

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

Dottorato di Ricerca in
Discipline delle Attività Motorie e Sportive

Ciclo XXV

Settore Concorsuale di afferenza: 05/L1

Settore Scientifico disciplinare: MDF/01

Ottimizzazione del consumo dei grassi durante esercizio
fisico: studio di
un test per il target mirato di allenamento individuale.

Coordinatore Dottorato: Ch.mo Prof. Salvatore Squatrito

Relatore: Ch.mo Prof. Claudio Tentoni

Presentata da: Leydi Natalia Vittori

Esame finale anno 2013

INDICE

Indice Tabelle	4
Indice Immagini	5
Glossario.....	7
Abstract	8
Introduzione	10
FATMAX.....	12
Determinazione dell'intensità di esercizio per ottenere il FATmax.....	15
Migliorare l'accuratezza della determinazione del FATmax	16
Comparazione del FATmax alla soglia ventilatoria e anaerobica	17
Comparazione del FATmax alla soglia del lattato	18
Applicazione della zona del FATmax (FATmax zone).....	19
FATmax in relazione ad obesità, età, sesso, dieta e stato di allenamento	20
ESERCIZIO FISICO E MASSIMA OSSIDAZIONE LIPIDICA	23
Ossidazione lipidica durante l'esercizio fisico	23
Ossidazione lipidica in base all'intensità dell'esercizio	24
Trigliceridi intramiocellulari (IMTG)	27
Studi inerenti.....	28
Reclutamento muscolare.....	29
PRIMO STUDIO.....	32
Introduzione	32
Soggetti	33
Materiale.....	34
Metodi.....	38
Analisi.....	42
Risultati.....	43

Caratteristiche del gruppo di studio	43
Test incrementali e Fatmax	44
Test a carico costante V Polimedicus	51
Discussione.....	54
SECONDO STUDIO	58
Introduzione.....	58
Soggetti.....	58
Materiale:.....	59
Analisi del software InCa.....	59
Analisi statistica.....	63
Risultati.....	63
Test incrementale e INCA	63
Test a carico costante e INCA	64
INCA V Polimedicus	65
Discussione.....	69
TERZO STUDIO	72
Introduzione.....	72
Soggetti.....	73
Materiale.....	74
Metodi.....	76
Analisi.....	77
Risultati.....	78
Discussione.....	82
CONCLUSIONE.....	85
RINGRAZIAMENTI	86
BIBLIOGRAFIA.....	87
(Allegato A).....	92
(Allegato B).....	93

Indice Tabelle

Tabella 1 Caratteristiche fisiche dei soggetti arruolati come Md±DS, N=16	34
Tabella 2 Gruppo di studio al tempo T0 e T1 di peso, BMI (body mass index), FM (fat mass), FFM (Free Fat Mass) e Massa ossea. I valori sono riportati come M±SD; N= 16.....	43
Tabella 3 $\Delta V_{O_2} \cdot kg$, ΔV_{CO_2} , ΔRER , ΔHR , $\Delta \%HR$ nella fase di recupero dei test	44
Tabella 4 Risultati dei test degli effetti	44
Tabella 5 Risultati riepilogo della stima	45
Tabella 6.....	45
Tabella 7 VO_2 , Lipidi ($g \text{ min}^{-1}$) e Carboidrati($g \text{ min}^{-1}$) all'ultimo step aerobico al TO e T1	49
Tabella 8 Differenza dei valori di Fatzone determinati con il software Polimedicus al TO	50
Tabella 9 Test a carico costante dei singoli soggetti	52
Tabella 10 ΔRER e ΔHR e $\Delta \% HR$ confrontando i test a carico costante con il software Polimedicus, N=16.....	53
Tabella 11 Caratteristiche fisiche dei soggetti arruolati, N=16.....	59
Tabella 12 ΔRER , $\Delta \%HR$, $\Delta Km/h$, analisi test incrementale al TO 1 T1 con il software INCA .	64
Tabella 13 ΔRER e ΔFc e $\Delta \% FC$ confrontando i test a carico costante con il software INCA, N=16.....	65
Tabella 14 Tabella ΔRER , ΔHR , test incrementale T0 INCA e Polimedicus.....	66
Tabella 15 ΔRER , ΔHR test incrementale T1 INCA v Polimedicus	67
Tabella 16 Descrizione del gruppo, gruppo uomini e donne come Med e Dev stand. gruppo di studio, N=25	74
Tabella 17 Gruppo Fatmax Media e DS.....	78
Tabella 18 Correlazione RER/HR, RER/Watt e HR/watt, N=19.....	79
Tabella 19 ΔRER E $\Delta HR\%$ test carico costante e INCA	82

Indice Immagini

Figura 1 VO ₂ Peak Achten, Gleeson, e Jeukendrup [2002]	12
Figura 2 Brooks e Mercier: crossover point.....	13
Figura 3 Horowitz ¹⁴ “Lipid metabolism during endurance exercise” pp.560S, Tasso lipolitico di tutto il corpo a riposo e durante 4 ore di esercizio al treadmill eseguito alla medesima intensità assoluta (20 mL O ₂ consumato kg ⁻¹ min ⁻¹) in soggetti allenati e non allenati.....	24
Figura 4 Preso da Horowitz ¹⁴ “Lipid metabolism during endurance exercise” pp.559S Tassi di lipolisi (3 x il tasso di comparsa di glicerolo nel plasma), assorbimento degli acidi grassi, e ossidazione degli acidi grassi a riposo e durante 4 ore di esercizio al treadmill eseguiti al 45% del massimo consumo di ossigeno (V ^o O ₂ max) nei soggetti non allenati.....	26
Figura 5 Preso da Van Loon ¹⁰ “Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in endurance-trained males in a fasted state” pp. 618	29
Figura 6 Van Loon ¹⁰ “Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in endurance-trained males in a fasted state”	30
Figura 7 Preso da Stellingwerff ¹⁴ “ Significant intramyocellular lipid use during prolonged cycling in endurance-trained males as assessed by three different methodologies” p.E1720	31
Figura 8 Cardio MedGraphics.....	35
Figura 9 Metabolimetro portatile VO ₂ 000 (Medgraphic).....	36
Figura 10 Cardiofrequenzimetro e fascia	36
Figura 11 Immagine del tracciato del consumo di ossigeno dopo elaborazione da parte del software	38
Figura 12 Stanza in cui il soggetto attendeva prima dell’inizio del test.	39
Figura 13 Immagine presa durante l’esecuzione del CPET	40
Figura 14 Lavoro aerobico su treadmill	41
Figura 15 Lavoro aerobico su bike.....	41
Figura 16 Lavoro aerobico su step	42
Figura 17 Variabilità del gruppo VO ₂ *kg.....	46
Figura 18 Variabilità del gruppo per VO ₂	46
Figura 19 Variabilità del gruppo per VCO ₂	47
Figura 20 Variabilità del gruppo RER	47
Figura 21 Variabilità del gruppo %HR	48
Figura 22 Diagramma a dispersione RER, VO ₂ , HR al T0 e T1	51

Figura 23 FC Polimedicus HR e Δ HR Test carico costante, N=16.....	53
Figura 24 Analisi del software Inca del test incrementale	61
Figura 25 Grafico e Calcolo del Fatmax con il software INCA.....	62
Figura 26 Grafico a dispersione RER, HR, VO2 Inca e Polimedicus al To e T1	69
Figura 27 Metabolimetro VO2000 e maschera Pneumomask.....	74
Figura 28 Cardiofrequenzimetro a fascia Polar e treadmill Air Machine C 50.....	75
Figura 29 Soggetto ripreso durante lo svolgimento di un test incrementale.	77
Figura 30 correlazione RER e Watt	79
Figura 31 Correlazione HR e Watt.....	79
Figura 32 gruppo uomini.....	80
Figura 33 gruppo donne	80

Glossario

FATmax = Massimo consumo lipidico

VO₂peak = Picco di consumo d'ossigeno

ATP = Adenosinatrifosfato(?)

VO₂ = Volume d'ossigeno

VCO₂ = Volume di anidride carbonica

VO₂max = Massimo consumo di ossigeno

RER = Respiratory exchange ratio

QR= Quoziente respiratorio

LT = Soglia del lattato

VT = Soglia ventilatoria

AT = Soglia anaerobica

W = Potenza (lavoro per unità di tempo)

pH = misura dell'acidità o della basicità di una soluzione.

EE = Consumo energetico

FATmin= Minimo consumo lipidico

FFA = Acidi grassi liberi(?)

CPT-1 = carnitina-palmitoil-transferasi I,

HDL = Alta densità lipidica

Ra = Acidi grassi nel plasma

IMTG = Trigliceridi plasmatici o intramuscolari

Wmax = Potenza massima

BMI= Body Mass Index (Indice di massa corporea)

HR= Frequenza cardiaca

HR%= Percentuale di frequenza cardiaca massima

FFM= Fat Mass Free(Massa Magra)

FM=Fat Mass (Massa grassa)

Abstract

Tra i benefici indotti dall'esercizio fisico regolare, abbiamo preso in considerazione la produzione di energia a carico dei lipidi. Diversi studi precedenti avevano lo scopo di determinare un'intensità di esercizio che provoca la massima ossidazione dei grassi (FATmax) attraverso test di tipo incrementale o carico costante^(1,5,46,51,54), nei quali venivano individuate le frequenze cardiache e l'intensità corrispondente di RER più vicino alla massima ossidazione di lipidi.

Il primo studio è stato orientato a verificare l'affidabilità del software Polimedicus, ideato dall'istituto di Medicina dello Sport di Bologna per il calcolo del Fatmax, e gli effetti indotti dall'allenamento aerobico all'intensità della Fatzone. Metodi: sono stati arruolati 16 soggetti con un'età media $48,93 \pm 1,91$ e BMI $26,85 \text{kg/m}^2 \pm 2,79$; sono stati sottoposti a test incrementale fino al raggiungimento di un RER pari a 0,95, da quel momento il carico è stato aumentato di 1 Km/h ogni minuto fino a esaurimento. In seguito si verificato se i valori estrapolati dal programma sono quelli che possono verificarsi durante un allenamento di un'ora. Dopo 8 settimane di allenamento, i soggetti sono stati sottoposti ad un altro test incrementale, per verificare le modificazioni cardio-respiratorie dopo questo periodo di esercizio fisico. Risultati: ΔFM $-0,92 \pm 1,06$ con un $p=0,008$ e ΔFFM $0,62 \pm 0,81$ con un $p=0,029$. Un miglioramento della fase di recupero dal T0 al T1 di ΔVO_2 $-8,61 \pm 40,33$, ΔRER $0,57 \pm 2,35$ e di HR $-7,46 \pm 12,69$. Un miglioramento dell'ultimo step aerobico del $\Delta\text{VO}_2 \cdot \text{Kg}$ di $0,65 \pm 5,12$, Lipidi $0,18 \pm 0,58$ e CHO $0,015 \pm 1,53$. La Fatzone, calcolata con Polimedicus, dal T0 al T1 $0,01 \pm 0,04$, ΔHr $0,72 \pm 7,20$ e $\Delta 5,93 \text{km/h} \pm 1,53$.

Discussione: Dall'analisi dei dati è emerso un miglioramento della composizione corporea e del BMI, portando il gruppo ad un BMI di normopeso comportando una riduzione di rischi cardiovascolari. Nonostante non sia stata riscontrata una variazione della Fatzone si ha avuto un miglioramento del $\text{VO}_2 \cdot \text{kg}$ e dell'utilizzo dei substrati comportando un miglioramento della capacità di lavoro ed energia spesa. Il miglioramento del tempo di recupero mette in evidenza l'ulteriore trend positivo riguardante la capacità cardio-circolatoria del gruppo. I dati finali hanno mostrato che Polimedicus non si è dimostrato molto affidabile, soprattutto per quanto riguarda il Hr.

Il secondo studio si è sviluppato sull'ideazione di un nuovo software per il calcolo del consumo lipidico, INCA, in seguito ai dati riscontrati nella prima sperimentazione. Metodi: Sono stati confrontati i valori estrapolati dal test incrementali e costante con entrambi i programmi.

Risultati: Inca ha individuato la FATzone del gruppo con un RER e %HR come media \pm DS di $0,86\pm 0,03$ e $74,71\pm 8,05$. Al T0 e T1 un Δ RER di $-0,105\pm 1,187$ e Δ HR $-1,18\pm 3,01$. Il confronto tra INca e test a carico costante Δ RER $-0,01\pm 0,288$ e Δ HR $-1,8\pm 3,01$.

Discussione: Inca si è mostrato più attendibile, non solo per quanto riguarda il RER, ma soprattutto per quanto riguarda la FC allenante. In futuro il software dovrà essere testato su altre tipologie di soggetti e con altri tipi di test.

Nel terzo studio è stato verificato il test FATmax_{work} sviluppato per il calcolo del FATmax attraverso Inca. Metodi: Sono stati arruolati 25 soggetti sovrappeso con età media di $50,92\pm 4,462$ e BMI di $27,53\text{kg/m}^2\pm 1,72$. Tutti i soggetti sono stati sottoposti al test FATmax_{work} caratterizzato da una velocità iniziale di 3Km/h e un incremento di 1Km/h ogni 5 min fino al raggiungimento di 20minuti. In seguito si è verificato se i valori estrapolati dal programma sono quelli che possono verificarsi durante un allenamento di un'ora.

Risultati: Dall'elaborazione dei dati la Fatzone è stata individuata con un RER di $0,86\pm 0,09$, W di $130\pm 63,6$ e %HR di $54,2\pm 4,93$. Dal confronto del test a carico costante e INCA è risultata una differenza di $0,008\pm 1,92$ per quanto riguarda il RER e $-0,216\pm 1,922$ della %HR.

Discussione: I dati emersi non si discostano da quelli in bibliografia e dimostrano una significativa attendibilità di INCA e il Fatmax_{work} test. Elementi interessanti nello sviluppo di questo nuovo test sono stati la possibilità di applicabilità a diverse di tipologie di soggetti e la sicurezza nel suo svolgimento.

Conclusioni: Lo sviluppo del software INCA e del test Fatmax_{zone} hanno risposto alle necessità richieste ad oggi dagli studi in questo settore: trovare un metodo valido ed efficace per il calcolo del Fatmax. In futuro bisognerà concentrarsi sull'ottimizzazione del software e del test, non solo nei disturbi metabolici, ma anche su miglioramento della performance ed effetti di diverse metodiche di allenamento sul FATmax.

Introduzione

Il più importante dei trattamenti per prevenire condizioni quali il sovrappeso e l'obesità è il regolare esercizio fisico che incrementa la spesa energetica giornaliera e l'ossidazione di grassi. Numerosi studi hanno descritto il rapporto tra l'intensità dell'esercizio e l'ossidazione dei grassi, ma pochi hanno valutato questa relazione alle diverse intensità di esercizio.(XXX) Gran parte dei programmi di esercizio per i pazienti obesi e di allenamento di resistenza per gli atleti, si sono limitati a valutare i benefici cardiovascolari e respiratori e l'aumento della capacità ossidativa nel muscolo scheletrico. E' stato dimostrato che negli atleti, dopo un allenamento di resistenza, l'ossidazione di grassi ad una determinata intensità è aumentata, con conseguente miglioramento della performance globale. Quindi, l'abilità di ossidare acidi grassi è relazionata a una miglior performance; questi cambiamenti sono il risultato di un complessivo incremento della capacità aerobica.

È stato dimostrato che l'allenamento di resistenza modifica e migliora l'equilibrio di ossidazione del substrato, soprattutto in soggetti affetti da sindromi dismetaboliche come nel caso dell'obesità e diabete di tipo 2: l'aumento dell'ossidazione dei grassi negli obesi attraverso l'attività fisica è associato a una maggiore sensibilità all'insulina. Mentre l'allenamento di resistenza a bassa intensità, mirata ad aumentare l'ossidazione dei lipidi determina un miglioramento della composizione corporea (BMI).

L'ossidazione dei lipidi, inoltre, è anche legata alla capacità d'esercizio, negli atleti perché l'utilizzo da parte del muscolo di trigliceridi dipende dal livello di allenamento. In una varietà di condizioni cliniche, l'esercizio fisico può essere utile a cambiamenti nel metabolismo dei grassi.

Test più specifici del tasso massimo di ossidazione dei grassi vengono effettuati in ambulatorio attraverso le misure dirette del $VO_2\text{max}$, attraverso gli scambi gassosi: O_2 e CO_2 . Ad esempio il calcolo del $VO_2\text{max}$ attraverso il test di Bruce fornisce due indici: il crossover, il punto d'incrocio di utilizzazione del substrato (lipidi/ CHO) e il FatMax.

Meyer et al. [2007] ha dimostrato che, il Fatmax non può essere determinato in maniera affidabile da una calorimetria indiretta nei giovani sani e orientati alle prestazioni sportive di elite, in quanto le variabilità intraindividuali sono tantissime.

Appare quindi indispensabile definire con rigorosa esattezza le procedure di normalizzazione (alimentazione, pre-test, test di protocollo,ecc) per consentire un affidabile determinazione del FATmax. Inoltre occorre verificare se l'allenamento a un'intensità

corrispondente al FATmax porta veramente a un aumento del metabolismo dei lipidi e alla effettiva riduzione di massa grassa. Ulteriore passo sarà quello di studiare l'efficacia dell'allenamento seguendo il FATmax in varie condizioni fisiche, e di sviluppare metodi per la sua motorizzazione durante l'allenamento.

FATMAX

Con il concetto di "FATmax" si intende quell'intensità di esercizio con la quale si ottiene la massima percentuale di ossidazione di grassi, così definita dagli studiosi Achten, Gleeson, e Jeukendrup [2002]; generalmente è espressa come una percentuale del picco di consumo d'ossigeno ($\dot{V}O_{2peak}$), come mostrato nella fig.1.

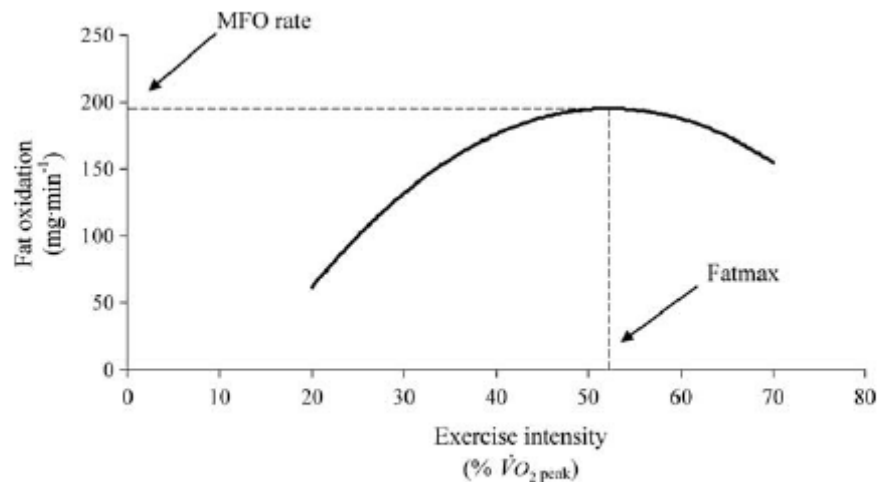


Figure 1. Fatmax and rate of maximum fat oxidation (MFO).

Figura 1 VO2 Peak Achten, Gleeson, e Jeukendrup [2002]

Il valore metabolico relativo alla massima ossidazione lipidica (FATmax), durante uno sforzo fisico, corrisponde alla massima quantità di ATP derivante dall'ossidazione degli acidi grassi.

L'identificazione del FATmax avviene usando un grafico in cui vengono messi a confronto l'ossidazione di grassi verso l'intensità di esercizio; i campioni dei periodi di $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ usati per stimare l'ossidazione di grassi durante ogni intensità di esercizio, devono essere considerati per valutare se questi valori riflettono un fisiologico *steady state*.

I grassi e i carboidrati sono i maggior substrati energetici utilizzati durante l'esercizio; il loro rispettivo contributo è regolato largamente dall'intensità di esercizio, sebbene altri fattori come la durata dell'esercizio, l'età, il sesso, la dieta, le condizioni fisiche e la disponibilità dei substrati sono implicati.

Vari studi hanno dimostrato che il substrato più importante ossidato a livello del muscolo sotto sforzo è il glucosio; la percentuale massima di ossidazione dei carboidrati durante

l'esercizio fisico è di circa due volte superiore a quella di lipidi. Tuttavia, quando il metabolismo dei substrati viene valutato nel complesso di tutto il corpo, i lipidi restano la principale fonte di combustibile a riposo e durante l'esercizio fisico; infatti a riposo, i lipidi forniscono il più del 50% del fabbisogno energetico, e rimangono un'importante fonte di energia durante l'esercizio da bassa a media intensità, mentre i carboidrati diventano il principale substrato ad alta intensità (> 80% VO_{2max}).

Quindi esiste una forte relazione tra intensità di esercizio e ossidazione di grassi; per questo grande importanza viene assunta dal concetto del *crossover point*.

Come l'esercizio aumenta di intensità, si assiste ad un incremento del contributo relativo di ossidazione dei carboidrati e ad un diminuito contributo relativo di ossidazione dei grassi per quanto riguarda la spesa energetica; questo meccanismo appena spiegato è in stretta relazione col concetto del *crossover point* (fig 2) definito da Brooks e Mercier [1994]. In termini assoluti, la percentuale di ossidazione dei carboidrati incrementa proporzionalmente con l'aumentare dell'intensità dell'esercizio, mentre la percentuale di ossidazione dei grassi incrementa per intensità da basse a moderate e poi declina a intensità più alte.

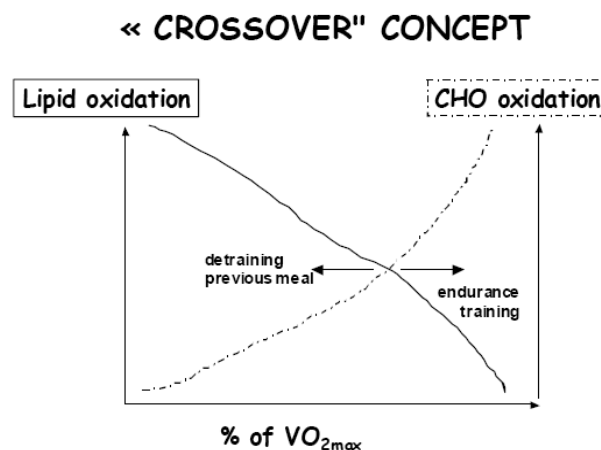


Figura 2 Brooks e Mercier: crossover point

Il bilancio di substrati all'esercizio è una funzione dell'intensità di esercizio, la proporzione di lipidi utilizzati per l'ossidazione diminuisce continuamente quando aumenta l'intensità, mentre i carboidrati diventano il combustibile predominante (>70%) al di sopra del *crossover point* (circa il 50% VO_{2max}); questo aumento della ossidazione di carboidrati sottoregola l'ossidazione dei lipidi, nonostante la lipolisi sostenuta.

