizio.

Inoltre, dal momento che il soggetto percepisce i benefici solo dopo un periodo di tempo relativamente lungo, è auspicabile che l'esercizio sia facilmente tollerabile anche dal punto di vista psicologico.

E' stato infatti rilevato dall'operatore, durante le sedute d'allenamento, una netta preferenza, da parte del soggetto, nei confronti dell'esercizio su treadmill e su cicloergometro, piuttosto che sullo step, che è stato poi l'esercizio nel quale i miglioramenti sono risultati inferiori.

Bibliografia

1. **Dr L.N. Vittori, Prof. P. Maietta Latessa, Prof C. Tentoni.** Laboratorio di Analisi Clinica del Movimento Umano. Facoltà di Scienze Motorie, Università degli Studi di Bologna. Review: Metabolismo lipidico e FatMax. Analisi attuale e prospettiva di studio.
2. **Kiens, Bente.** Skeletal Muscle Lipid Metabolism in Exercise and Insulin Resistance. *Physiol Rev* 86: 205–243, 2006; doi:10.1152/physrev.00023.2004.
3. **Bente Kiens, Birgitta Essen-Gustavsson, Niels Juel Christensen And Bengt Saltin.** Journal of Physiology (1993), 469, pp. 459-478 459 With 6 figure8.
4. **Jeffrey F Horowitz and Samuel Klein.** Am J Clin Nutr 2000;72(suppl):558S–63S.
5. **Chenevière et al.** Metabolism Clinical and Experimental 58 (2009) 1778–1786.
6. **Pillard Fabien, Cedric Moro, Isabelle Harant, Eric Garrigue et al.** Lipid oxidation according to intensity and exercise duration in overweight men and women. *Obesity.* 2007;15:2256–2262.
7. **Bonen and Lawrence L. Spriet, Jason L. Talanian, Stuart D. R. Galloway et al.** *J Appl Physiol* 102:1439-1447, 2007. First published 14 December 2006.
8. **Chenevière et al.** Metabolism Clinical and Experimental 58 (2009) 1768–1777.
9. **Juul Achten, Michelle C. Venables, and Asker E. Jeukendrup.** Metabolism, Vol 52, No 6 (June), 2003: pp 747-752.
10. **E. F. Coyle, A. E. Jeukendrup, A. J. Wagenmakers and W. H. Saris.** Am J Physiol Endocrinol Metab 273:E268-E275, 1997.
11. **Juul Achten and Asker E. Jeukendrup.** Nutrition Volume 20, Numbers 7/8.
12. **C. Tentoni , C. Ravaioli , E. Foschi, P.L. Maietta* et al.** Chinesiologia n°1 / 2007.
13. **Iosto Tradori, Salvatore Squatrito.** Differenze emodinamiche dopo test da sforzo rettangolari di diversa intensità e durata.