L'allenamento di resistenza, l'approvvigionamento energetico, la manipolazione dietetica e l'esercizio precedente modificano questo modello; atleti più allenati mostrano uno spostamento

verso destra in questo rapporto con un maggiore e migliore ricorso ai substrati lipidici durante l'esercizio.

Un parametro importante nello studio del FATmax è dato dal rapporto di scambio respiratorio o RER (*respiratory exchange ratio*), il quale si ottiene dal rapporto tra la CO₂ espirata e l'O₂ trattenuto ($RER = VCO_2/VO_2$); la sua misura consente, sia in condizioni di riposo che di esercizio fisico aerobico, di stabilire quale substrato energetico (lipidi e glucidi), è stato maggiormente ossidato. La misurazione del RER, e quindi del metabolismo basale e non, si ottiene attraverso l'utilizzo della calorimetria indiretta; questa è la metodica che consente di valutare la spesa energetica attraverso la misurazione delle variazioni di concentrazione di ossigeno e anidride carbonica nei gas respiratori e di calcolare inoltre l'ossidazione dei substrati energetici (glucidi, lipidi, protidi). L'intervallo del RER è compreso tra i valori $\leq 0,7$ e $\geq 1,0$, riflettendo, per i valori più bassi, la prevalenza dell'ossidazione dei substrati lipidici, mentre, per i valori più alti, la prevalenza dell'ossidazione del glucosio, sino a diventare questo il solo substrato ossidato. Dalla condizione di riposo ad attività fisiche leggere o aerobiche, il parametro RER esprime l'ossidazione di una loro miscela e il suo valore è di circa 0,82. Con l'incremento dell'intensità dell'esercizio, il predetto valore aumenta e, per esercizi incrementali massimali e strenui, raggiunge l'unità e, per ragioni extrametaboliche legate al tamponamento del lattato, la supera ($\geq 1,0$).

Molti studi sono stati condotti in passato per cercare di determinare in modo preciso il FATmax; alcuni di questi hanno utilizzato protocolli che si basavano su intensità di esercizio a carico costante, mentre altri studiosi hanno utilizzato protocolli di test incrementali con numero diverso di step e di durata di ogni step; i risultati ottenuti però non hanno consentito di ottenere una precisa affidabilità del FATmax. Così ulteriori studi e approcci alternativi sono stati adottati per avere una più precisa ed efficiente identificazione del carico di lavoro e dell'intensità di esercizio alla quale compare la massima ossidazione di grassi, ed in tal senso il FATmax è stato comparato alle intensità di esercizio impiegate per soglie fisiologiche come la soglia del lattato (LT), la soglia ventilatoria (VT) e la soglia anaerobica (AT), corrispondenti quindi a misure della capacità aerobica. In aggiunta, si è cercato di individuare il range di intensità di esercizio alle quali la percentuale di ossidazione di grassi si trova all'interno del 10% del FATmax (FATmax zone).

L'impiego del parametro del FATmax sta assumendo via via sempre di più maggior importanza sia in ambito sportivo, sia per quanto riguarda il trattamento di persone in sovrappeso e obese, e di conseguenza anche per la prevenzione e la cura di alcune malattie cardiovascolari.

Infatti, il FATmax durante le sessioni di allenamento, è diventato il target maggiormente utilizzato all'interno di sport di resistenza sia di elite che ricreazionali. Durante eventi di lunga distanza di podismo e ciclismo, l'aumentato impiego del metabolismo di grassi invece che dei percorsi glicolitici, permettono il risparmio delle riserve di glicogeno che possono essere così utilizzate per le ultime fasi di un esercizio ad alta intensità, come ad esempio in uno sprint finale, migliorando così la performance globale finale. Ed è ben confermato da molti coaches, che il massimo turnover di acidi grassi durante l'allenamento rappresenta il più appropriato stimolo per ottimizzare la capacità di questa via metabolica per finalità di competitive.

Inoltre, come affermato in precedenza, il valore del FATmax può essere di fondamentale importanza quando si ha a che fare con soggetti che sono in sovrappeso o che persone obese. Gli individui che sono soggetti a questi tipi di disagio, presentano un aumentato deposito di trigliceridi intramuscolari e sono propensi ad avere elevati livelli di insulino resistenza, come accade in diabetici di tipo2. In questi casi si può riscontrare una più bassa percentuale di ossidazione di grassi sia a riposo che durante esercizi sottomassimali, quindi, un importante fattore nella eziologia di sovrappeso e obesità può essere relativo all'inabilità di un'efficiente ossidazione di lipidi. È stato dimostrato come l'allenamento fisico, in particolare quello aerobico, possa incrementare l'ossidazione di grassi. Questi cambiamenti nel metabolismo lipidico possono migliorare il bilancio di grassi per la gestione del peso e ridurre la dipendenza dal glucosio come fonte di energia per pazienti diabetici; più specificatamente, allenamenti corrispondenti al FATmax hanno dimostrato incrementare la sensibilità all'insulina in adulti e adolescenti obesi.

Determinazione dell'intensità di esercizio per ottenere il FATmax

Nonostante il considerevole interesse nel massimizzare il metabolismo di grassi durante la sessione di allenamento in soggetti sani e allenati, un sorprendente piccolo numero di studi sono stati fatti al riguardo, e molti di essi hanno impiegato un minimo numero di intensità; appare chiaro che per ottenere l'intensità di esercizio con la quale ottenere la massima percentuale di ossidazione di grassi diventa difficoltoso se si utilizzano solamente due, tre, quattro o cinque intensità di esercizio predefinite. Dovuto all'inabilità di questi test di ottenere intensità intermedie, insieme alla lunga durata del test stesso che preclude la loro applicazione come procedure di routine, Achten *et al.* [2002], hanno introdotto un protocollo di esercizio alternativo caratterizzato da step graduali ad intensità differenti, capace di esaminare una vasta

gamma di intensità, allo scopo di determinare l'intensità di esercizio che permette di ricavare il FATmax.

Il primo studio adottato in questo senso, per ricavare il FATmax a varie intensità di esercizio, ha usato un test continuo e graduale al cicloergometro iniziando a 95W con step di 5 minuti e un incremento di 35w ogni step; durante l'ultima fase del test, quando era raggiunto il $RER > 1.0$, la percentuale di lavoro era incrementata di 35W ogni 2 minuti fino all'esaurimento. Dopo aver calcolato l'ossidazione dei substrati dalla media dei dati raccolti negli ultimi 2 minuti di ogni step usando l'equazione stechiometrica [Frayn 1983], una curva della percentuale di ossidazione di grassi in relazione all'intensità di esercizio (% VO_{2max} o % HRmax) è stata creata per ogni individuo allo scopo di determinare il FATmax. Le analisi della media di queste curve corrispondenti ai 20 soggetti moderatamente allenati, hanno rilevato che le massime percentuali di ossidazione di grassi di $0,60 \pm 0,07$ g/min avvenivano a un FATmax di $64,4 \pm 4\%$ del VO_{2max} , equivalente a $74 \pm 3\%$ di HRmax. Achten *et al.* non trovarono invece significative differenze in FATmax tra test graduali caratterizzati da 3 o 5 minuti di step; mentre trovarono che il coefficiente di variazione per stimare il FATmax era di 9,6%, dimostrando la presenza di notevoli variazioni individuali per quanto riguarda il FATmax anche in partecipanti di un gruppo omogeneo. Sempre Achten *et al.* [2003], hanno comparato le percentuali di ossidazione di grassi tra la corsa e il ciclismo arrivando alla conclusione che queste erano maggiori durante la corsa, mentre il FATmax non era differente tra il test al cicloergometro e quello al tapis roulant; cmq anche in questo studio, le differenze riscontrate nei FATmax di ogni partecipante hanno messo in luce le grandissime variazioni intraindividuali presenti tra i vari soggetti, le quali sono difficili da esaminare e da tenere sotto controllo.

Migliorare l'accuratezza della determinazione del FATmax

La determinazione del FATmax con un test a esercizio graduale, è un processo complesso; il più importante è la costruzione di una curva che rappresenti la percentuale di ossidazione di grassi verso l'intensità di esercizio (% VO_{2max} o % HRmax). Dati riguardanti un minimo di cinque intensità di esercizio sono generalmente richiesti per costruire la curva del FATmax, in modo tale che l'asintoto che identifica la percentuale massima di ossidazione possa essere facilmente e chiaramente individuato; poiché è presente però un considerevole grado di variabilità interindividuale nell'utilizzazione dei substrati, alcuni soggetti potrebbero produrre un insufficiente numero di dati e quindi di punti per costruire la curva del FATmax. Quindi, modifiche nella metodologia impiegata per determinare il FATmax potrebbero essere richieste

per ovviare a questo potenziale inconveniente. Un approccio per migliorare l'accuratezza della determinazione del FATmax è quello di calcolare i marker riconosciuti della capacità aerobica come il LT, VT e AT per identificare in maniera migliore e precisa l'intensità di esercizio che corrisponde alla massima ossidazione di grassi. Selezionando LT come marker di capacità aerobica da comparare al FATmax, si vuole dare importanza al ruolo che ha l'accumulo di ioni H^+ nella regolazione del metabolismo; durante il passaggio da moderata ad alta intensità di esercizio, l'aumento della formazione di lattato porta ad una diminuzione dei livelli del muscolo e del sangue di pH, i quali sono relazionati ad un decremento delle percentuali di ossidazioni di grassi. È quindi probabile che l'intensità di esercizio alle quali avviene LT potranno coincidere con l'intensità a cui si ottiene o ci si avvicina al FATmax [Achten e Jeukendrup 2004b]. L'abbondante letteratura riguardante la rilevanza dell'uso di LT e VT, e in misura minore di AT, nella classificazione di parametri per la performance e per la prescrizione di esercizio, indica la loro idoneità come marker di comparazione del FATmax. Nonostante questo, studi condotti in soggetti allenati e obesi, allo scopo di misurare la relazione tra FATmax e LT, VT e AT, hanno riportato conclusioni divergenti.

Comparazione del FATmax alla soglia ventilatoria e anaerobica

Uno studio di Bircher *et al.* [2005], per valutare la coincidenza tra l'ossidazione di grassi e VT, ha riportato che la V_{O_2} e la percentuale di VO_{2max} corrispondente a VT era significativamente più bassa di quella al FATmax in 13 soggetti obesi che si sono esercitati al cicloergometro per 20 minuti a 6 differenti intensità di esercizio tra il 25-75% del VO_{2max} ; la VT e la FATmax erano raggiunte rispettivamente al 46 e 65% del VO_{2max} , non dimostrando nessuna relazione. Questi risultati dimostrano il potente impatto che possono avere le differenti metodologie nel calcolo del FATmax e del VT; inoltre non erano state riportate informazioni relative ad HR, carico di lavoro, RER o spesa energetica (EE), mettendo in difficoltà il consenso di una relazione tra FATmax e VT.

Ricerche simili sono state condotte da Astorino [2002], che ha coinvolto nove donne moderatamente allenate, le quali sono state sottoposte ad un protocollo che chiedeva loro di esercitarsi al tapis roulant per 15 minuti a sei differenti intensità di esercizio tra il 25-85% del VO_{2max} ; il FATmax era ottenuto al 76% del VO_{2max} , mentre VT era ottenuto al 75% del VO_{2max} . nonostante la somiglianza per quanto riguarda la percentuale di VO_{2max} , non era chiaro se il RER e la EE al VT erano simili a quelli al FATmax, in quanto questi dati e anche quelli della FC non erano stati riportati. Questa similitudine tra FATmax e VT poteva non essere inaspettata

poiché la VT era descritta come la percentuale di lavoro appena sotto l'insorgenza dell'acidosi metabolica e la comparsa dell'incremento non lineare della ventilazione; comunque la correlazione tra FATmax e VT era debole, così la relazione trovata poteva essere puramente una coincidenza.

In uno dei pochi studi impiegati per esplorare sia la AT che la FATmax, Achten e Jeukndrup [2004b], hanno reclutato 33 ciclisti allenati che hanno completato un test incrementale partendo da 96W con incrementi di 35W ogni 3 minuti fino all'esaurimento. La FATmax avveniva al 63% del VO_{2max} , mentre AT avveniva all'82% del VO_{2max} ; pertanto anziché dimostrare una relazione positiva tra FATmax e AT, questo studio dimostrava che l'intensità di AT era stata correlata al punto con il quale l'ossidazione di grassi diventava trascurabile (FATmin), suggerendo una connessione tra la grandezza ossidazione di grassi e l'accumulo di lattato nel sistema.

Comparazione del FATmax alla soglia del lattato

In uno studio eseguito per identificare la relazione tra l'ossidazione di grassi e la soglia del lattato, Bircher e Knechtle [2004] hanno sottoposto obesi sedentari (10 maschi e 10 femmine) e atleti di resistenza (10 maschi e 10 femmine) ad esercitarsi al 55, 65 e 75% del VO_{2max} per 20 minuti in due occasioni separate. Il FATmax (75% VO_{2max}) e LT (76 e 77% VO_{2max} rispettivamente) per gli atleti maschi e femmine era significativamente correlato con LT; non c'erano relazioni tra FATmax e LT per quanto riguarda i partecipanti obesi maschi e femmine. Nonostante una marcata differenza in FATmax, le percentuali di ossidazione di grassi tra maschi obesi e atleti non erano significativamente differenti. Quindi le comparazioni del metabolismo dei substrati dovrebbero essere considerate con cautela a causa della variazioni nella composizione del corpo e dei livelli cardiorespiratori tra i due gruppi; l'allenamento aerobico è noto per incrementare la percentuale di ossidazione di grassi ad un determinato carico di lavoro, e la capacità di ossidare grassi ad alte intensità di esercizio è dipendente dallo stato di allenamento cardiorespiratorio.

Risultati simili sono stati trovati da Achten e Jeukendrup [2004b] nel loro studio su 33 ciclisti i quali hanno completato un test graduale al cicloergometro fino all'esaurimento; FATmax e LT avvenivano al 63% e 61% VO_{2max} rispettivamente e le differenze non erano statisticamente significative. Analisi aggiuntive hanno indicato buoni coefficienti di correlazione per HR e VO_2 tra FATmax e LT; una delle conclusioni di questo studio suggerisce il primo

aumento della concentrazione di lattato è simile all'intensità alla quale era misurato il primo decremento dell'ossidazione di grassi.

In aggiunta a questo studio, Knechtle *et al.* [2004] eseguirono uno studio simile per determinare se il tipo di esercizio può avere un impatto sul FATmax e sulla sua associazione a LT. Atleti di resistenza (19 maschi e 17 femmine) si sono esercitati per 30 minuti al 55, 65 e 75% VO_{2max} sia al cicloergometro, sia al tapis roulant in due separate occasioni. I risultati hanno dimostrato che la percentuale massima di ossidazione di grassi avveniva al 75% VO_{2max} , e che questa coincideva con LT degli uomini e delle donne nel ciclismo (77,4 e 77,8% VO_{2max} rispettivamente), ma non nella corsa (81,8 e 88,4% VO_{2max} rispettivamente); questa differenza nei risultati tra le due modalità di esercizio possono essere causate dalla maggior tensione muscolare e dal maggior reclutamento di unità motorie di fibre di tipo II durante il ciclismo, contribuendo ad una maggior ossidazione di carboidrati con una concomitante produzione di acido lattico. Inoltre, questo studio suggerisce che una più alta proporzione di massa muscolare più grande attivata e che una più bassa concentrazione di lattato prodotta portano ad una significativamente maggiore ossidazione di grassi durante la corsa comparata col ciclismo nei soggetti allenati.

Applicazione della zona del FATmax (FATmax zone)

Insieme alla determinazione del FATmax, Achten *et al.* [2002] sono stati anche i primi a calcolare la FATmax zone, definita come il range di intensità di esercizio con le quali le percentuali di ossidazione di grassi sono all'interno del 10% della massima percentuale di ossidazione al FATmax. Sia la FATmax zone con limite superiore 10%, sia la FATmax zone con limite inferiore 10% sono determinate dalla stessa curva della percentuale di ossidazione di grassi verso l'intensità di esercizio del FATmax.

Nel primo studio utilizzato per stabilire la FATmax zone, Achten *et al.* trovarono, in un gruppo di 18 ciclisti moderatamente allenati, le intensità del più alto e più basso limite della FATzone rispettivamente al 55 e al 72% VO_{2max} , corrispondenti al 68 e al 79% HRmax.

In un altro studio condotto da Achten e Jeukendrup [2003], eseguito su 55 ciclisti di alto livello, il FATmax zone è stato trovato tra il 51,3 e il 69,4% VO_{2max} , corrispondente al 66 e al 78,5% HRmax; i dati ottenuti furono utilizzati solamente per sottolineare gli alti livelli di variabilità interindividuali al FATmax presenti nei soggetti in questione. A conferma di questo, se i partecipanti allo studio si esercitavano alla FATmax media (62,5% VO_{2max}) precedentemente ottenuta, il 67% dei soggetti si sarebbe esercitato all'interno del 10% della loro FATmax zone,

mentre il restante 33% ad una intensità al di sotto del limite inferiore della FATmax zone, inducendo quindi percentuali di ossidazione di grassi di almeno il 10% al di sotto della loro percentuale massima.

Un recente studio condotto da Meyer *et al.* [2007] su 10 atleti amatoriali, non sono state trovate significative differenze nella quantità assoluta di grassi ossidati mentre pedalavano per 60 minuti al 55, 65, 75, 85 e 95% della soglia anaerobica; questo dimostra che non ci sono pregiudizi per quanto riguarda l'ossidazione di grassi comparando le intensità di esercizio al limite superiore della FATmax zone con l'intensità esercitata al FATmax. Nonostante questo, il consumo calorico era diverso e significative differenze sono state riportate in V_{O_2} e HR, dimostrando una spesa energetica notevolmente eterogenea tra le cinque intensità di esercizio; quindi alcuni benefici apportati precedentemente dalle differenze nelle percentuali di ossidazioni potrebbero essere annullate in relazione alla quantità totale di calorie bruciate.

FATmax in relazione ad obesità, età, sesso, dieta e stato di allenamento

La determinazione del FATmax può essere influenzata da, e influenzare vari fattori che andrebbero sempre analizzati e tenuti in conto durante gli studi che vengono eseguiti.

- **Obesità.** Peggioramenti nella ossidazione di grassi in adulti obesi sono stati trovati per quanto riguarda le condizioni di post-assorbimento e la stimolazione β -adrenergica. Minori percentuali di ossidazioni di grassi si sono dimostrate utili per predire aumenti di pesi e successivi aumenti di peso in seguito a perdita di peso precedente; nonostante questo però, la perdita di peso non migliora il peggioramento dell'abilità di ossidare grassi negli individui in sovrappeso. Durante l'esercizio, l'ossidazione di grassi è bassa in relazione ai livelli di acidi grassi liberi, e questo può predisporre gli individui all'obesità; diventa quindi di interesse la ricerca del FATmax nelle persone affette da questo problema. Inoltre si è notato che il FATmax e la percentuale di massima ossidazione di grassi sono più alti nei soggetti allenati rispetto a quelli non allenati, quindi incrementando le capacità cardiorespiratorie si può giungere ad un miglioramento di questi due valori. Altri studi riguardanti adulti obesi, hanno suggerito che in questi soggetti è presente una più alta percentuale di fibre muscolari di tipo II che ossidano principalmente carboidrati, e una più bassa percentuale di fibre muscolari di tipo I le quali ossidano principalmente grassi, riducendo così l'ossidazione di grassi negli individui obesi. È stato anche dimostrato che il turnover di FFA e il rapporto di questo con le lipolisi sono diminuiti con l'obesità. Infine, la riduzione dell'attività della lipoproteina lipasi del muscolo, e le diminuite concentrazioni di CPT-1 possono portare ad un limitato trasporto di acidi grassi liberi all'interno

dei mitocondri; in più alterazioni nelle proteine di trasporto degli acidi grassi presenti nelle membrane, possono essere implicati in basse percentuali di ossidazione di grassi nei soggetti obesi.

- *Età.* Gli adulti hanno un più alto tasso di RER rispetto ai bambini durante esercizi sottomassimali, indicando più basse percentuali di ossidazione di grassi negli adulti rispetto ai giovani; anche il FATmax è più alto nei bambini, è però soggetto a diminuire con l'avanzare dell'età. La pubertà ha una notevole influenza sull'ossidazione di grassi; è associata ad un incremento nella percentuale massima assoluta di ossidazione di grassi e ad una diminuita ossidazione massima di grassi per kilogrammi di massa grassa libera. Questo sta a dimostrare che l'avanzamento nella pubertà riduce l'abilità della massa grassa libera di ossidare grassi durante l'esercizio. I meccanismi che sembrano controllare il più alto FATmax e le relative percentuali di ossidazione di grassi nei bambini potrebbero essere un sistema gli colitico sottosviluppato, una ridotta attività della fosfofruttochinasi e della lattato deidrogenasi, e la minor concentrazione di lattato nel sangue durante l'esercizio nei bambini rispetto agli adulti tramite l'inibizione di CPT-1.

- *Sesso.* Vari studi hanno dimostrato che le donne fanno maggiore affidamento sull'ossidazione di grassi durante l'allenamento rispetto agli uomini; infatti elevati livelli di estrogeni aumentano l'ossidazione di grassi e diminuiscono l'ossidazione di carboidrati. Inoltre, cambiamenti nell'ossidazione dei substrati avvengono nelle differenti fasi del ciclo mestruale, dovuti ai cambiamenti nelle concentrazioni di estrogeni e progesterone, supportando il ruolo degli ormoni sessuali nel controllo dell'ossidazione di grassi nelle donne. Ulteriori studi su persone adulte, hanno riportato che il FATmax era simile tra uomini e donne, mentre la percentuale massima assoluta di ossidazione di grassi era maggiore negli uomini rispetto alle donne; questa differenza diminuiva se rapportata alla massa grassa libera. Quindi, sebbene le femmine possano dipendere di più dai grassi rispetto ai maschi in termini relativi, questo potrebbe non essere vero per quanto riguarda le misure assolute dell'ossidazione di grassi.

- *Dieta.* Recenti studi hanno analizzato l'effetto della dieta, dell'allenamento al FATmax, e la combinazione tra dieta e allenamento al FATmax, sull'ossidazione di grassi in adolescenti obesi. La massima ossidazione di grassi era aumentata notevolmente in seguito ai 2 mesi di intervento nel gruppo di allenamento e di dieta/allenamento, così come i valori relativi dell'ossidazione di grassi; al contrario, l'intervento della dieta da sola non ha avuto effetti sull'ossidazione di grassi. Inoltre, l'allenamento al FATmax ha indotto aumenti della sensibilità all'insulina, ai trigliceridi e al colesterolo HDL; sebbene la dieta da sola non abbia migliorato

questi parametri, ha invece significativamente ridotto la massa corporea, il BMI, il grasso corporeo e la circonferenza vita. Importante è che il gruppo dieta/allenamento ha migliorato tutti questi marker di salute. Questo studio quindi, suggerisce che l'allenamento al FATmax ha un effetto indipendente sull'ossidazione di grassi e su un numero di altri importanti marker di salute; oltremodo, combinando l'allenamento con la dieta si ottengono risultati in un maggior incremento di ossidazione di grassi ed un miglioramento in un numero maggiore di marker di salute comparato con l'intervento dell'allenamento o della dieta da soli.

- *Stato di allenamento.* I soggetti allenati, rispetto a quelli non allenati, hanno una maggiore attività di CPT-1. Questo potrebbe migliorare il trasporto di acidi grassi liberi attraverso la membrana mitocondriale; potrebbe anche essere migliorato il contenuto di proteine delle membrane plasmatiche capaci di legarsi agli acidi grassi. Inoltre si può verificare un maggior assorbimento di FFA negli adulti in seguito all'allenamento, con successivo miglioramento del trasporto di FFA attraverso le membrane muscolari. È stato riportato anche un incremento nell'attività di lipoproteine lipasi nel muscolo dopo un periodo di allenamento aerobico.

ESERCIZIO FISICO E MASSIMA OSSIDAZIONE LIPIDICA

Ossidazione lipidica durante l'esercizio fisico

Nella review di Horowitz¹¹ "*Lipid metabolism during endurance exercise*", viene spiegato come l'esercizio fisico di resistenza ad intensità sub-massimale, aumenti l'ossidazione degli acidi grassi.

I diversi fattori che contribuiscono a questa risposta adattativa sono:

- un aumento della densità dei mitocondri nei muscoli scheletrici, che aumenta la capacità di ossidazione dei grassi;
- una proliferazione di capillari all'interno del muscolo scheletrico, che aumenta la consegna degli acidi grassi al muscolo;
- un aumento della carnitina transferasi, che facilita il trasporto di acido grassi attraverso la membrana dei mitocondri;
- un aumento del legame degli acidi grassi con proteine, che regolano il loro trasporto nei miociti .

Un altro fattore riportato nello studio di Stisen è un'attenuazione dell'accumulo di lattato, più evidente durante l'esercizio fisico a moderata ed alta intensità.

L'accumulo di lattato e la corrispondente diminuzione del pH, sarebbero infatti in grado di ridurre il trasporto di FFA nei mitocondri, a causa di un'inibizione diretta dell'attività di enzimi CPT1 o indiretta tramite un aumento della sensibilità del malonil-CoA.

Questa teoria è supportata da Bezaire che ha osservato come una piccola diminuzione del pH dal 7,0 a 6,8 sia sufficiente per causare una riduzione del 40% nell'attività enzimatica di CPT1.

L'incremento dei tassi di ossidazione dei grassi di tutto il corpo, non è dato, però, da una maggiore lipolisi del tessuto adiposo.

Questa affermazione trova conferma in Horowitz , che riporta gli effetti dell'allenamento di resistenza effettuato alla medesima intensità assoluta:

- inalterata risposta lipolitica del tessuto adiposo addominale e di tutto il corpo, sia in soggetti allenati e non allenati, durante l'esecuzione di un lavoro alla stessa potenza(o intensità assoluta);
- diminuzione dei livelli di acidi grassi circolanti, con relativo aumento della FAO.
-

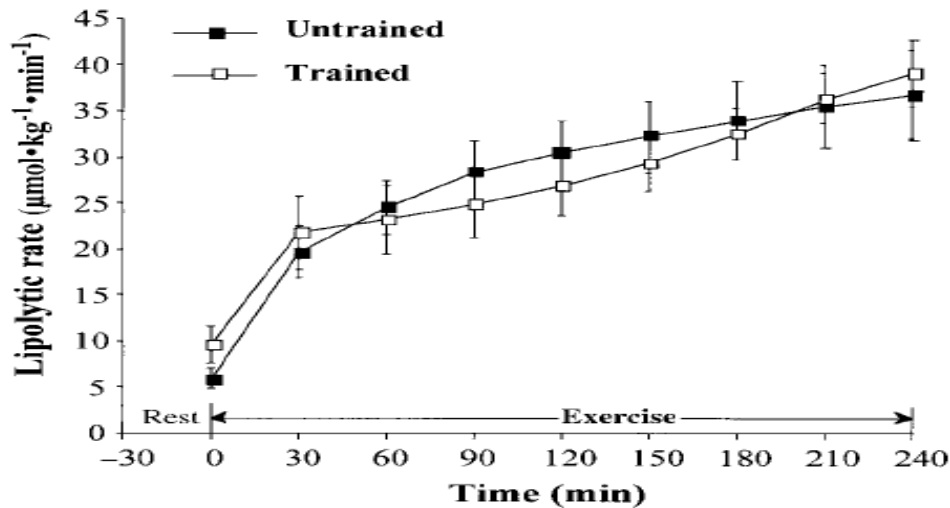


Figura 3 Horowitz¹⁴ “Lipid metabolism during endurance exercise” pp.560S, Tasso lipolitico di tutto il corpo a riposo e durante 4 ore di esercizio al treadmill eseguito alla medesima intensità assoluta (20 mL O₂ consumato kg⁻¹ min⁻¹) in soggetti allenati e non allenati.

Ossidazione lipidica in base all'intensità dell'esercizio

Nella sua review Horowitz¹¹ scrive come a riposo, la quantità di acidi grassi rilasciati dal tessuto adiposo, in genere, supera l'importo ossidato; il tasso di comparsa degli acidi grassi nel plasma (Ra), invece, è circa il doppio del relativo tasso di ossidazione (Rox).

Pertanto, una gran parte di questi, liberati dalla lipolisi del tessuto adiposo, i triagliceroli, sono riesterificati in trigliceridi, principalmente dal fegato.

Un'intensità di esercizio leggera o moderata (25-65% del VO₂ max) è associata ad un aumento dell'ossidazione dei grassi cinque-dieci volte superiore ai livelli di riposo, a causa dell'incremento del fabbisogno energetico del muscolo e di una maggiore disponibilità di acidi grassi.

Una gran parte di questo incremento quantitativo di acidi grassi, è fornito dalla lipolisi dei trigliceridi nel tessuto adiposo, che aumenta due-tre volte ed è mediata da un incremento della stimolazione B-adrenergica.

La percentuale di rilascio degli acidi grassi che sono riesterificati, inoltre, diminuisce della metà, presumibilmente a causa delle alterazioni del flusso sanguigno, che facilitano la fornitura di acidi grassi dal tessuto adiposo ai muscoli attivi che lavorano.

L'esercizio di moderata intensità, infine, raddoppia il flusso sanguigno nel tessuto adiposo e provoca un aumento dieci volte maggiore nel muscolo scheletrico.

Nella review di Vittori¹⁰ "*metabolismo lipidico e Fatmax. Analisi attuale e prospettiva di studio*" si riporta come durante l'esercizio ad alta intensità (> 70% del VO_{2max}), nonostante un tasso relativamente elevato del consumo energetico, l'ossidazione totale di grasso è risultata soppressa rispetto ai valori inferiori osservati durante l'esercizio di moderata intensità.

La limitazione d'utilizzo dei lipidi durante l'esercizio ad alta intensità, deriva da un calo di acidi grassi circolanti, causati da una diminuzione di rilascio dal tessuto adiposo; questa diminuzione non è però causata da una riduzione della lipolisi, poiché il glicerolo (Ra), indice del tasso di lipolisi, è lo stesso nell'esercizio eseguito sia al 85% che al 65% del VO_{2max} .

Subito dopo aver terminato l'esercizio fisico ad alta intensità, infatti, le concentrazioni di acidi grassi (Ra) nel plasma aumentano sensibilmente senza un concomitante aumento della lipolisi.

Questi dati suggeriscono che il calo di Ra durante l'esercizio fisico, può essere dovuto ad un aumento di cattura degli acidi grassi nel tessuto adiposo, a causa di una diminuzione del flusso sanguigno e inadeguata rimozione degli acidi grassi.

Il calo di ossidazione lipidica ad alta intensità può essere correlato, inoltre, con un aumento del metabolismo del glicogeno muscolare, che inibisce quello lipidico.

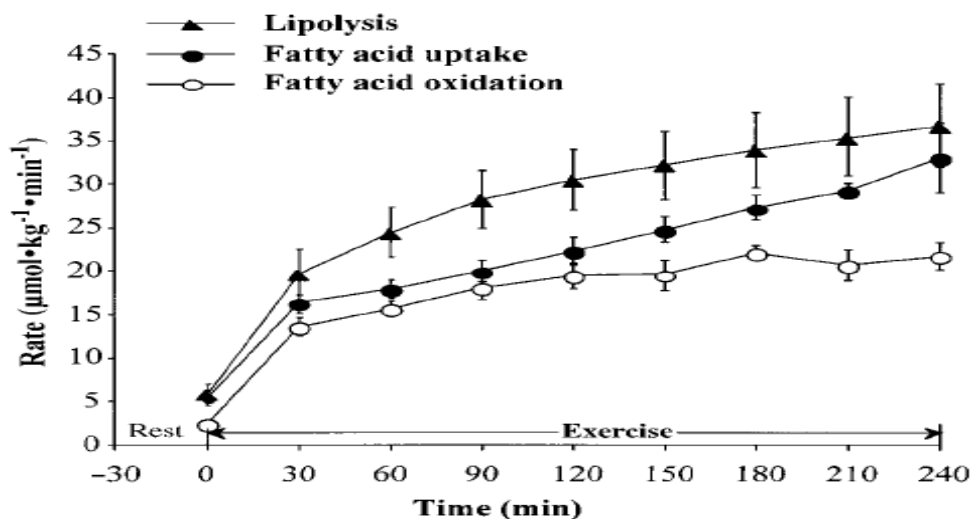


Figura 4 Preso da Horowitz¹⁴ “*Lipid metabolism during endurance exercise*” pp.559S Tassi di lipolisi (3 x il tasso di comparsa di glicerolo nel plasma), assorbimento degli acidi grassi, e ossidazione degli acidi grassi a riposo e durante 4 ore di esercizio al treadmill eseguiti al 45% del massimo consumo di ossigeno ($V \text{ } O_2\text{max}$) nei soggetti non allenati.

Lo studio di Horowitz¹¹, illustra la relazione a riposo e durante l’esercizio prolungato a moderata intensità (45% del $VO_2\text{max}$) tra:

- la lipolisi, “*lipolysis*”(definita come 3x glicerolo Ra, perché 3 acidi grassi e 1 molecola di glicerolo vengono rilasciati da 1 trigliceride, durante la lipolisi);
- l’assorbimento acidi grassi del plasma “*fatty acid uptake*”[tasso di scomparsa degli acidi grassi dal plasma (Rd)];
- l’ossidazione degli acidi grassi “*fatty acid oxidation*”.

Come si evince dal grafico 4, la lipolisi dei trigliceridi nel tessuto adiposo, l’assorbimento di acido grasso del plasma e l’ossidazione degli acidi grassi aumentano progressivamente dall’inizio dell’esercizio.

Durante i primi 120 minuti di esercizio, il tasso di lipolitico è circa il doppio del tasso di ossidazione degli acidi grassi; tuttavia, durante questo periodo, l’assorbimento di acidi grassi del plasma (Rd) è simile al tasso di ossidazione dei grassi.

Questa similitudine non è però confermata da alcuni studi^{14,15,16}, che riportano come durante questo periodo, il livello di Rd sia inferiore rispetto alla totale ossidazione degli acidi grassi,

suggerendo che un'altra fonte di grassi, presumibilmente trigliceridi plasmatici o intramuscolari (IMTG), viene ossidata in aggiunta agli acidi grassi plasmatici derivati dal tessuto adiposo.

Dopo due ore di esercitazione, infine, il tasso di assorbimento degli acidi grassi nel plasma diventa maggiore della velocità di ossidazione degli acidi grassi; ne consegue che gli acidi grassi rilasciati nel plasma dal tessuto adiposo, sono in grado di fornire tutti gli acidi grassi richiesti dai muscoli attivi.

Si può quindi concludere che con l'aumento della durata dell'allenamento, diminuisce il contributo relativo dei IMTG, mentre aumenta quello degli acidi grassi plasmatici al totale tasso di ossidazione dei grassi.

Trigliceridi intramiocellulari (IMTG)

Piccole quantità di trigliceridi sono presenti in circolo legate alle lipoproteine e in gocce lipidiche all'interno delle fibre muscolari.

Questi ultimi vengono definiti intramiocellulari (IMTG)¹⁷ e hanno recentemente riacquisito molta importanza, a causa del rapporto funzionale tra accumulo di IMTG e relativo sviluppo di insulino-resistenza¹⁸.

E' stato ipotizzato, infatti, che elevate concentrazioni di acidi grassi liberi, possano modificare le concentrazioni degli IMTG, alterando la risposta dell'insulina e causando quindi una condizione di insulino-resistenza nel muscolo scheletrico¹⁰.

Diversi studi hanno mostrato che in seguito ad una notte di digiuno, uomini allenati ad un'attività fisica di resistenza, durante l'esecuzione di un lavoro di moderata intensità, mostravano un 40-60%, circa, della loro totale ossidazione dei grassi rappresentata dall'ossidazione degli FFA¹⁹. Ciò implica che le altre fonti di grassi possono contribuire sostanzialmente alla totale ossidazione dei grassi durante l'esercizio.

La maggior parte degli autori è concorde nell'affermare che queste altre fonti di grasso, sono rappresentate dai trigliceridi derivanti dal muscolo (IMTG) e da quelli legati alle lipoproteine^{20,21}.

Tuttavia, il loro contributo relativo alla spesa energetica, è dimostrato dipendere da numerosi fattori quali:

- l'intensità dell'esercizio^{19,14};
- la durata di esercizio¹⁴;
- lo stato di allenamento del soggetto³¹;
- la dieta alimentare seguita²².

Questo contributo risulta, inoltre, molto più basso negli obesi e/o pazienti diabetici di tipo 2, rispetto ad un soggetto allenato²².

I risultati di recenti studi indicano che sono sufficienti tre mesi di allenamento di resistenza a bassa intensità, per aumentare due/tre volte la capacità dei soggetti sedentari di utilizzare queste fonti di TG, durante l'esercizio fisico di moderata intensità³¹.

Non tutti gli studi, però, sono d'accordo sulle modalità di ossidazione degli IMTG durante l'esercizio fisico²³.

In alcuni, infatti, i depositi di IMTG non svolgerebbero un ruolo importante negli uomini allenati, ma solo in donne allenate²⁴; in altri, invece, si sostiene che questo substrato sia importante durante la fase di recupero post-esercizio²⁵.

Una possibile spiegazione per la grande differenza di risultati, può essere data dalla diversa tipologia di biopsia e metodica di estrazione muscolare, per la stima dell'IMTG usata nei vari studi; va sottolineato, però, che tutti gli studi che hanno utilizzato la spettroscopia di risonanza magnetica (MRS) per quantificare il contenuto lipidico sia intra che extramiocellulare, sostengono la tesi che in donne e uomini allenati, a seguito di un'attività fisica prolungata di resistenza, si verifica una sostanziale diminuzione dei contenuti di TG intramiocellulari (~ 20-40%)^{26,27,28}.

Studi inerenti

Nello studio di Van Loon sono stati studiati uomini allenati durante l'esercizio fisico di intensità moderata (~ 60% $VO_{2\ max}$) a seguito di un digiuno notturno: queste condizioni sono state scelte dall'autore come le più probabili per portare al più alto tasso di ossidazione totale dei grassi e/ o IMTG, fornendo la migliore opportunità per determinare se depositi di IMTG possano essere utilizzati durante l'esercizio fisico di resistenza.

I risultati di questo studio hanno confermato che a livello di tutto il corpo, la somma dell'ossidazione dei TG derivati dai muscoli e dalle lipoproteine, contribuisce in modo sostanziale alla totale spesa energetica a riposo e durante l'esercizio fisico di intensità moderata.

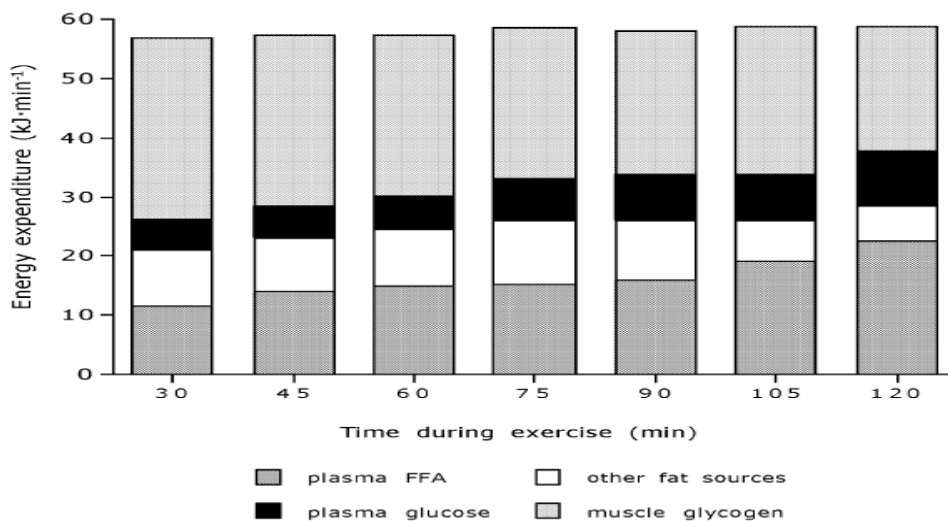


Figura 5 Preso da Van Loon¹⁰ *“Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in endurance-trained males in a fasted state”* pp. 618

Substrato di utilizzo (espresso in kJ min⁻¹) durante l’esercizio sub massimale prolungato nel tempo. (2.1)

Dal figura 5 si deduce che i tassi ossidazione dei FFA del plasma FFA e del glucosio aumentano significativamente nel corso del tempo, mentre i tassi di ossidazione delle altre fonti di grasso (somma di TG derivati dai muscoli e dalle lipoproteine) e del glicogeno muscolare diminuiscono ($P < 0,001$).

Sempre dal grafico si evince che gli FFA derivati dal plasma forniscono la maggior parte del grasso, con le altre fonti di grassi che contribuiscono rispettivamente al 28 ± 5 e $36 \pm 4\%$ della totale ossidazione dei grassi a riposo e durante l’esercizio fisico di intensità moderata.

Reclutamento muscolare

Le fibre muscolari di tipo I mostrato un contenuto tre/quattro volte maggiore di IMTG rispetto alle fibre muscolari di tipo II^{28,30}.

Van Loon¹⁰ nel suo studio, ha tentato di verificare se il contenuto di lipidi presente nelle fibre muscolari specifiche di tipo I e II, cambiasse durante l’esercizio fisico a lunga durata o durante la fase di recupero.

I risultati sono stati che due ore di esercizio fisico a moderata intensità, hanno ridotto il contenuto lipidico intramiocellulare del $62 \pm 7\%$ nelle fibre muscolari di tipo I, mentre non si sono osservati cambiamenti significativi nel fibre di tipo II.

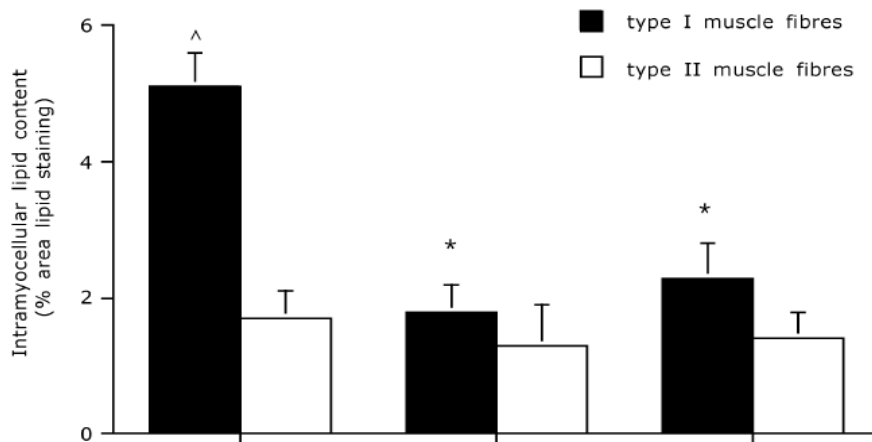


Figura 6 Van Loon¹⁰ “Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in endurance-trained males in a fasted state”

Contenuto lipidico intramiocellulare nel diverso tipo di fibra muscolare prima dell’esercizio, appena terminato e dopo 2 h di recupero (post-esercizio).

Questi risultati sono confermati dallo studio di Stellingwerff³⁰, che ha dimostrato come l’uso predominante delle fibre muscolari di tipo I, che avviene durante un esercizio aerobico di moderata intensità, abbia provocato un brusco calo dei contenuti di IMTG nelle fibre di tipo I del 76+-7%, rispetto ad un 32+-20% nelle fibre di tipo II.

In quest’ultimo studio è interessante notare che il relativo consumo ed utilizzo di contenuti lipidici intramiocellulari risulta essere direttamente correlato con i quantitativi pre-esercizio, i quali mostrano a loro volta, una correlazione significativa con i singoli Wmax.

Anche se quest’ultimo parametro non è il migliore indicatore dello stato di allenamento di un individuo, i risultati di questo studio confermano che l’allenamento di resistenza migliora l’immagazzinamento e/o utilizzo dei lipidi del muscolo scheletrico; ciò implica che negli atleti allenati in resistenza, la capacità di utilizzare IMTG è collegata con l’aumentato immagazzinamento di IMTG.

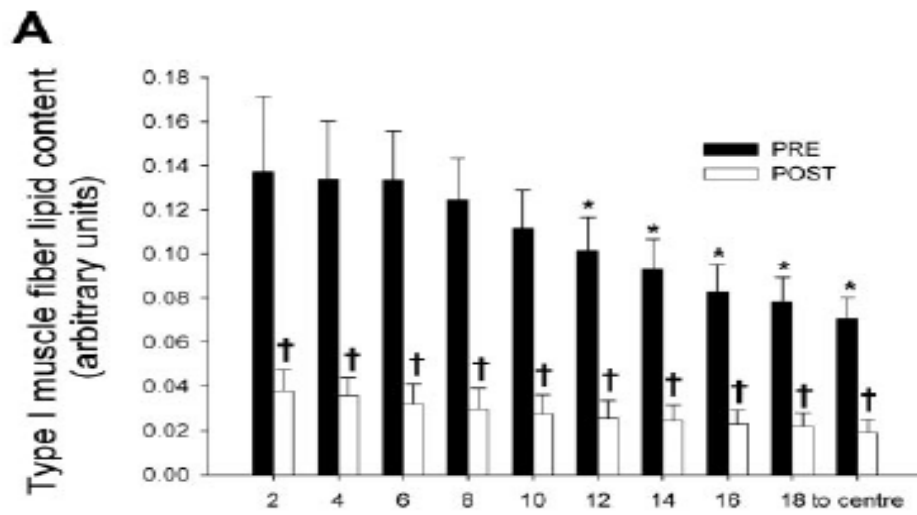


Figura 7 Preso da Stellingwerff¹⁴ “Significant intramyocellular lipid use during prolonged cycling in endurance-trained males as assessed by three different methodologies” p.E1720

A: Contenuto lipidi miocellulare prima e subito dopo 3 h di esercizio fisico ad intensità moderata.* valori significativamente inferiori ai valori pre-esercizio.

Si evince una netta correlazione positiva tra contenuto IMTG pre esercizio e successivo calo una volta terminato.

PRIMO STUDIO

Introduzione

La drastica crescita del sovrappeso e obesità nei paesi occidentali, in particolare gli USA, negli ultimi 30 anni è una allarme sociale e c'è una piccola disputa su eventuali implicazioni mediche, come malattie cardiovascolari, diabete di tipo 2 e certe forme di cancro.³²

L'impatto sui costi della salute è enorme; è stato stimato nel 2000 che le spese sanitarie annuali ammontano a 117 miliardi di dollari e che i costi saranno sempre più in crescita.³³

Lo stile di vita (inteso come mancanza di controllo delle porzioni del cibo), l'alta accessibilità a certi tipi di alimenti, la mancanza di attività fisica o altri fattori in fase di studio (mancanza di sonno, fattori farmaceutici iatrogeni come le disfunzioni endocrine ecc) sono associati all'aumento di peso in USA e nel mondo³⁴.

Negli ultimi anni, per questo motivo, gli studi si sono molto concentrati sul metabolismo a riposo, sull'attivazione dei vari sistemi energetici del muscolo durante differenti tipi di attività, su soggetti sovrappeso e obesi di qualsiasi età (dato che l'obesità negli ultimi dieci anni è in aumento), anche nella popolazione infantile.

I primi studi riguardanti il metabolismo dei grassi e la composizione corporea sono stati indirizzati all'aumento di peso nelle donne in post menopausa, in seguito al cambiamento della distribuzione del grasso corporeo (esempio: aumento dei depositi con diminuzione di fattori endogeni come l'estradiolo) e riduzione del livello di attività fisica in relazione all'età.³⁵ Nell'età media una donna ha un aumento medio circa di 0,7 kg all'anno e di 0,7 cm di circonferenza ogni anno. Inoltre è stato stimato che la diminuzione dell'attività fisica e l'eccesso di peso sono responsabili del 31% della mortalità nelle donne.³⁶

Anche i primi studi che si sono focalizzati sul Fatmax hanno preso in considerazione popolazioni di soggetti sovrappeso e obesi, cercando di calcolare, attraverso diversi tipi di test, il Fatmax di ogni individuo, in modo da ottimizzare l'allenamento e quindi il metabolismo lipidico.⁹

Sulla base di quanto presente in letteratura, all'Istituto di Medicina dello Sport di Bologna è stato sviluppato un software, il Polimedicus, in grado di calcolare il Fatmax di ogni singolo soggetto, con l'obiettivo di permettere al medico di prescrivere un esercizio fisico mirato. Prima del seguente studio, il software era stato testato solo su un piccolo gruppo di soggetti sovrappeso ed eseguendo test a rampa.

Riguardo al fenomeno del sovrappeso e alle relative conseguenze di mortalità e insorgenza di patologie, si è deciso di testare il software su una popolazione adulta sovrappeso, per verificarne attendibilità ed efficacia.

Obiettivi dello studio:

- Verifica dell'efficacia e attendibilità del Software Polimedicus;
- Predisposizione di un carico d'allenamento individuale;
- Effetti indotti d'allenamento aerobico all'intensità del FATmax in soggetti adulti moderatamente attivi;

Ipotesi dello studio:

- Miglioramento del consumo lipidico;
- Miglioramenti metabolismo aerobico;

Soggetti

Sono stati arruolati 16 soggetti (Tab 1) di entrambi i sessi (2 uomini e 14 donne), i cui criteri d'inclusione riguardavano un BMI compreso tra 25-28, una fascia d'età compresa tra i 40 e i 55 anni e la presenza di una comorbidità. Tra i criteri di esclusione rientrano il diabete mellito di tipo II, soggetti non in grado di aderire, per motivi logistici al protocollo di sperimentazione, donne in stato di gravidanza o allattamento. Tutti erano stati precedentemente giudicati idonei alla pratica dell'attività motoria agonistica e sono stati sottoposti ad anamnesi ed esame medico (in collaborazione con un medico dello sport), Allegato A, per poter escludere eventuali controindicazioni alla partecipazione al protocollo.

Caratteristiche	Valori (Md±SD)
Età	48,93±3,91
Altezza (cm)	166,75±6,96
Peso (kg)	74,75±9,82
BMI (kg/m ²)	26,84±2,67

Tabella 1 Caratteristiche fisiche dei soggetti arruolati come Md±DS, N=16

Materiale

Per lo sviluppo dello studio sono stati utilizzati i seguenti materiali:

- Cardio MedGraphics;
- il nastro trasportatore;
- il metabolimetro;
- il cardiofrequenzimetro;
- il software Polimedicus.

Il Cardio MedGraphics (fig.8.) rappresenta l'unione tra l'ECG a 12 tracce completamente integrato e il reale V_O₂ Breath-by-Breath. Con questa tecnologia avanzata, è possibile individuare i disturbi cardiorespiratori, monitorare la terapia e documentare i risultati con un unico sistema. Questo sistema per prove da sforzo completamente integrato fornisce la possibilità di espandere le applicazioni diagnostiche dalla spirometria alle valutazioni nutrizionali senza hardware aggiuntivo. Il CardioO₂ esegue i più completi e comprensivi test da sforzo. Esso è in grado di individuare automaticamente la soglia anaerobica, e inoltre consente un'interpretazione computerizzata.



Figura 8 Cardio MedGraphics

Il nastro trasportatore è la più universale delle apparecchiature ergometriche, in quanto comporta movimenti naturali, come la marcia e la corsa, anche se le variazioni di rendimento (fino al 10%) sono superiori a quelle del cicloergometro. Nella valutazione dell'atleta, tuttavia, il nastro trasportatore va anch'esso usati in modo da simulare la specifica disciplina praticata, così da ottenere una prestazione con impegno muscolare e vascolare periferico il più possibile simile a quella di allenamento e di gara. A tale scopo, quindi, il nastro va usato in piano, anche se ciò comporta la rinuncia a disporre di un sistema di calcolo semplice e sufficientemente esatto, da un punto di vista fisico, della quantità di lavoro svolto nell'unità di tempo, cioè della potenza espressa dall'atleta nel test.

Il Metabolimetro portatile "MedGraphics VO2000" (fig.9) ha una 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: (VO_2) consumo di ossigeno, (VCO_2) produzione di anidride carbonica, (Ve) ventilazione, e il quoziente respiratorio (RER), dato dal rapporto VCO_2/VO_2 .



Figura 9 Metabolimetro portatile VO2000 (Medgraphic)

Il cardiofrequenzimetro consiste di un sensore inserito in una fascia elastica da tenere sul petto all'altezza del cuore; il sensore invia poi i segnali a un orologio da polso che oltre a visualizzare i battiti cardiaci, possiede altre funzioni tipiche degli orologi sportivi. (fig 10). 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. Il segnale trasmesso via radio può essere un semplice impulso radio o un segnale codificato dal trasmettitore; nel secondo caso si evita all'utente di ricevere segnali provenienti da altri trasmettitori (ovvero si evita l'interferenza di cross-talk) di cui ormai tutti i cardiofrequenzimetri sono dotati. Il display di questo orologio mediamente è piuttosto grande in modo da permettere di vedere i valori anche quando si è in movimento e alcuni modelli sono dotati di illuminazione, per gli sportivi che si allenano di sera.



Figura 10 Cardiofrequenzimetro e fascia

Software Polimedicus: durante l'esecuzione del test cardiopolmonare, possono verificarsi errori nella registrazione dei valori respiratori. Questi errori possono essere anche molto elevati (fino al 60%), invalidando così le eventuali medie calcolate. I metodi tradizionali, infatti, prevedono il calcolo di due o più misurazioni attraverso una media: è però sufficiente che vi sia un errore (rappresentato da un punto di picco più elevato rispetto agli altri), per ottenere un risultato finale alterato da quello reale. Ad esempio se nel tracciato del VO_2 abbiamo valori come 500, 600, 1.200, 400, 550 ci troveremo una media che non corrisponde alla reale, per colpa di un solo errore di registrazione (1.200). La ragione per cui si creano questi errori, è dovuta alla tipologia di soggetti (sedentari) che, non essendo abituati ad eseguire un test del genere, presentano quindi difficoltà di equilibrio e incapacità nel mantenimento di una corretta posizione di corsa; inoltre la loro conformazione del viso, solitamente più grande, risulta diversa da quella di un atleta: in queste condizioni se la maschera non aderisce perfettamente al il viso della persona, si possono verificare delle fuoriuscite d'aria, alterando le registrazioni. Se una macchina ha un normale errore di misurazione del 3% (considerato standard, quindi accettabile), con i parametri appena elencati, questo errore può aumentare a dismisura, arrivando fino al 60%. Per togliere questo errore l'operatore dovrebbe intervenire manualmente: questo intervento risulta, però, del tutto soggettivo, dal momento che non vi sono parametri oggettivi sui quali basarsi, ma solo soggettivi (sensazioni e parametri visivi, che possono essere alterati da una serie di fattori quali vista non corretta, umore, qualità ecc..). In questo modo la selezione effettuata da un operatore, potrebbe essere diversa da quella di un altro, poiché influenzata dalle cause appena citate. A seguito di questa situazione è nata la necessità di elaborare un metodo meno soggettivo. La soluzione è stata trovata attraverso un calcolo di regressione, basato su polinomio di diverso grado, in funzione della quantità di errore presente, che consente di minimizzare gli errori commessi dalla macchina durante la fase di registrazione. (fig 11).

Il dott. Azzolini, medico della struttura "medicina dello sport" di Bologna, ha quindi elaborato un software chiamato "*Polimedicus*", in grado di attuare questa integrazione di dati, togliendo automaticamente gli eventuali errori. Il software scannerizza tutto il test, valutando punto per punto il consumo di O_2 , la produzione di CO_2 e quindi il loro rapporto (RER), dal quale è possibile capire, per una questione stechiometrica delle molecole, le percentuali di substrato utilizzato a carico dei grassi e quelle a carico dei glucidi.

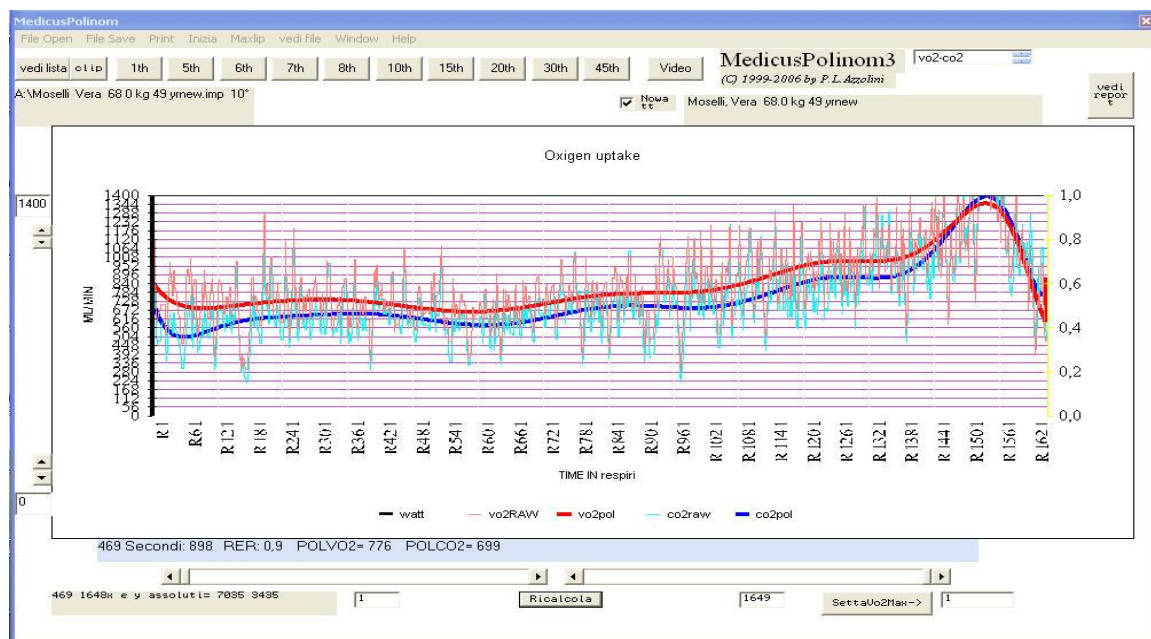


Figura 11 Immagine del tracciato del consumo di ossigeno dopo elaborazione da parte del software

Avere però solo i valori in percentuale di grassi e zuccheri non è sufficiente: risulta necessario quantificare numericamente, in termini assoluti, questi valori (capire quanti grammi di lipidi o glucidi sono stati consumati punto per punto durante l'arco del test).

Tutto questo dipende dal consumo di O_2 : un alto consumo di O_2 , in presenza di un valore di RER basso (0.7), comporterà un alto consumo lipidico (ad esempio, se la RER è 0,7 e i valori di O_2 sono molto elevati, il consumo lipidico può essere anche del 99%).

In questo modo il software è in grado di calcolare tutto il tracciato del test, individuando il momento in cui il soggetto ha ottenuto il massimo consumo lipidico.

Una volta ottenuto questo dato (con relativo RER e VO_2) è possibile individuare i parametri che hanno portato il soggetto a sviluppare il suo FATmax: la FC, la velocità del tappetino o il wattaggio.

In questo modo il soggetto ha la possibilità di allenarsi nell'intervallo di valori del FATmax, rispettando i parametri individuati nel test.

Metodi

Tutti i soggetti, opportunamente informati sulla qualità dell'indagine hanno firmato un foglio di consenso (B), successivamente sono stati sottoposti a un iniziale test ergometrico incrementale al treadmill (T0) finalizzato alla valutazione del QR (RER) in funzione del carico incrementale. Nella fase preparatoria al test, i pazienti venivano fatti riposare in una stanza per

circa 30': questa procedura aveva lo scopo di calmare i pazienti e cercare di limitare gli errori di registrazione dovuti all'agitazione da parte del paziente o da una frequenza cardiaca irregolare.(fig 12)

Il test prevedeva una fase di riscaldamento a velocità 3 km/h, con un tempo che variava in base alle caratteristiche del soggetto (età, sesso, tempi di adattamento al carico ecc..). Terminata questa fase il test iniziava ad una velocità di 3km/h, con un aumento di 0,5 km/h ogni tre minuti fino al raggiungimento di un RER pari a 0,95; da quel momento in poi, il carico veniva aumentato di 1km/h ogni minuto fino ad un segnale di "esaurimento" o di non sostenibilità da parte del soggetto.

Una volta interrotto il test, il soggetto eseguiva una fase di defaticamento alla medesima velocità di riscaldamento (3km/h).

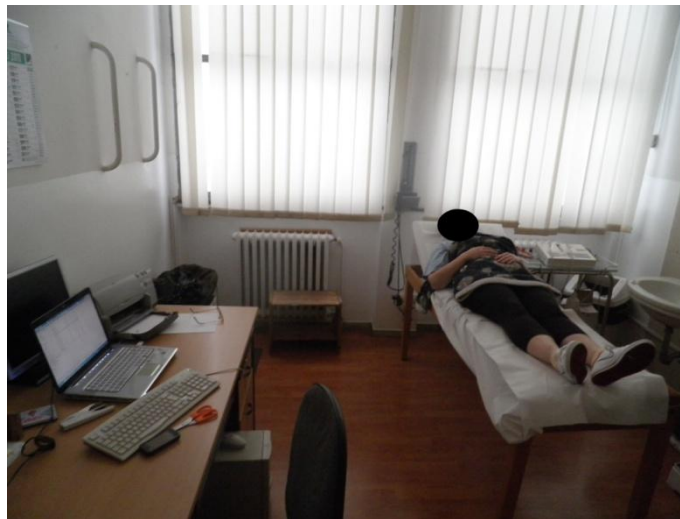


Figura 12 Stanza in cui il soggetto attendeva prima dell'inizio del test.

Nel corso del test sono stati misurati i seguenti parametri:

- Ventilazione polmonare: $VO_2 \cdot Kg$;
- Consumo di ossigeno: VO_2 ;
- Produzione di CO_2 ;
- Quoziente respiratorio: RER;
- Frequenza cardiaca: HR e HR%

Nel corso della prova è stato registrato costantemente l'elettrocardiogramma, che ci è servito ad identificare i disturbi della funzionalità cardiaca. L'ECG durante sforzo tende, fra l'altro, a misurare la riserva coronarica. Fig.13

Inoltre è stata monitorata la pressione arteriosa; la costante osservazione della pressione arteriosa ci ha permesso di valutare se il relativo aumento indotto dall'intensità dello sforzo rimane nei limiti fisiologici e se dopo l'allenamento vi è una variazione della PA da sforzo. Alla fine del test, i valori registrati, sono stati elaborati mediante software Polimedicus (2003-2007) per calcolare l'intensità di esercizio in cui si ha il FatMax.

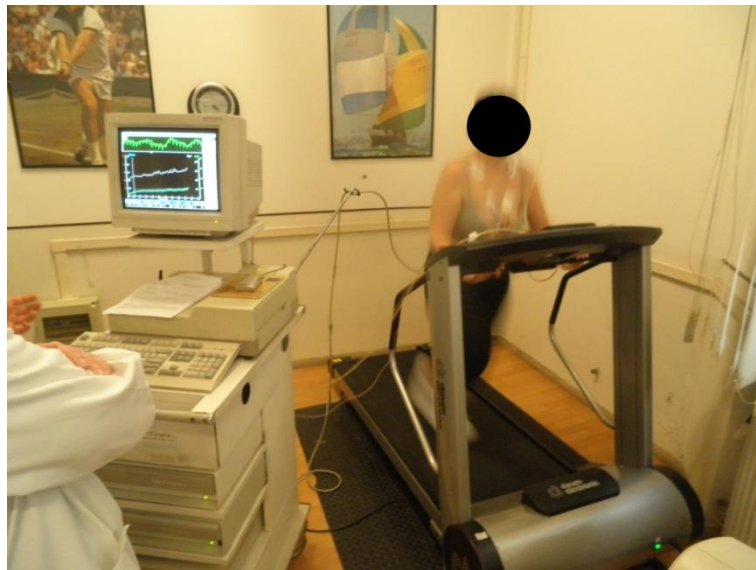


Figura 13 Immagine presa durante l'esecuzione del CPET

In seguito, i soggetti sono stati sottoposti a test a carico costante da campo, utilizzando il metabolimetro portatile VO2000, della durata di 60 minuti a intensità pari a quelle che nel test di laboratorio determina il FatMax: 5 minuti di riscaldamento, 55 minuti al Fatmax, 5 minuti defaticamento.

La sperimentazione prevedeva un protocollo di allenamento aerobico a carico costante della durata di un'ora, due volte la settimana, per un totale di otto settimane senza modificazione delle abitudini alimentari dei soggetti.

Ogni seduta era composta da:

- 5 minuti iniziali di riscaldamento (40%F_{cmax})
- 50 minuti di lavoro aerobico (Fatmax zone);
- 5 minuti di defaticamento finale (40%F_{cmax})

Tutta la seduta, compresa la parte di riscaldamento e defaticamento è stata eseguita su tre attrezzi cardiovascolari ad impegno muscolare differenti: bike, treadmill e step; questi venivano intervallati a rotazione per rendere meno noioso e variare il lavoro in palestra. Fig.14,15,16

All'inizio di ogni seduta il paziente veniva munito di un cardiofrequenzimetro, che permetteva a lui di controllare la sua FC, mantenendola al valore costante (Fatmax zone).

Al termine di questo protocollo di allenamento i soggetti sono stati sottoposti ad un nuovo test incrementale ad esaurimento (T1), con lo stesso protocollo di quello adottato al T0.



Figura 14 Lavoro aerobico su treadmill



Figura 15 Lavoro aerobico su bike



Figura 16 Lavoro aerobico su step

Per il calcolo dell'ossidazione dei grassi e CHO durante il test è stata utilizzata le formule indicata da Jeukendrup.⁵²

C= carboidrati, F= lipidi, n= proteine.

$C = 3.061 \dot{V}O_2 + 4.344 \dot{V}CO_2 - 0.4 n$, at low exercise intensity (40 - 50 % $\dot{V}O_{2max}$)

$c = -2.692 \dot{V}O_2 + 4.210 \dot{V}CO_2 - 0.4 n$, at moderate/high exercise intensity (50 - 75 % $\dot{V}O_{2max}$)

$f = +1.695 \dot{V}O_2 - 1.701 \dot{V}CO_2 - 1.77 n$

Analisi

I dati raccolti al T0 e T1 dei tests incrementali sono stati inizialmente analizzati come medie e deviazione standard step by step.

Sulla base dei dati emersi, è stata fatta un'analisi a modello lineare esplorativa per alcuni cambiamenti d'interesse particolare (T1 vs T0): $\dot{V}O_2 \cdot kg$, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, RER, %HR.

Si è poi successivamente andato a calcolare l'utilizzo dei substrati energetici nell'ultimo step aerobico al T0 e T1.

I dati ottenuti con il Software Polimedicus sono stati confrontati con quelli del test carico costante e si è andato a verificare la differenza e l'eventuale errore dei valori del software come medie e deviazioni standard rispetto al test.

Tutti i dati sono presentati come media \pm DS se non diversamente specificato. Tutte le analisi statistiche sono state effettuate con la versione del software JMPM10 e il livello di significatività per tutti i test è stato fissato con $p \leq 0,05$.

Risultati

Caratteristiche del gruppo di studio

Sono stati arruolati 18 soggetti ma in 16 sono stati compresi nell'analisi dei dati in quanto 1 non ha raggiunto il numero minimo di frequenza in palestra e un altro ha abbandonato lo studio di propria volontà.

Rispetto a quello riscontrato al momento dell'arruolamento c'è stato un calo ponderale medio di $7,90\text{kg} \pm 10,15$; il calo ponderale anche se non in maniera significativa è stato a livello statistico di $P=0,79$.

Le caratteristiche del gruppo di studio pre e post allenamento sono rappresentate nella Tab 2.

	TO	T1	Δ	P*
Peso (Kg)	74,83 \pm 10,49	74,75 \pm 9,82	7,90 \pm 10,15	0,79 (NS)
Altezza (cm)	166,75 \pm 6,96	166,75 \pm 6,96	0 \pm 0,00	NS
BMI (kg/m ²)	26,85 \pm 2,79	26,84 \pm 2,70	26,84 \pm 2,70	0,91 (NS)
Massa Grassa (FM)	25,16 \pm 4,96	24,24 \pm 4,54	-0,92 \pm 1,06	0,008
Massa Muscolare (FFM)	47,10 \pm 8,61	47,72 \pm 8,83	0,62 \pm 0,81	0,029
Massa ossea	2,53 \pm 0,39	2,57 \pm	0,04 \pm 0,06	NS (0,40)

Tabella 2 Gruppo di studio al tempo T0 e T1 di peso, BMI (body mass index), FM (fat mass), FFM (Free Fat Mass) e Massa ossea. I valori sono riportati come M \pm SD; N= 16

Per quanto riguarda l'andamento della Massa grassa (FM) c'è stata una variazione media di $-0,92\text{Kg} \pm 1,06$; FM corporea in seguito all'analisi dei test appaiati è risultato $P=0,008$. La diminuzione di FM è stata seguita, come d'aspettativa, da un aumento di Massa Magra di $0,62\text{Kg} \pm 0,81$ con un $P=0,029$.

La massa ossea ha riscontrato un variazione di $0,04\text{kg} \pm 0,06$ con $P=0,397$ non significativo.

Test incrementali e Fatmax

Tutti i soggetti hanno completato i test previsti dal protocollo senza che nessuno manifestasse segni o sintomi di problemi cardiocircolatori.

Facendo il test dei dati appaiati non sono state riscontrate, in generale, differenze significative step by step dei valori di $VO_2 \cdot kg$, VO_2 , VCO_2 , RER, %HR.

Si può osservare analizzando i dati che nella fase di recupero del test, di 3 minuti, il $VO_2 \cdot Kg$ ha subito una variazione al tempo T0 al T1 di $-8,6 \pm 40,33$, VO_2 di $100,716 \pm 330,5$, del VCO_2 un calo di $142,53,6 \pm 353,71$, RER $0,57 \pm 2,35$ e della Fc di $7,46 \pm 12,59$.

	$\Delta VO_2 \cdot kg$	ΔVO_2	ΔVCO_2	ΔRer	ΔHR
Media	-8,600689	-100,716	-142,536	0,573193	-7,46841
DS	40,33	330,5	353,71	2,35	12,59

Tabella 3 $\Delta VO_2 \cdot kg$, ΔVco_2 , ΔRer , ΔHR , $\Delta \%HR$ nella fase di recupero dei test

L'analisi statistica è proseguita andando a eseguire un modello lineare con il Δ dei vari parametri: $Vo_2 \cdot kg$, VCO_2 , RER, HR, %HR in relazione agli step, ai soggetti e al TO.

Il modello lineare ha mostrato un valore significativo dell'intercetta per i valori del $VO_2 \cdot kg$, VCO_2 , HR e %HR. I dati sono visibili nella tabella 4,5,6.

Nelle figure 17,18,19,20 e 21 è rappresentata la variabilità del gruppo step by step al To e T1 del $VO_2 \cdot kg$, VCO_2 , HR e %HR.

Test degli effetti	Somma dei quadrati	Rapporto >F
$VO_2 \cdot Kg$	1833,9149	<0,001
VO_2	12754117	<0,001
VCO_2	18109810	<0,001
RER	0,2468353	0,0289
HR	5120,658	0,0239
%HR	53059	<0,001

Tabella 4 Risultati dei test degli effetti

Riepilogo della stima	R-quadro
VO₂*Kg	0,478018
VO₂	0,442863
VCO₂	0,489959
RER	0,394493
HR	0,273094
%HR	0,77578

Tabella 5 Risultati riepilogo della stima

Stime dei parametri			
Termine	stima	Errore std	Prob< t
Intercetta	9,73	1,78	<,0001
VO₂*kg	-0,76	0,1	<,0001
Intercetta	10,29	1,71	<,0001
VO₂	-0,011	0,001	<,0001
Intercetta	912,89	143,88	<,0001
VCO₂	-0,97	0,11	<,0001
Intercetta	0,13	0,12	0,267
RER	-0,31	0,13	0,028
Intercetta	-20,94	7,56	0,006
HR	0,27	0,11	0,023
Intercetta	32,51	6,31	<0,001
%HR	-1,12	0,11	<0,0001

Tabella 6

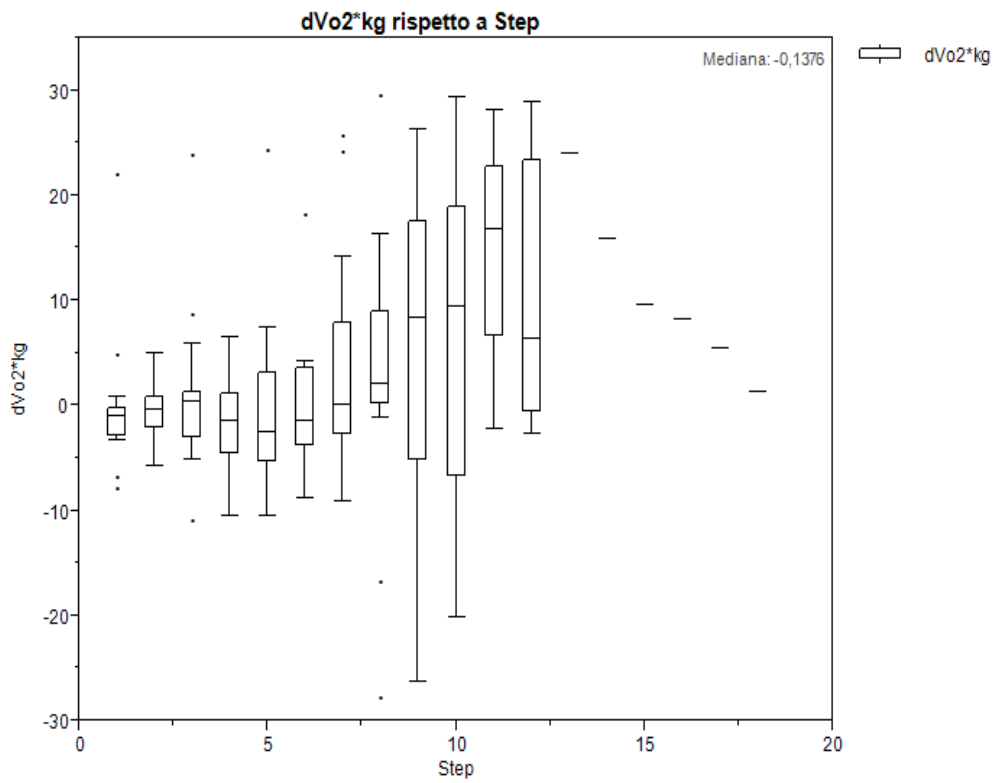


Figura 17 Variabilità del gruppo VO₂*kg

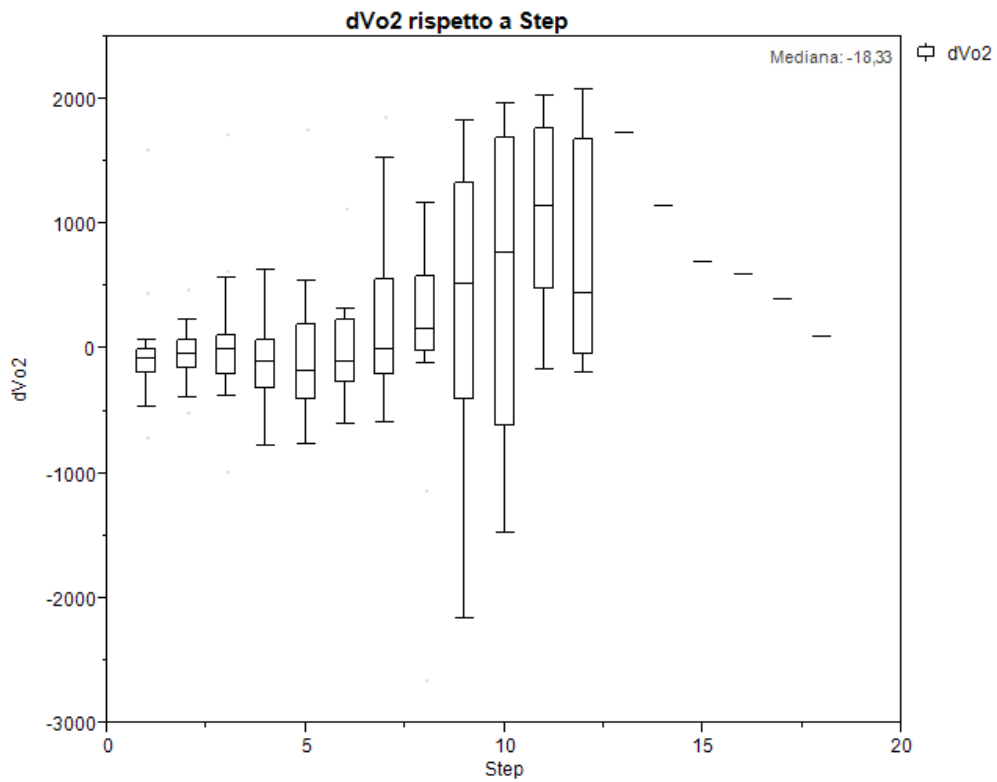


Figura 18 Variabilità del gruppo per VO₂

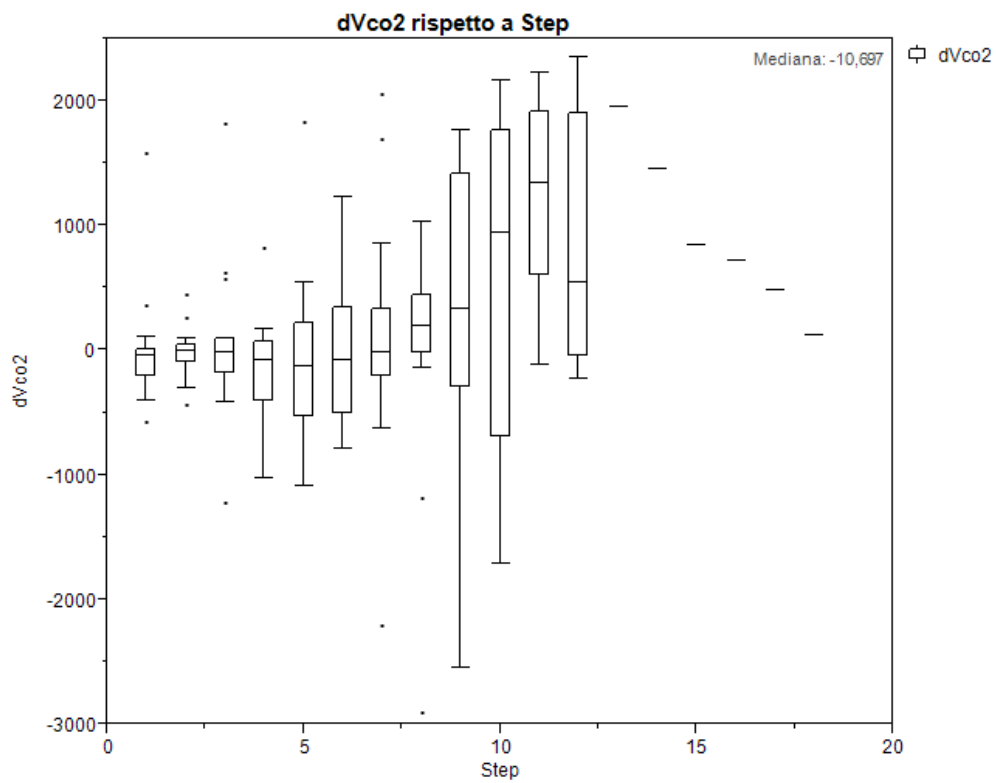


Figura 19 Variabilità del gruppo per VCO₂

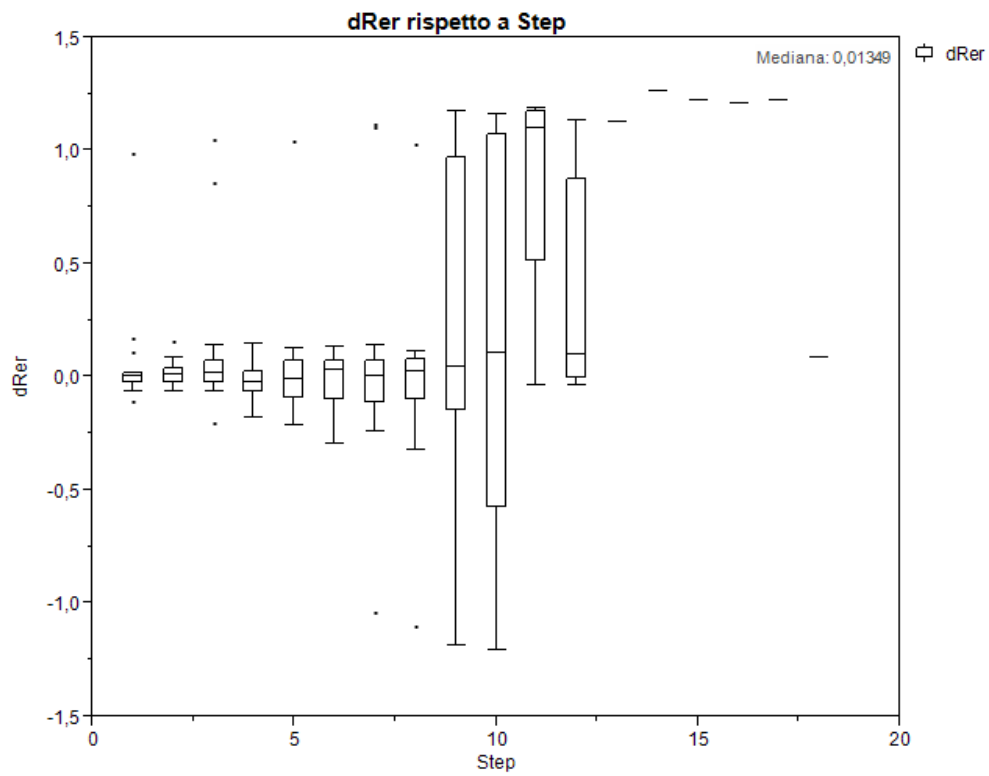


Figura 20 Variabilità del gruppo RER

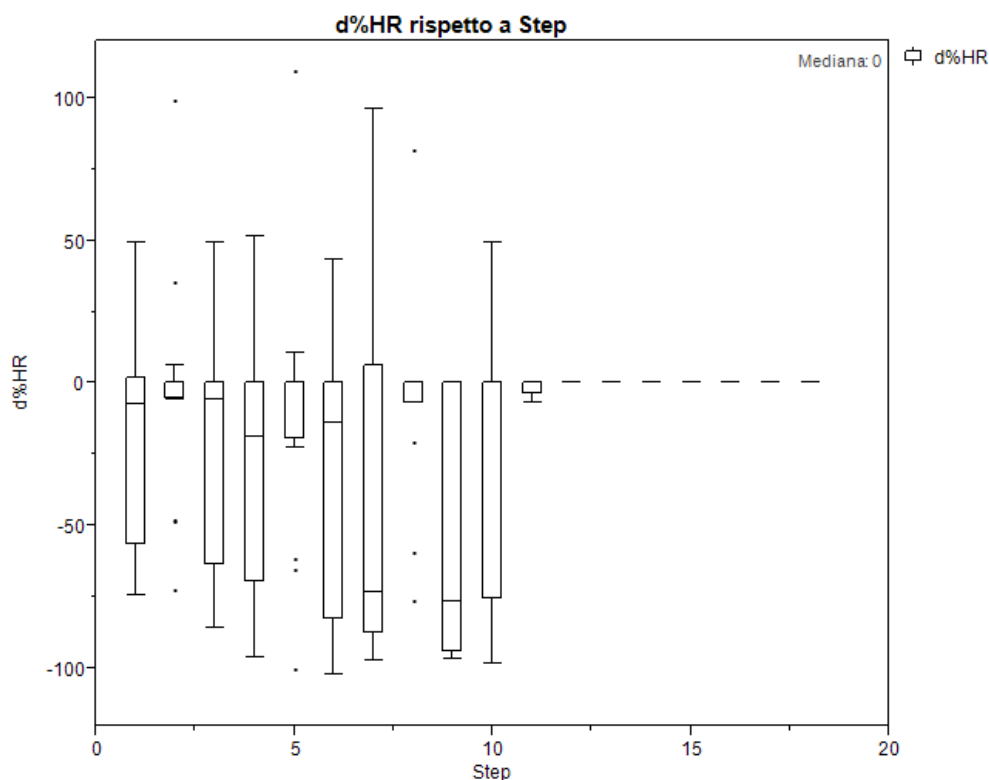


Figura 21 Variabilità del gruppo %HR

Dato il valore negativo dei test appaiati si è andato a calcolare in consumo del $VO_2 \cdot kg$, dei lipidi e dei carboidrati utilizzando la formula indicata da Jeukendrup⁵² al T0 e T1. Le differenze per ogni singolo soggetto e del gruppo sono indicate in Tab7. Un test dei dati appaiati di questi parametri non ha dato nessun valore significativo.

Soggetti	VO2*kg	L	CHO
1	1,4	0,04	0,05
2	2	0,21	-0,2
3	8	0,79	2,03
4	6,5	0,46	2,13
5	6,4	0,48	1,48
6	0	-0,38	0,02
7	-3,3	0,28	-4,03
8	1	0,27	0,38
9	3,7	0,32	0,71
10	1,2	0,3	0,45
11	0	0,31	-0,68
12	1,4	0,58	0,28

13	-13,6	-1,19	-2,17
14	0,6	0,18	-0,18
15	-5,7	-0,87	-1,21
16	0,9	1,21	0,7
Md	0,65625	0,186875	-0,015
DS	5,124317	0,585556	1,532223

Tabella 7 VO₂, Lipidi (g min⁻¹) e Carboidrati(g min⁻¹) all'ultimo step aerobico al T0 e T1

Il gruppo di studio ha raggiunto la Fatzone, calcolato con il software Polimedicus, con un RER medio±DS di 0,868±0,03, una Hr% di 127±14,01 a una velocità di 6Km/h±0,58 al T0.

Al T1 il gruppo ha raggiunto una Fatzone con RER medio±DS di 0,86±0,03, una HR% di 117±14,41 a una velocità di 6,31Km/h±0,51.

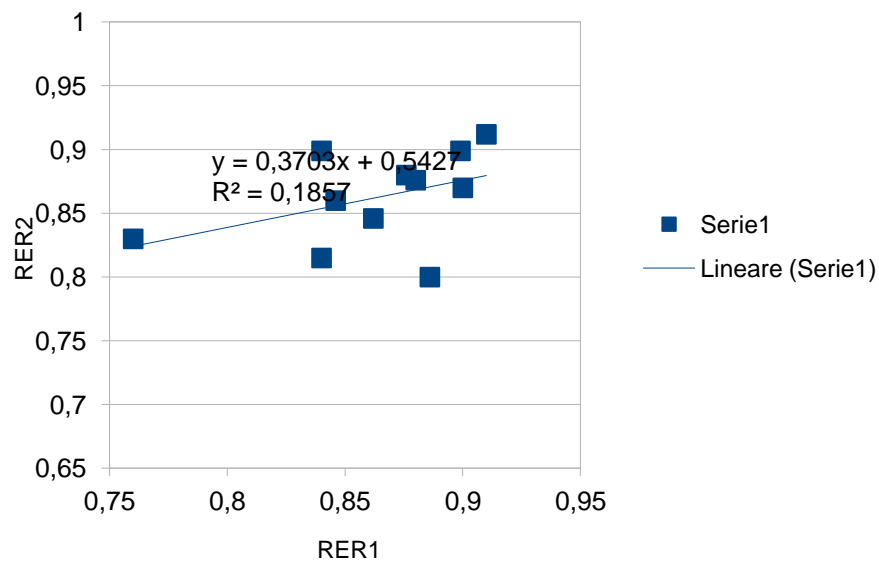
Confrontando i dati ottenuto dal software Polimedicus al T0 e T1 si ha avuto una differenza del RER dal T0 al T1 0,010625±0,047395, HR%, del 0,72875±7,208761 e velocità di Km/h 5,9375±1,537043. (Tab.8)

Soggetti	RER	HR%	Km/h
1	-0,01	3,53	0,5
2	0,04	4,09	6,5
3	0,00	-5,65	7
4	-0,01	-4,22	6,5
5	-0,02	-2,94	7
6	-0,02	-6,43	6
7	-0,07	3,53	6
8	0,06	13,95	5,5
9	0,01	1,11	6
10	0,02	8,77	6,5
11	0,06	-11,83	7
12	0,11	-7,19	5,5
13	0,04	10,00	6

14	-0,05	-4,52	6
15	0,05	1,81	7
16	-0,04	7,65	6
Media	0,010625	0,72875	5,9375
DS	0,047395	7,208761	1,537043

Tabella 8 Differenza dei valori di Fatzone determinati con il software Polimedicus al TO

I diagrammi a dispersione rappresentati nelle Fig.22 mostrano la variazione del RER,HR e VO₂ al TO e T1. In ognuno è rappresentata l'equazione della linea di tendenza lineare e il valore di R quadrato.



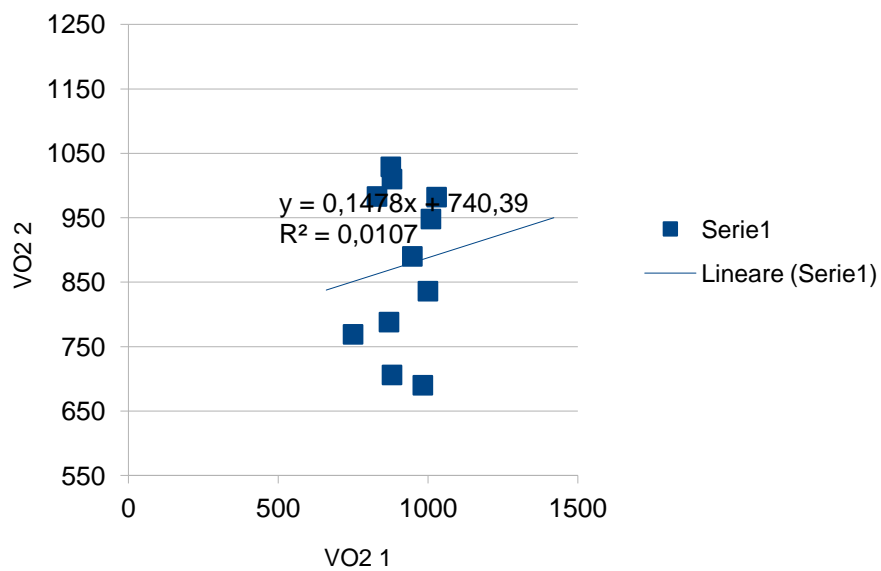
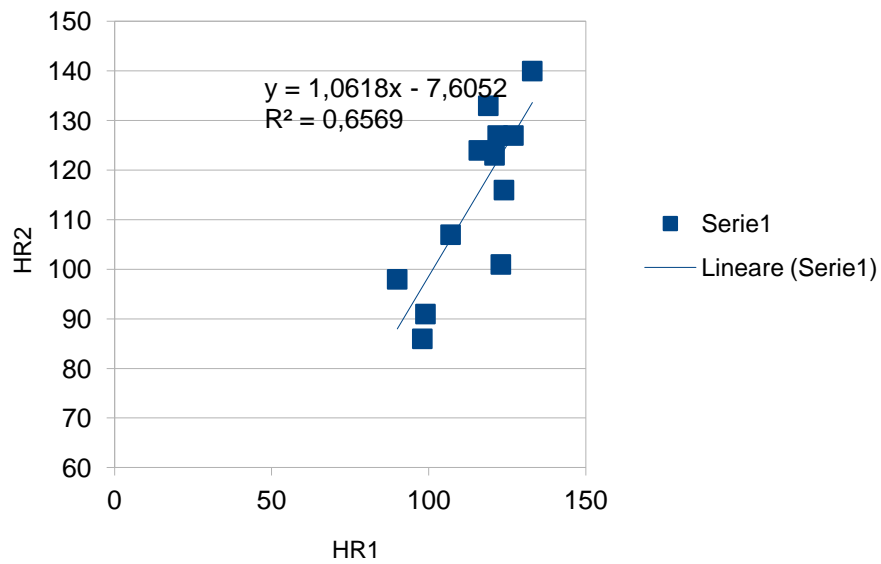


Figura 22 Diagramma a dispersione RER, V_O₂, HR al T0 e T1

Test a carico costante V Polimedicus

In Tab9 sono riportati i valori ottenuti durante il test a carico costante per ogni singolo soggetto e la media±DS del gruppo.

Soggetti	RER	HR
1	0,84	124
2	0,84	123
3	0,85	130
4	0,83	99
5	0,88	130
6	0,9	124
7	0,89	95
8	0,8	96
9	0,83	105
10	0,9	100
11	0,83	124
12	0,85	124
13	0,84	124
14	0,85	130
15	0,83	99
16	0,88	130
Media	0,852	116,062
Dev Stand	0,029	14,021

Tabella 9 Test a carico costante dei singoli soggetti

Confrontando i risultati di ogni singolo soggetto ottenuto con il Polimedicus e quelli rilevati a carico costante si è andati a vedere quanto quest'ultimi si scostavano da quelli ottenuti dal Software per andarne a verificarne l'attendibilità.

I dati hanno mostrato che il RER previsto dal software, simulando un allenamento a carico costante, ha una variabilità di $-0,00429 \pm 0,138992$ e della Fc $12,88090 \pm 0,71429$. I valori di soggetto per soggetto sono riportati nella Tab 10 e nella Fig.23.

Soggetti	RER	HR
1	-0,02	12
2	-0,08	-7
3	-0,20	-10
4	-0,02	-4
5	-0,11	16

6	-0,07	-17
7	-0,01	0
8	0,44	9
9	0,5	6
10	-0,05	13
11	0,1	-21
12	0	-10
13	-0,02	12
14	-0,09	-14
15	-0,02	-4
16	-0,11	16
Media	-0,00429	12,88090,
Dv Stand	0,138992	071429

Tabella 10 Δ RER e Δ HRe Δ % HR confrontando i test a carico costante con il software Polimedicus, N=16

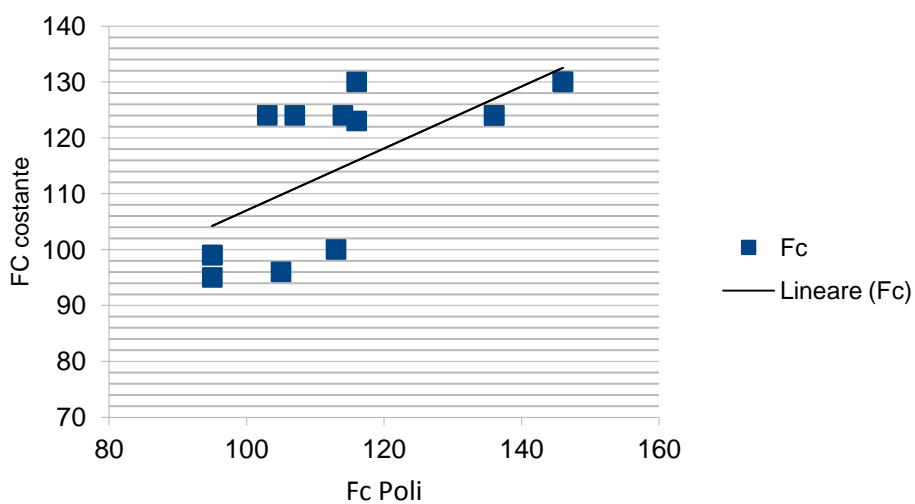


Figura 23 FC Polimedicus HR e MdHR Test carico costante, N=16

Discussione

Questo studio aveva come scopo quello di valutare l'efficacia e attendibilità del software Polimedicus in uso all'Istituto di Medicina dello Sport di Bologna, in particolare si voleva valutare se i valori estrapolati dal programma fossero quelli che si possono riscontrare durante un allenamento a carico costante di un ora.

Nel gruppo di studio, dopo due mesi di attività moderata, emerge a livello del Fatmax, una variazione del BMI di 0,091 la quale mostra che il protocollo d'allenamento e l'intensità dell'esercizio fisico hanno avuto un effetto limitato (considerando che non erano state modificate e non si era a conoscenza delle abitudini alimentari seguite dal gruppo durante lo studio).

Ad ogni modo dall'analisi statistica della variazione della composizione corporea si può notare come in realtà ci sia una modifica della percentuale e valore relativo della massa magra(FFM) e massa grassa(FM). Entrambi i valori medi confrontati con un test di dati appaiati evidenziano che c'è stata una variazione significativa.

Questi tipi di dati non fanno altro che confermare le ipotesi proposte da Hunter e Byner: un allenamento di resistenza migliora la forza e riduce l'aumento di peso facilmente riscontrabile dopo la menopausa.

Anche lo studio di W. Bea Jennifer et al (2010) ,supporta i nostri dati, in quanto avevano dimostrato che un allenamento di resistenza di tipo aerobico, soprattutto a lungo termine, si associa a una stabilizzazione totale dell'adiposità centrale, preservando la massa magra e mantenendo il peso costante.

La Fatzone, dall'analisi statistica, si è mantenuta praticamente identica, mentre la letteratura evidenzia che l'ottimizzazione del consumo dei grassi è ulteriormente indotta dalla ripetizione con cadenza programmata dell'esercizio fisico specifico. Anche una sola precedente seduta di allenamento può influire positivamente sulla qualità dei substrati utilizzati.

Alla luce di queste evidenze si è deciso di andare ad analizzare nel test incrementale l'ultima fase aerobica al TO e T1. Osservando i dati, riportati in Tab.7, si può osservare come vi è stato nel gruppo un incremento del $\dot{V}O_2$, del consumo di lipidi e glucidi.

Questo dato verifica, che nonostante la Fatzone, non sia cambiata, si ha avuto comunque un miglioramento a parità d'intensità della capacità del lavoro ed energia spesa, soprattutto a carico dei grassi.

A sostegno di questo trend positivo, il miglioramento dell'efficienza aerobica è dato dal valore dell'intercetta del VO_2 e del VCO_2 ottenuto dall'analisi statistica del modello lineare.

E' interessante notare che dall'analisi statistica il massimo consumo lipidico raggiunto dal gruppo è al 74%Fc, range al di fuori della linee guida che indicano, che la zona d'allenamento aerobico è caratterizzato dal consumo dei lipidi, è intorno al 60%FC e 48-60% VO_{2max} . Diversi studi hanno dimostrato che il 70% della F_{cmax} si caratterizza da un metabolismo aerobico misto: glucidi e lipidi.

In uno studio condotto su 300 persone sedentarie in salute è stato riscontrato il F_{atmax} a una media del 48% del VO_{2max} , considerando un range che va dal 25 al 77% del VO_{2max} ; altri studi invece hanno rivelato il massimo consumo di lipidi al 63% (range tra il 62 e il 64%) del VO_{2max} in soggetti moderatamente attivi⁴⁵.

I nostri dati dunque sembrano rispecchiare quelli riscontrati da Astorino su donne moderatamente attive al 76% VO_{2max} e di Bircher e Knechtle al 75% VO_{2max} su soggetti obesi.

La media della Fc è diminuita in maniera minima, di circa 1bpm, rivelando uno scarso effetto su questo parametro nel protocollo d'allenamento invece che portare a una diminuzione, la quale indicherebbe un miglioramento della risposta cardiovascolare. (Hunter Gr, MC Carthy). Nonostante questo valore medio sia negativo, i risultati individuali di Fc mostrano, circa nella metà del gruppo, un miglioramento anche di 8bpm sottolineando la variabilità presente in questo gruppo di studio.

Questo valore "negativo" riscontrato può essere riferito alla scarsa precisione del software Polimedicus che ha rilevato la maggior inaffidabilità nella Fc, sopra o sottostimata in alcuni soggetti anche di +15bpm o -15bpm durante l'esercizio fisico a carico costante. Questa variabilità e poca precisione ha sicuramente inciso sugli effetti indotti dall'allenamento che ci si sarebbe aspettati e come verificato da molti studi.

Da considerare nella variazione dei parametri è il protocollo d'allenamento seguito durante lo studio che ha comportato l'attivazione di distretti muscolari diversi eseguendo bike, treadmill e step.

Nello studio di Thomas et al, 5 soggetti si sottoposero ad un'ora di esercizio al 57% del VO_{2max} sia col cicloergometro che con il tapis roulant; dopo 10 minuti di esercizio il RER era diventato più basso durante la corsa rispetto al pedalare.

Achen et al (2003) suggerirono che durante il lavoro al cicloergometro rispetto al treadmill vi era un numero minore di attivazione di fibre muscolari.

Tsintzas, Simpopson, Seevaratman and Jones (2003) hanno anche suggerito che c'è un maggiore reclutamento delle fibre di Tipo I (riducendo quello di Tipo II) durante la corsa rispetto al ciclismo. Questi autori hanno dimostrato che l'utilizzo del glicogeno, nella prima ora di esercizio sub massimale, da parte del muscolo appare più alta nelle fibre di tipo II durante il ciclismo rispetto alla corsa. Questo potrebbe spiegare il più alto reclutamento delle fibre di tipo II nel ciclista rispetto al corridore.

Quanto detto è stato ulteriormente confermato dallo studio di Capostagno et al (2010) che verificarono e confermarono che l'ossidazione dei grassi, alla stessa intensità espressa in %W o %VO₂, è più significativa durante la corsa rispetto al ciclismo.

Dai dati è emerso che nella fase di recupero tutti i soggetti hanno riscontrato un miglioramento di tutti i parametri. In particolare si è potuto osservare che si ha avuto una differenza significativa tra il T0 e il T1 della %Fc e del Vo₂*Kg: 100,716±330,5 e -142,536±353,71.

La velocità con cui la frequenza cardiaca cala, dopo l'esercizio, è un indice di riattivazione del sistema vagale. L'aumento della frequenza cardiaca durante un esercizio di bassa intensità è dovuto solamente ad una inibizione del sistema vagale, mentre per un esercizio di intensità medio-alta interviene anche l'attivazione del sistema simpatico. La velocità con cui la frequenza cardiaca cala e la lunghezza del tempo di recupero dopo un esercizio, da moderato a intenso, sono solitamente usate come indice di fitness cardiovascolare. Nei soggetti allenati il ristoro risulta più rapido che in quelli non allenati. L'intervallo di tempo necessario perché la frequenza del polso ritorni alla normalità può variare entro limiti ampi. Una lenta discesa della frequenza cardiaca nel primo minuto di recupero è stata considerata anche come indice di potenziale causa di morte^{39,40,41,42}

Alla luce di quanto detto il trend positivo del tempo di recupero suggerisce che all'interno del gruppo vi è stato un miglioramento del sistema circolatorio e respiratorio come previsto all'inizio dello studio e mostrato in diverse sperimentazioni⁴³.

In conclusione il software mostra sicuramente poca attendibilità riguardo alla Fc allenante sovrastimandola o sottostimandola. Sicuramente deve essere ancora perfezionato in termini di algoritmi per il calcolo dei parametri ma non risulta attendibile al momento. In sostanza il

software mostra sicuramente un grande potenziale, che deve però essere ancora perfezionato per il calcolo dei parametri.

SECONDO STUDIO

Introduzione

In seguito ai dati elaborati dal primo studio all'Istituto di Medicina dello Sport di Bologna che mostravano poca attendibilità del software Polimedicus, si è deciso di sviluppare un nuovo Software: INCA.

Si è notato infatti che il programma utilizzato precedentemente, Polimedicus, non consentiva di ottenere dati oggettivi; esso è infatti in grado di attuare l'integrazione di dati, scannerizzare tutto il test, valutare punto per punto il consumo di O₂, la produzione di CO₂ e quindi il loro rapporto (RER), dal quale è possibile capire, per una questione stechiometrica delle molecole, le percentuali di substrato utilizzate a carico dei grassi e quelle a carico dei glucidi. A suo svantaggio bisogna però dire che per eliminare l'eventuale errore l'operatore dovrebbe intervenire manualmente: questo intervento risulta del tutto soggettivo, dal momento che non vi sono parametri oggettivi sui quali basarsi. In questo modo la selezione effettuata da un operatore potrebbe essere diversa da quella effettuata da un altro. In particolare, in alcuni test, l'operatore deve individuare manualmente, in tutta la curva, il valore del FATmax; cosa che non avviene invece con InCa, il quale lo fornisce automaticamente attraverso una parabola in cui l'apice della curva (Fig.25.) rappresenta il FATmax indipendentemente dal protocollo.

Obiettivo:

- Confrontare il software Polimedicus con INCA

Ipotesi: Target specificamente mirato di allenamento individuale

Soggetti

I soggetti che hanno partecipato a questo studio sono gli stessi che hanno seguito il primo progetto presso l'Istituto di Medicina dello Sport di Bologna. Le caratteristiche del gruppo di studio sono riportate nella Tab.11.

Tutti erano stati precedentemente giudicati idonei alla pratica dell'attività motoria e sono stati sottoposti ad anamnesi ed esame medico (in collaborazione con un medico dello sport) per poter escludere eventuali controindicazioni alla partecipazione al protocollo.

Caratteristiche	Valori (Md±SD)
Età	48,93±3,91
Altezza (cm)	166,75±6,96
Peso (kg)	74,75±9,82
BMI (kg/m ²)	26,84±2,67

Tabella 11 Caratteristiche fisiche dei soggetti arruolati, N=16

Materiale:

Attraverso il software Inca, sviluppato dal Dr. David Neil Manners sono stati rielaborati i test incrementali e a carico costante del primo studio per verificare l'efficacia di quest'ultimo.

Il materiali utilizzati durante il primo studio sono stati:

- Cardio MedGraphics;
- Treadmil;
- Metaboli metro fisso e portatile VO2000;
- Cardiofrequenzimetro Polar

Metodo:

Analisi del software InCa

Il programma utilizzato per l'analisi dei dati è stato appunto "InCa", progettato per leggere file di testo (contenenti spazio, tab o virgola) generati dal driver software "Spirometer" o altri programmi calorimetrici. Esso mostra i dati prodotti ed è in grado di elaborarli, per esempio rimuovendo i punti di deviazione e temporaneamente livellando i dati.

Inoltre tale programma cerca di stimare approssimativamente i valori corrispondenti al massimo consumo assoluto di lipidi durante l'esercizio aerobico, altrimenti conosciuto come FATmax.¹ Per questo scopo esso si basa su dati spirometrici (VO_2 , VCO_2) acquisiti durante un test a protocollo incrementale nel quale ogni livello di lavoro è mantenuto finché non viene raggiunto un punto di equilibrio, ovvero quando i processi metabolici del tessuto muscolare vengono riflessi nei campioni di gas respirati; la determinazione di tale equilibrio non è data dal programma stesso, sebbene esso possa condurre l'utente a calcoli statistici, come la variazione percentuale di VO_2 , VCO_2 e frequenza cardiaca per una proporzione definita ad una data velocità di lavoro nel periodo, in genere un minuto alla fine di ogni periodo. In altre parole InCa permette al fruitore di scegliere di calcolare una funzione base dopo un intervallo di tempo predefinito, che però può essere modificato, quindi aumentato o ridotto, a seconda delle necessità.

Dopo un periodo indicato dall'utente alla fine di ciascuno step, anche questa volta il più comune è un minuto, di tutti i dati salvati dal software della spirometria viene calcolata la media o la mediana a seconda della scelta fatta; se lo si desidera può essere effettuato anche il calcolo della varianza (deviazione standard o scarto interquartile).

Le medie dei valori di VO_2 e VCO_2 vengono usate dal programma per stimare l'utilizzazione dei substrati glucidici e lipidici con equazioni standard, in particolare con la variante proposta da Jeukendrup e Wallis per l'esercizio a bassa intensità, supponendo che l'apporto di proteine per produzione di energia è trascurabile.⁵² Errori nell'utilizzazione del substrato derivano dalla varianza stimata per ogni periodo, utilizzando i metodi standard di stima d'errore.

Non avendo un modello precedente per la guida alla stima del FATmax, e per ragioni di semplicità ed efficacia, il programma cerca di adattare i dati usando una funzione quadratica, la più semplice funzione che dà la precedenza ad un picco.

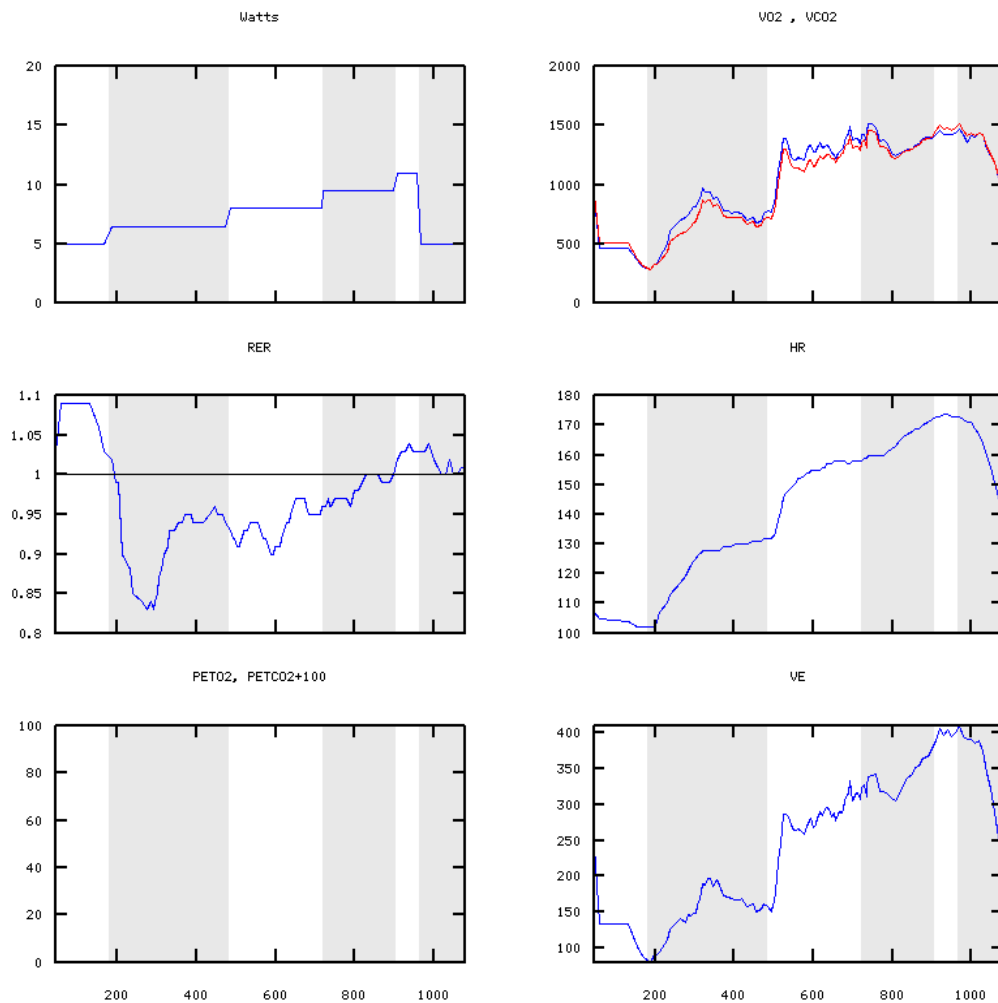


Figura 24 Analisi del software Inca del test incrementale

Per un'impostazione predefinita, tutti i periodi, fino al primo in cui si osserva un $RER > 1$, vengono utilizzati per stimare il FATmax; in ogni caso, la scarsa affidabilità della tecnica per l'individuazione del FATmax attraverso l'utilizzo dei substrati individuali, non giustifica l'uso di più complicati modelli matematici.

Bisogna notare che i protocolli di esercizio e i metodi di elaborazione dei dati che possono essere adatti per la determinazione del FATmax rimangono controversi.⁵³

Un metodo per il monitoraggio di una curva di ossidazione dei grassi più complessa è stato proposto, ma esso richiede l'uso di un protocollo con numerosi steps, solitamente otto, della durata di soli tre minuti.⁵⁴

Utilizzando InCa l'utente può scegliere di escludere punti all'inizio o alla fine del periodo predefinito. La ragione per escludere punti all'inizio del periodo è che i dati non si adattano bene ad un modello con un picco singolo, con un $RER > 1$, spesso osservato in individui sedentari.

Punti successivi sulle curve delle stesse persone sembrano seguire maggiormente la curva prevista.

La ragione per escludere punti alla fine del periodo è che un $RER > 1$ implica una netta produzione di grasso (o assenza di equilibrio), e quindi i dati di quel punto non sono fortemente informativi sulla posizione del picco.

Tuttavia, dato che il numero totale di punti è tipicamente basso (considerando i protocolli per i quali il programma è stato progettato), tali dati sono talvolta essenziali per consentire alla curve-fitting di convergere in una soluzione attuabile.

La frequenza cardiaca e il RER previsti dal FATmax, sono stimati effettuando la regressione lineare di questi parametri sull'intensità di lavoro, e calcolando il valore appropriato per stimare la quantità di lavoro corrispondente al FATmax. I range di frequenza cardiaca o del RER sono stimati più o meno il doppio della stima della deviazione standard, sempre derivata dalla regressione lineare.

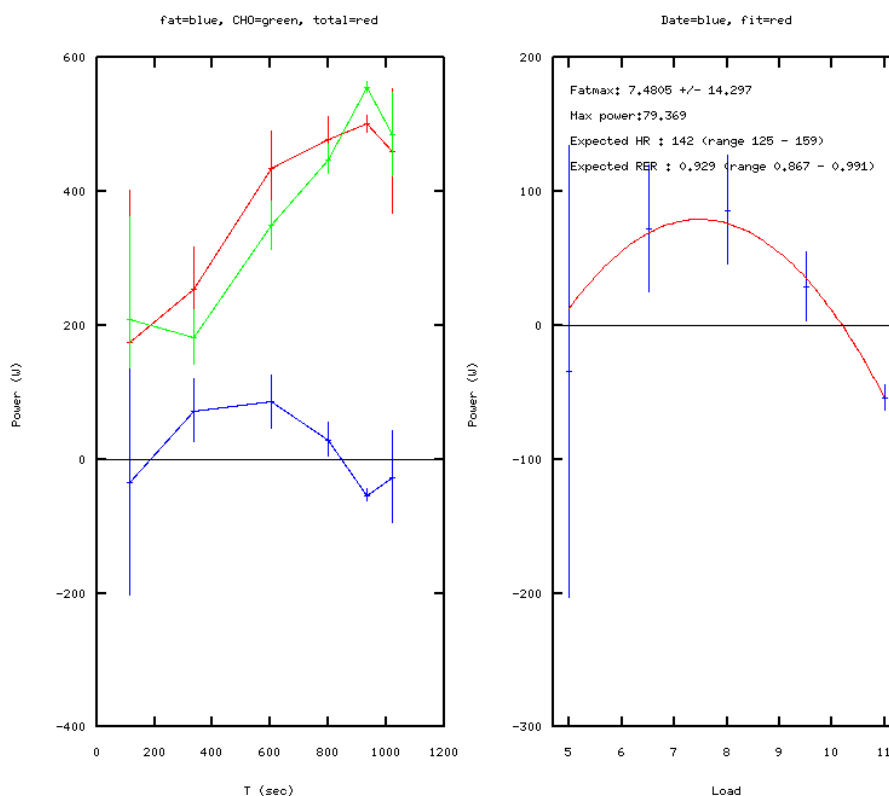


Figura 25 Grafico e Calcolo del Fatmax con il software INCA

Analisi statistica

I dati raccolti al T0 e T1 dei test incrementali sono stati inizialmente analizzati come medie e deviazione standard step by step.

Sono stati analizzati tra i dati raccolti dai test incrementali: $VO_2 \cdot kg$, VO_2 , VCO_2 , RER, %HR ai vari step e tempo.

I dati ottenuti con i test incrementali sono stati elaborati attraverso il software INCA. Successivamente una volta individuato il RER, per ogni soggetto, in cui si ha il massimo consumo lipidico (FATmax) sono stati confrontati i valori medi ottenuti dai test a carico costante con quelli elaborati da INCA e si è andati a verificare la differenza e l'eventuale errore dei valori del software come medie e deviazioni standard.

Infine sono stati confrontati i valori elaborati dal Software Polimedicus con quelli di INCA per mettere in risalto le differenze tra questi due programmi: sono stati confrontati prima quelli a test incrementale e successivamente quelli del test carico costante verificando la differenza e l'eventuale errore dei valori del software come medie e deviazioni standard.

Tutti i dati sono presentati come $media \pm DS$ se non diversamente specificato. Tutte le analisi statistiche sono state effettuate con la versione del software JMPM 10 e il livello di significatività per tutti i test è stato fissato con $p \leq 0,05$.

Risultati

Test incrementale e INCA

I valori dei singoli soggetti in cui hanno il massimo consumo lipidico, calcolato dal software Polimedicus dal test incrementale, sono rappresentati in Tab.2.

Il gruppo di studio ha raggiunto la Fatzone con un RER medio \pm DS di $0,86 \pm 0,03$, una Hr% media di $74,71 \pm 8,05$ a una velocità di $6 \text{Km/h} \pm 0,58$ al TO. Al T1 il gruppo ha raggiunto una Fatzone con RER medio \pm DS di $0,86 \pm 0,03$, una HR% di $74,71 \pm 8,05$ a una velocità di $6 \text{Km/h} \pm 0,58$.

Confrontando i dati ottenuto dal software Polimedicus al T0 e T1 si ha avuto una differenza del RER di $0,86 \pm 0,3$, $7,71 \pm 8,05$ HR% e velocità di $\text{Km/h } 5,93 \pm 1,53$

	ΔRER	$\Delta HR\%$	$\Delta Km/h$
1	-0,01	3,53	6,5
2	0,04	4,09	6,5
3	0,00	-5,65	7
4	-0,01	-4,22	6,5
5	-0,02	-2,94	7
6	-0,02	-6,43	6
7	-0,07	3,53	6
8	0,06	13,95	5,5
9	0,01	1,11	6
10	0,02	8,77	6,5
11	0,06	-11,83	7
12	0,11	-7,19	5,5
13	0,04	10,00	6
14	-0,05	-4,52	6
15	0,05	1,81	7
16	-0,04	7,65	6
Media	0,86	7,71	5,9375
Dv stand	0,03	8,05	1,537043

Tabella 12 ΔRER , $\Delta\%HR$, $\Delta Km/h$, analisi test incrementale al TO 1 T1 con il software INCA

Test a carico costante e INCA

Andando a confrontare i risultati di ogni singolo soggetto ottenuto con il INCa e quelli rilevati a carico costante si è poi andata a vedere quanto quest'ultimi si scostavano da quelli ottenuti dal Software per andarne a verificarne l'attendibilità.

I dati hanno mostrato che il RER previsto dal software, simulando un allenamento a carico costante, ha una variabilità di $-0,10575 \pm 0,288445$ e della HR $-1,1875 \pm 3,0159$. I valori di soggetto per soggetto sono riportati nella Tab 10 e nella Fig.13

Soggetti	ΔRER	HR
1	0	-2
2	0,004	-1
3	0,006	-4
4	-0,01	-5
5	-0,018	-3
6	0	-1
7	-0,04	-5
8	-0,04	2
9	0,01	-3
10	0,01	-1
11	-0,06	-3
12	-0,85	-4
13	0,059	3
14	0,026	5
15	-0,83	1
16	-0,034	2
Media	-0,10575	-1,1875
DS	0,288445	3,01593

Tabella 13 Δ RER e Δ HR confrontando i test a carico costante con il software INCA, N=16

Sono stati successivamente confrontati i valori tra Inca e Polimedicus al T0 e T1. I dati sono riportati in Tab.14,15. I grafici in Fig.26 rappresenta un diagramma a dispersione al TO e T1 di RER, HR, VO₂ i due programmi.

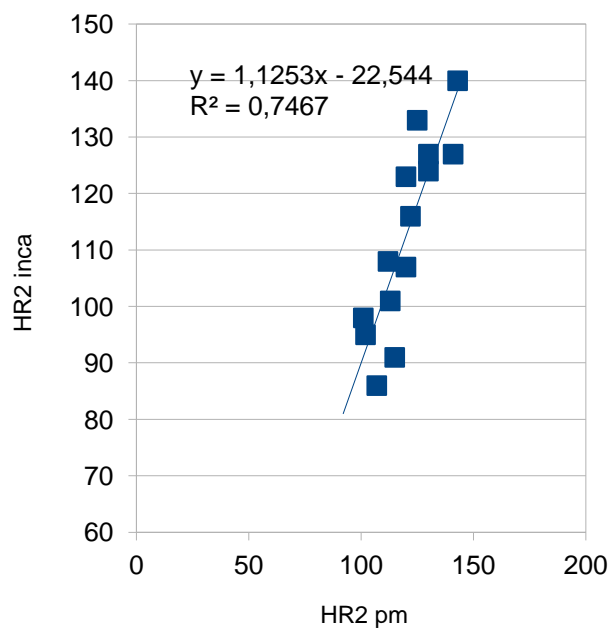
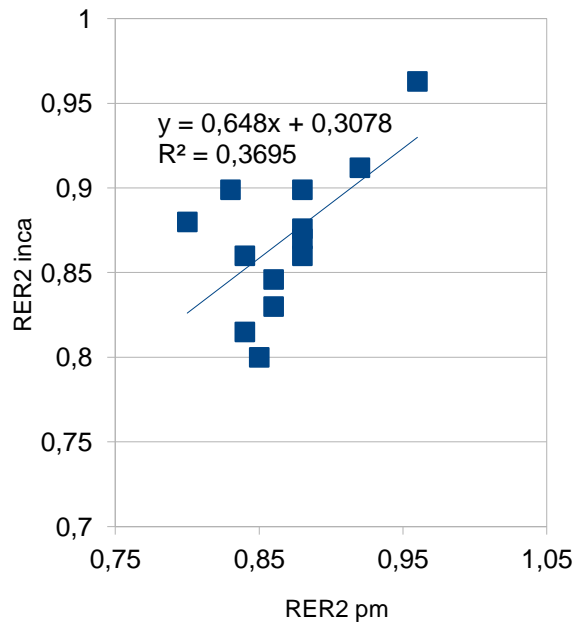
Soggetti	ΔRER	ΔHR
1	0	-2
2	0,04	-7
3	0,036	-9
4	-0,001	-5
5	-0,018	-11
6	0	-1
7	-0,04	-5
8	-0,04	11
9	0,01	-7
10	0,01	-1
11	-0,06	-25
12	NR	NR
13	0,059	3
14	0,026	-6
15	NR	NR
16	-0,034	3
Media	0,00086	4,42857
DS	0,0345	8,234209

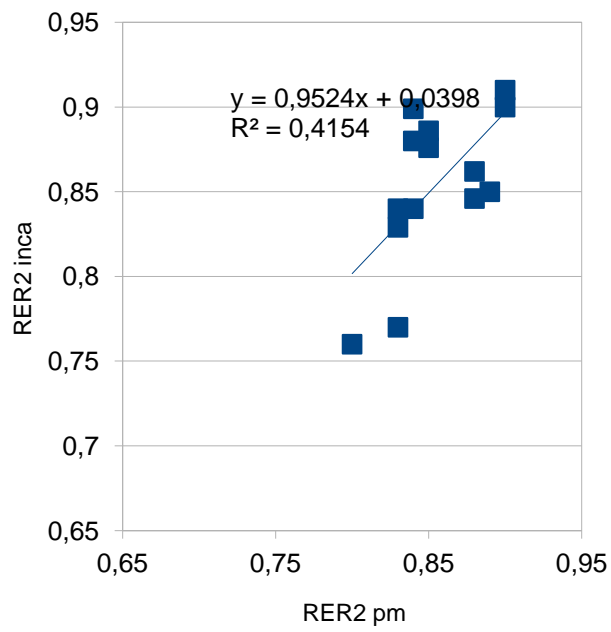
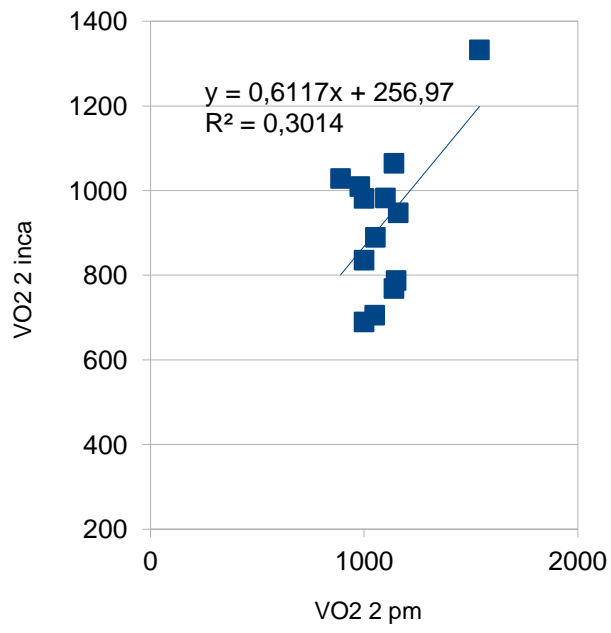
Tabella 14 Tabella ΔRER, ΔHR, test incrementale T0 INCA e Polimedicus

Soggetti	ΔFC	ΔRER
1	5	0,059
2	8	-0,004
3	2	-0,086
4	7	
5	6	-0,016
6	4	-0,03
7	3	-0,06
8	0	0,07
9	-2	-0,025
10	1	0,002
11	1	0,004
12	2	0,003
13	0	0
14	-1	0,004
15	6	0,2
16	7	0,014

Media	3,0625	0,009
Dev stand	3,151058	0,0641056

Tabella 15 Δ RER, Δ HR test incrementale T1 INCA v Polimedicus





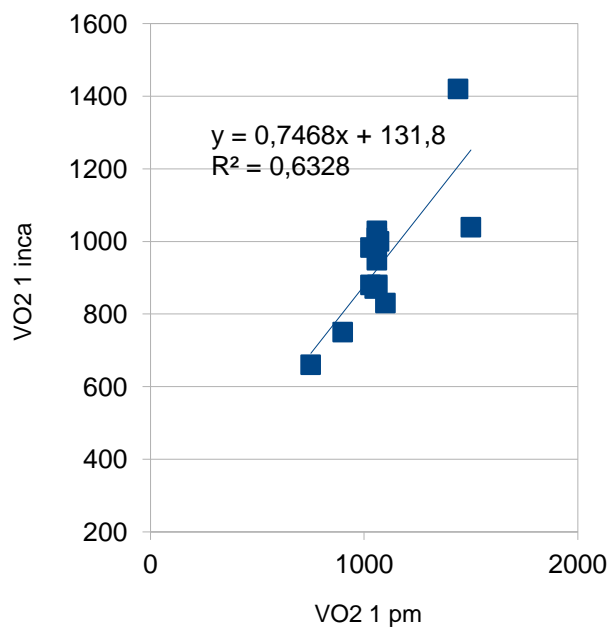
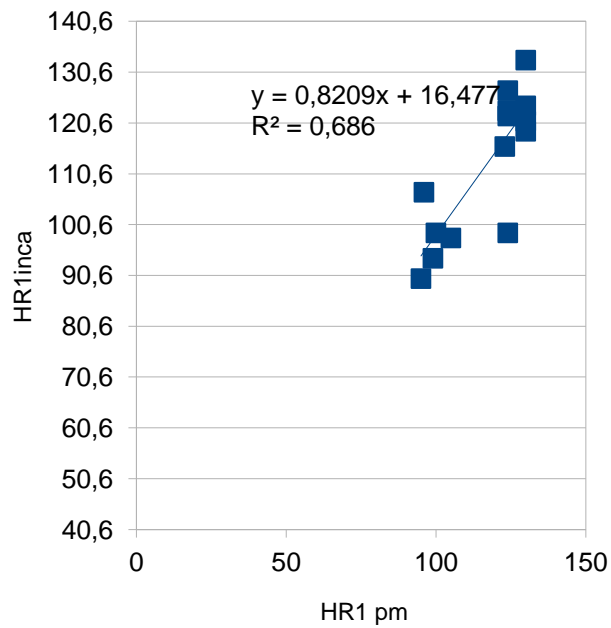


Figura 26 Grafico a dispersione RER, HR, VO2 Inca e Polimedicus al To e T1

Discussione

Rielaborando, con INCA, i dati del test incrementale e i test a carico costante, si è cercato di andare a confrontare, successivamente, la differenza di errore dei due software in relazione agli stessi dati.

Dall'elaborazione è emerso che INCA si è mostrato più preciso non tanto per quanto riguarda il RER, che era piuttosto esatto anche in Polimedicus, ma soprattutto sulla FC allenante che invece tendeva a essere sovrastimata.

Altro dato interessante, dal confronto dei due software, è come l'analisi di Polimedicus non sembrava aver evidenziato nessun miglioramento sul metabolismo dei soggetti che hanno seguito il protocollo d'allenamento.

Infatti Inca andando a confrontare i test incrementali al T0 e T1 aveva rilevato dei cambiamenti sia della Fc allenante che il rispettivo RER, evidenziando che anche se in maniera non significativa vi sono stati nel protocollo d'allenamento dei parametri fisiologici.

Con Polimedicus i soggetti avevano mantenuto la stessa HR cardiaca nei vari step e soprattutto nella Fazione tra il T0 e il T1, mostrando che non vi era stata nessuna modificazione cardiovascolare all'allenamento.

Facendo lo stesso confronto con INCA si è invece potuto osservare come dal T0 al T1 ogni singolo soggetto aveva nella Fazione diminuito la HR, mostrando dunque un adattamento cardiocircolatorio a quel livello d'intensità come ci eravamo in parte aspettati a priori.

Il software Polimedicus aveva riscontrato come problema principale nel confronto con il test a carico costante la sovrastima della HR: molto importante per i professionisti che lavorano nell'ambito sportivo/motorio in quanto quello più facilmente monitorabile. I dati invece estrapolati dal test incrementale con INCA hanno mostrato una maggiore attendibilità.

Un problema comune di entrambi i software rimane il sistema operativo di utilizzo che per Polimedicus è DOS mentre per INCA Linux. Questo ostacolo può essere in futuro una limitazione all'utilizzo di entrambi imponendo all'operatore la presenza di uno dei seguenti sistemi operativi. Per quanto riguarda INCA lo sviluppo del software è orientato alla possibilità del suo utilizzo su qualunque sistema operativo.

In futuro il nuovo software, per verificarne la proprio attendibilità, dovrà essere testato anche su altre tipologie di soggetti: atleti, bambini, giovani, adulti e anziani in modo così da poterlo inserire come strumento lavorativo da parte di tutti gli operatori del settore sportivo/motorio sia per l'ottimizzazione della perdita di peso che alla prestazione sportiva, in particolare in specifiche discipline.

Altre possibilità di verifica del software potranno essere verificarne l'attendibilità attraverso altri protocolli sia di tipo incrementali diretti che indiretti.

In conclusione, si può affermare che il software si è dimostrato più attendibile e preciso rispetto a quello utilizzato dall'Istituto di Medicina dello Sport. INCA è risultato anche più facile come utilizzo da parte dell'operatore.

TERZO STUDIO

Introduzione

Nelle indagini cliniche, sempre più frequentemente, ci si imbatte nei test cardiopolmonari, per scopi diagnostici e/o valutativi. Questi sono test sicuramente complessi e necessitano, per essere correttamente eseguiti e/o interpretati, di essere a conoscenza di nozioni fisiologiche, oltre che cliniche, abbastanza approfondite.

Quando si parla di test cardiopolmonari, si dovrebbe sempre tenere a mente qual è l'obiettivo da raggiungere: misurare la capacità di adattamento allo sforzo e gli eventuali fattori limitanti, analizzando le risposte ventilatorie, cardiovascolari, e metaboliche indotte dall'esercizio fisico.⁴³

Per far ciò, è necessario quantificare in maniera accurata il carico di lavoro somministrato e misurare nel migliore dei modi il costo energetico relativo al lavoro effettuato. Quindi una corretta esecuzione di un test cardiopolmonare richiede di:

- quantificare in modo accurato la sollecitazione in termini di lavoro esterno prodotto (ergometria)
- misurare con la maggior precisione possibile il costo energetico (consumo di O₂ e produzione di CO₂) del lavoro effettuato.

Per i test cardiopolmonari possono essere utilizzati diversi strumenti a seconda della disciplina o obiettivo del test; tra questi possiamo ricordare il cicloergometro, il treadmill e l'argoergometro.

Gli studi riguardanti il FATmax fino adesso si sono concentrati sul calcolare la Fatzone prevalentemente in soggetti sovrappeso o obesi, solamente negli ultimi anni si stanno indirizzando ai soggetti adolescenti e bambini obesi.^{48,49,50}

Ad oggi i test sperimentati per il calcolo del FATmax sono stati quasi tutti di tipo incrementale. Tra i vari protocolli testati fino ora, quasi tutti hanno richiesto il raggiungimento del VO₂max; arrivare a questi valori determina un'impedibilità da parte degli operatori nell'ambito motorio e sportivo di non poterne usufruire sul campo per: durata, parametri e rischi.

Questo è un problema molto comune per gli operatori, anche se negli ultimi anni è stato ridotto con l'introduzione di test incrementali indiretti per il calcolo del VO₂max.

Nell'ultimo periodo le persone che si avvicinano all'attività motoria sono prevalentemente soggetti adulti, tra i 40 e 50 anni, spesso con patologie come l'ipertensione, problematiche muscolo scheletriche, assunzione di farmaci e soprattutto, come denominatore comune, lo stato di sovrappeso o obesità. L'aumento di questa tipologia di popolazione, nelle palestre e nei centri sportivi, è dovuto alle varie politiche sviluppatesi dai diversi paesi che in breve tempo hanno portato gli operatori del settore a familiarizzare e acquisire nuove conoscenze nell'ambito dell'attività motoria adottata.

Sulla base di quanto riscontrato, si è pensato di andare a sviluppare un nuovo test che possa essere utilizzato da parte di tutti gli operatori nel settore sportivo e motorio, come valutazione preliminare prima della programmazione motoria, in condizione di sicurezza, soprattutto con quelle tipologie di soggetti definiti sensibili: obesi, ipertesi, diabetici o che uso di certi medicinali.

Il nuovo test, nominato: Fatmax_{work}, è stato verificato con il Software INCA in modo da valutarne validità e attendibilità.

Obiettivo dello studio:

- Verificare l'attendibilità del Software INCA su una popolazione adulti moderatamente attiva
- Precisione del calcolo del FatMax durante il carico di lavoro

Ipotesi dello studio:

- Precisione del calcolo del FatMax con INCa con il test FATmax_{work}

Soggetti

La ricerca ha coinvolto, nel periodo compreso tra gennaio e aprile 2012, 25 soggetti volontari, 12 uomini e 13 donne, abitanti del territorio di Massa Lombarda, che sono stati selezionati dopo un colloquio preliminare e la compilazione di una scheda relativa ai dati personali inerenti al loro stato di salute (Allegato A e B).Tab 16

I criteri su cui si è basata la selezione del campione sono stati:

- età superiore a 40 anni

- condizione di sovrappeso o obesità
- assenza di patologie cardio-respiratorie severe
- assenza di interventi chirurgici avvenuti recentemente
- assenza di problematiche ortopediche e della deambulazione
-

	Media± DS	maschi	donne
Età	50,92±4,462	52,37±6,74	48,87±7,36
Peso	77,0875±13,31	63,72±11,58	73±410,38
BMI	27,532±1,726	28,71±2,61	28,92±2,85

Tabella 16 Descrizione del gruppo, gruppo uomini e donne come Med e Dev stand. gruppo di studio, N=25

Materiale

I parametri fisiologici sono stati misurati utilizzando un metabolimetro portatile, il VO2000 della MedGraphics (Fig.27); questo strumento, classificato tra i metabolimetri a circuito aperto, ha la funzione d'analizzare il contenuto di CO₂ ed O₂, contenuti nell'espri di un soggetto in condizioni di riposo e sotto sforzo. Per ottenere risultati più accurati fa ricorso ad un analizzatore di O₂ separato da quello di CO₂, in pratica non esegue nessuna stima differenziale, ma misura direttamente il contenuto dei due gas. Il volume ventilato viene così valutato con estrema precisione ad ogni singolo respiro. Il rilievo delle misurazioni è stato effettuato collegando direttamente lo spettrofotometro di massa ad un notebook HP.



Figura 27 Metabolimetro VO2000 e maschera Pneumomask.



Figura 28 Cardiofrequenzimetro a fascia Polar e treadmill Air Machine C 50.

Gli altri componenti utilizzati sono stati una maschera Pneumomask con pneumotacografo (Fig.27), una fascia Polar T31(Fig.28) per la rilevazione della frequenza cardiaca in telemetria e treadmill Air Machine C 50 (Fig.28). La scelta di utilizzare il tapis-roulant piuttosto che il cicloergometro è soprattutto da imputare al fatto che, essendo il massimo consumo calorico il principale obiettivo della nostra ricerca, il primo strumento favorisce una maggiore combustione di O_2 rispetto al secondo a parità di intensità d'esercizio, come viene descritto da Capostagno B. e Bosch A.²⁶ di una notevole percentuale stimata come superiore al 10-15%. Inoltre vantaggi del treadmill, rispetto al cicloergometro, sono la minore elevazione della pressione arteriosa sistemica e una maggiore versatilità in quanto permette di ottenere dati più realistici su un'ampia gamma di soggetti, di costituzione atletica o meno.

L'uso del cicloergometro invece è più adatto ai fini dello sviluppo di un'adeguata potenza meccanica e per la misura del VO_2 max nel corridore ciclista.

E' importante sottolineare che comunque l'utilizzo dell'ergometro trasportatore (treadmill) riscontra la maggior limitazione nel suo utilizzo pratico con i corridori ciclisti di fondo e con i nuotatori (che, peraltro, male si adattano a tutti gli ergometri di laboratorio); altro aspetto da evidenziare è il fatto che per la maggior parte dei soggetti, l'uso del treadmill impone molta cautela per la possibilità, non solo di cadute, ma di effettuazione di esercizi di marcia e di corsa con caratteristiche diverse da quelle fisiologiche.²⁷

Nonostante questo si è preferito utilizzare il tapis-roulant come strumento del nostro studio per le caratteristiche positive descritte sopra. In particolare la macchina che è stata usata, l'Air machine RHC 500, possiede alcune proprietà che la rendono di un livello professionale molto elevato; tra queste possiamo sottolineare la pedana a compressione graduale che si appiattisce

nella fase di appoggio riducendo drasticamente l'impatto articolare di caviglie, ginocchia e schiena, una superficie di corsa molto ampia, maniglioni regolabili per garantire una maggiore sicurezza anche alle persone che approcciano questo attrezzo per la prima volta e, molto importante per il nostro utilizzo, la possibilità di poter accelerare il cammino e la corsa, anche grazie alla partenza da 0 km/h con incrementi di soli 0.1Km/h.

Metodi

I test sono stati condotti all'interno della palestra dell'Istituto Medico San Vitale di Massa Lombarda, secondo un protocollo che prevedeva la somministrazione di due test differenti, svolti in giornate diverse, per ogni soggetto facente parte del campione, cercando comunque di mantenere parametri standard quali il momento della giornata in cui venivano effettuate le prove (mattina/pomeriggio/sera) e l'alimentazione precedente ad esse per avere una maggiore attendibilità.

In linea generale questi consistono nello svolgere una deambulazione sul treadmill a velocità fisse o variabili, a seconda della fase del protocollo, durante la quale vengono rilevati i parametri cardio-respiratori che sono poi stati analizzati da un software.

Il programma operativo è stato infatti impostato su due fasi, in parte correlate tra loro, a conclusione alle quali si ipotizza di ottenere il valore di velocità (km/h) individuale alla quale ciascun soggetto, in base al proprio metabolismo, riesce a mantenere per un'ora un elevato consumo lipidico.

Inoltre sono state date anche delle indicazioni su cosa e quando mangiare i giorni in cui venivano effettuati i test; per evitare che i risultati venissero inficiati, è stato chiesto di non essere a digiuno da più di 3 ore e, allo stesso tempo, di non aver assunto cibi particolarmente glucidici e/o lipidici in prossimità del test.

I soggetti, dopo aver indossato abbigliamento sportivo per poter garantire il massimo confort durante il cammino, venivano dotati di cardiofrequenzimetro ed indossavano la maschera collegata al metabolimetro; a quel punto potevano salire sul nastro trasportatore ed iniziare il test in base alla fase del protocollo raggiunta (test incrementale o carico costante).Fig.29



Figura 29 Soggetto ripreso durante lo svolgimento di un test incrementale.

Come già anticipato il protocollo sviluppato prevede due test in successione:

1. Test incrementale
2. Test a carico costante

Test incrementale: questo test ha previsto una velocità iniziale di 3 Km/h e un incremento di 1 Km/h ogni cinque minuti fino al raggiungimento di venti minuti d'esercizio.

Test a carico costante: in questa tipologia di test i soggetti dovevano camminare alla stessa velocità, presumibilmente quella mantenuta nello steady-state test se quest'ultimo aveva dato risultati positivi, per la durata di un'ora.

Mentre il primo test veniva eseguito come prove sperimentali atte ad individuare il valore significativo di Fatmax con il software INCA, il secondo test rappresenta la simulazione di quella che dovrebbe essere l'attività fisica proposta al soggetto.

Analisi

I dati raccolti dalla tests incrementali sono stati inizialmente analizzati come medie e deviazione standard step by step; successivamente i dati ottenuti dal Test sono stati analizzati

con il programma prendendo in considerazione come parametri il $\text{VO}_2 \cdot \text{kg}$, VO_2 , VCO_2 , RER, HR%.

I dati ottenuti con il software Polimedicus sono stati confrontati con quelli del test carico costante e si è andata a verificare la differenza e l'eventuale errore dei valori del software come medie e deviazioni standard.

Tutti i dati sono presentati come $\text{media} \pm \text{DS}$ se non diversamente specificato. Tutte le analisi statistiche sono state effettuate con la versione del software JMPM 10 e il livello di significatività per tutti i test è stato fissato con $p \leq 0,05$.

Risultati

L'analisi dei dati sui 25 che hanno partecipato allo studio solamente su 19 (10 donne e 11 uomini) è stata svolta in quanto su 6 sono stati riscontrati problemi tecnici.

Nell'andare a calcolare la $\text{media} \pm \text{DS}$ il W in cui si è ottenuto il massimo consumo di grassi è stato $130 \pm 63,60$ con un RER di $0,86 \pm 0,09$ e una %HR di $54,20 \pm 4,93$.

Dividendo il gruppo per genere è emerso che gli uomini hanno ottenuto il Fatmax a un Watt di $158,28 \pm 71,62$ un RER di $0,86 \pm 0,12$ a una %HR di $54,58 \pm 5,24$ mentre le donne una Fatmax a un Wattaggio di $115,13 \pm 34,49$ con un RER di $0,87 \pm 0,05$ a una %HR di $56,30 \pm 8,11$.

Tab.17

Andando ad effettuare una correlazione tra tutti e tre i parametri presi in considerazione è risultata un valore negativo su tutti quanti; visibile nella Fig.30,31,32 e 33.

	RER	%HR	Watt
Gruppo	$0,86 \pm 0,09$	$54,20 \pm 4,93$	$130,80 \pm 63,60$
Uomini	$0,86 \pm 0,12$	$54,58 \pm 5,24$	$158,28 \pm 71,62$
Donne	$0,87 \pm 0,05$	$56,30 \pm 8,11$	$115,13 \pm 34,49$

Tabella 17 Gruppo Fatmax Media e DS

Cor. RER e HR	-0,18
Cor. RER e Watt	-0,18
Cor. HR e Watt	-0,04

Tabella 18 Correlazione RER/HR, RER/Watt e HR/watt, N=19

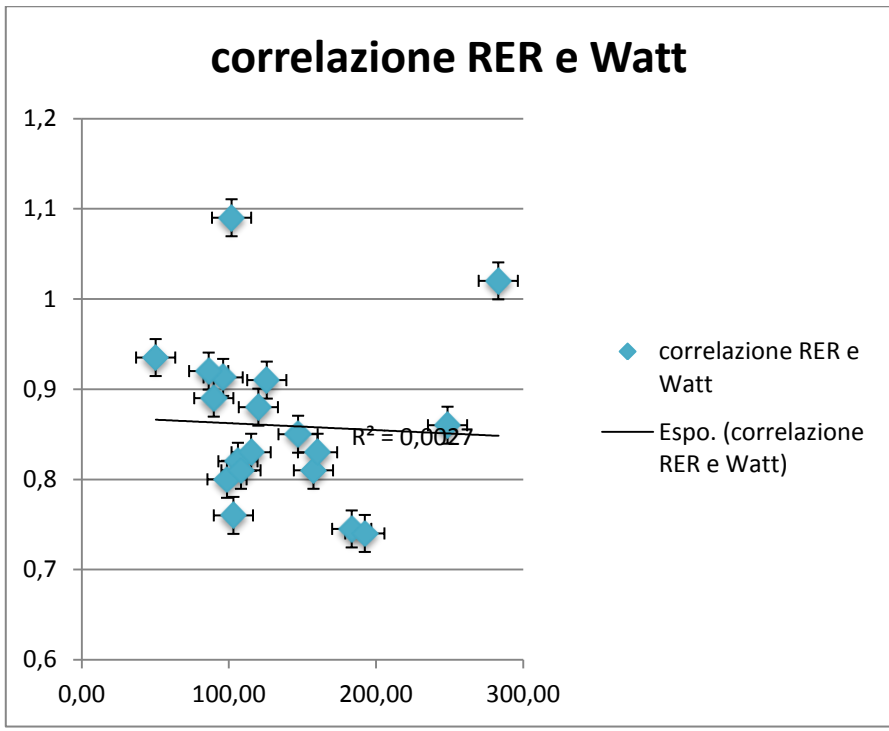


Figura 30 correlazione RER e Watt

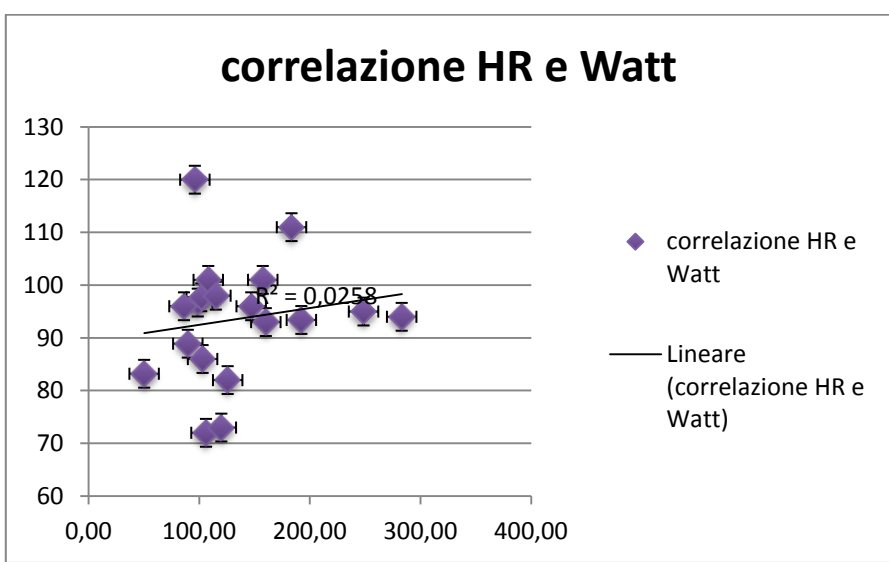


Figura 31 Correlazione HR e Watt

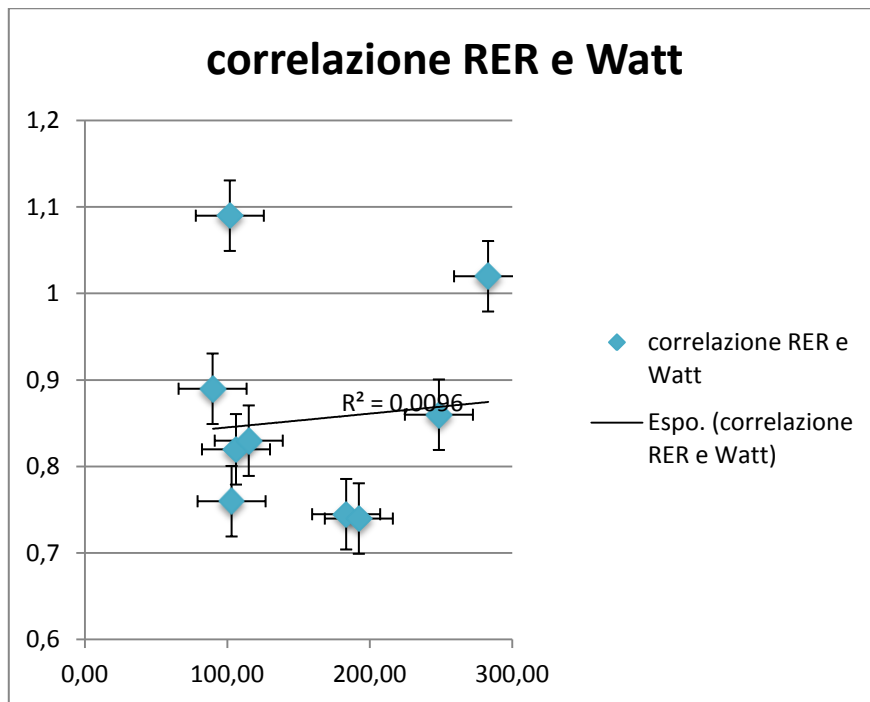


Figura 32 gruppo uomini

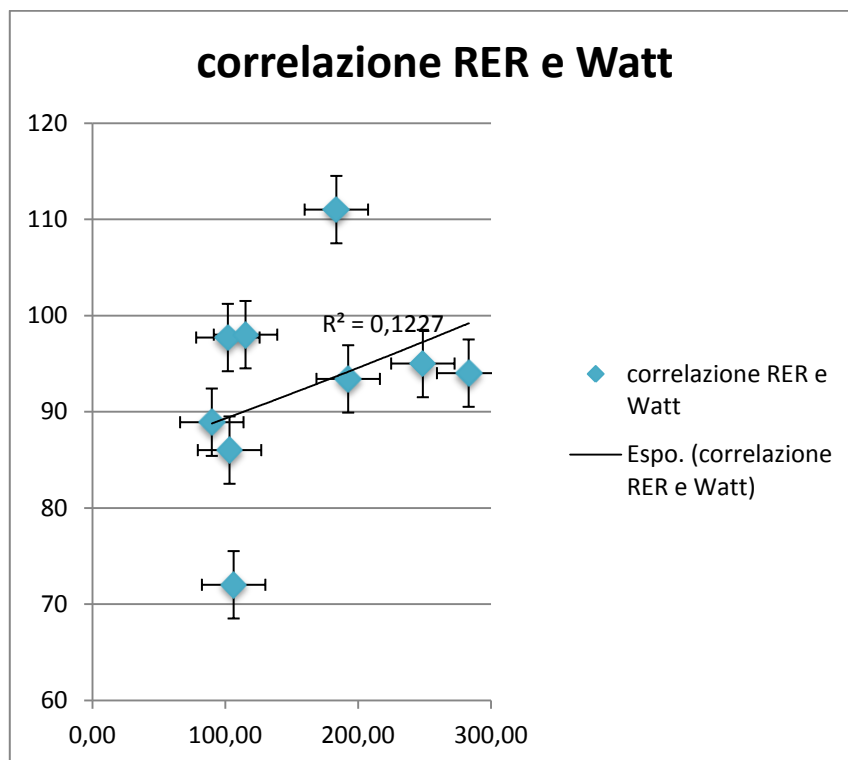


Figura 33 gruppo donne

Comprando i valori medi dei test a carico costante con quelli ottenuti dall'analisi del test incrementale sub massimale con INCA è emersa una variazione del RER $media \pm DS$ di $0,008 \pm 1,92$ e di $-0,216 \pm 1,922$ per la %HR.

Nella Tab.19 sono rappresentati i valori si ogni singolo soggetto nella comparazione tra INCA e il test a carico costante.

Soggetto	dRER	d%FC
1	0,01	2,02924
2	0,005	-0,35829
3	0,005	-0,12424
4	-0,04	-0,33617
5	-0,08	0,445783
6	-0,023	-0,47617
7	0	0,697674
8	-0,02	-0,00233
9	-0,01	-1,11905
10	0,01	0,15
11	0	0,768675
12	0,01	-1,29701
13	-0,01	0,2
14	0	0,8
15	-0,01	0,3
16	0	2,4
17	0,01	-2,7
18	-0,01	1,1
19	0	-6,6
MEDIA	-0,00805	-0,21694

Tabella 19 Δ RER E Δ HR% test carico costante e INCA

Discussione

L'obiettivo dello studio riguarda da una parte lo sviluppo di un nuovo protocollo di lavoro per l'individuazione del FATmax, e dall'altra di un software, INCA, che permetta una stima precisa dello stesso.

Da ciò è nata l'esigenza di progettare un nuovo programma, InCa, in grado di soddisfare maggiormente le esigenze tecniche per rendere ancora più efficace la ricerca sul consumo lipidico, di cui ho descritto dettagliatamente le principali caratteristiche nel paragrafo dedicato ai metodi.

Per quello che riguarda il protocollo di lavoro, invece, possiamo dire che, come descritto sopra, si è scelto di svolgere tre diversi tipi di test al termine dei quali è possibile individuare il valore di FATmax soggettivo che consente di consumare la maggior quantità di grassi possibile in un intervallo di tempo.

Ciò che si può evidenziare maggiormente è che questo tipo di protocollo permette di essere eseguito da qualsiasi tipologia di soggetto, siano essi bambini, anziani o soggetti con problematiche cardio-respiratorie, a differenza di quelli già presenti in letteratura; la differenza sostanziale consiste nel fatto che mentre i test riguardanti l'individuazione del FATmax riportati in articoli già pubblicati prevedono un'esecuzione ad esaurimento, il tipo di test che viene invece qui proposto ha un limite di tempo ben definito (venti minuti) con step già stabiliti che rimangono comunque in una soglia d'intensità medio-bassa.

Il lavoro che è stato svolto va a confermare lo studio riportato da Bordenave et al., in cui veniva messo a confronto un test incrementale con step da 6 minuti con uno in cui gli step venivano modificati ogni 3 minuti; questi studiosi evidenziarono come quest'ultimo test era più adatto a soggetti seguiti in medicina dello sport, piuttosto che in pazienti obesi o diabetici, i quali necessitano di un maggior tempo per ottenere uno stato stazionario nello scambio di gas.

Il test proposto da Bordenave et al. consisteva in quattro step da 6 minuti ciascuno, al 20-30-40-50% del Wmax predetto.

Al termine dell'elaborazione dei dati, i valori dei *crossover points* che vennero riscontrati, risultavano ben correlati tra il metodo dei 3 minuti e quello dei 6 minuti, ma,

analogamente a quanto accaduto per i valori di RER e di percentuale di ossidazione di carboidrati, anch'essi erano caratterizzati da una sottostima da parte del metodo dei 3 minuti, con una sottovalutazione media di 3,29W e massima > 10W.

Inoltre, i valori del Fatmax presentavano anch'essi una buona correlazione tra i due metodi adottati, ma rimaneva pur sempre una sottostima (media 1,88W, massima 8W) utilizzando il protocollo dei 3 minuti rispetto a quello dei 6 minuti.

Questo studio dimostrava che, nonostante ci fosse una buona correlazione dei valori della percentuale di ossidazione dei carboidrati e dei lipidi nel confronto tra i metodi dei 3 e 6 minuti, era presente un'inaccettabile discrepanza in molti dei soggetti sedentari presi in considerazione. Tale aspetto è dovuto al fatto che spesso sono necessari diversi minuti, per un dato carico di lavoro, per ottenere un plateau dello scambio dei gas e il plateau della percentuale di ossidazione dei carboidrati e dei lipidi, come calcolato con l'equazione calorimetrica. In questo studio, basato su una lunga durata di carico di lavoro costante, è stata selezionata la durata di 6 minuti come protocollo di esercizio graduale perché è apparso quello sufficiente ad ottenere il plateau del bilancio dei substrati. La validità di studi pubblicati da Achten *et al.* (2005), dimostra che il protocollo dei 3 minuti di step è comunque una durata sufficiente nei soggetti sani e negli atleti, ma che tale validità è ristretta a questo tipo di popolazioni e non porta a conclusioni circa la validità del metodo dei 3 minuti nei soggetti sedentari.

Infine, bisogna anche considerare che l'ossidazione percentuale dei lipidi misurata al quinto e sesto minuto di ogni step si avvicina all'ossidazione percentuale di lipidi che potrebbe essere osservata dopo 45 minuti di attività, che è la durata ideale di allenamento aerobico raccomandata dalle linee guida; per queste ragioni, si pensa che il metodo dei 6 minuti sia più accurato per stabilire un programma di allenamento nei soggetti sedentari.

Partendo da questo presupposto è stato sviluppato un protocollo con un test incrementale iniziale, svolto sul treadmill, della durata di 20 minuti complessivi, suddivisi in quattro step da 5 minuti ciascuno, ai quali corrisponde un incremento della velocità del cammino di 1 Km/h, partendo da una velocità di 3 Km/h ed arrivando al massimo a 6 Km/h nell'ultimo step.

La scelta di effettuare steps della durata di 5 minuti ciascuno, pur non seguendo ciò che veniva indicato dalla letteratura scientifica, è stata fatta in quanto ciò permette di eseguire l'intero test in minor tempo mantenendo comunque l'attendibilità dei risultati.

Questo tipo di protocollo determina quindi sia la possibilità di svolgere il test in tempi più rapidi, ma anche e soprattutto di avere un minor rischio cardiovascolare e una maggiore tollerabilità per i soggetti che svolgono l'esercizio, rendendo questo procedimento fruibile da un maggior numero di categorie di persone.

Analizzando più approfonditamente i dati che abbiamo rilevato si può notare come essi non si discostino particolarmente da quelli riportati in bibliografia e che l'attendibilità dei valori elaborati dal nuovo software InCa è piuttosto significativa.

Per quanto riguarda il valore della potenza espressa (Watt), si può notare come il valore medio degli uomini ($W=158,28\pm 71,62$) sia superiore a quello delle donne ($W=115,13\pm 34,49$); ciò rientra nei parametri fisiologici considerando che le donne hanno una minor capacità di espletare la forza muscolare per le loro caratteristiche muscolari.

Osservando i dati di ogni singolo soggetto si può notare come il soggetto 3, di sesso femminile, si riscontri un elevato valore del RER nonostante la quantità di watt prodotti sia piuttosto inferiore a quella della media femminile; tale evento indica una minor capacità di utilizzare il metabolismo lipidico prediligendo invece quello glucidico. La causa potrebbe ancora una volta essere riconducibile a fattori ormonali, come l'utilizzo di una terapia sostitutiva.

Analizzando poi la percentuale di frequenza cardiaca, va evidenziato che i valori medi sono simili tra uomini ($\%HR=54,58\pm 5,24$) e donne ($\%HR=57,30\pm 8,11$), inoltre rientrano all'interno dei parametri definiti dalle linee guida (rif.) e, all'interno di questi, risultano essere collocati in una fascia che tende a valori più bassi.

Si può concludere dicendo che sia il test $Fatmax_{work}$ che il software INCA si sono rivelati entrambi precisi e attendibili.

CONCLUSIONE

Da questo elaborato è stato possibile notare l'importanza che il valore di FATmax può avere sia in campi di applicazione riguardanti disturbi dismetabolici, sia in campi riguardanti gli sport, ovvero in quegli atleti di resistenza che possono vedere migliorata la loro performance attraverso una maggior ossidazione lipidica e di conseguenza una miglior capacità di risparmiare glicogeno durante la competizione. Si è poi visto come questo valore sia in relazione più o meno forte con altri parametri che possono aiutare ad individuarlo; quindi sono stati presi in esame le relazioni tra FATmax e intensità di esercizio, soglia ventilatoria e anaerobica, concentrazione di lattato.

È stata evidenziata la difficoltà di determinare però questo parametro, come dimostrato dai numerosi esempi di protocolli e test precedenti di famosi e illustri ricercatori e specialisti in materia; nonostante la massima attenzione ed efficienza, hanno riscontrato problemi a trovare un metodo valido e definitivo che permettesse il calcolo accurato e preciso del FATmax. Questo è da attribuire sia alle notevoli variabilità interindividuali ed intraindividuale presenti all'interno della maggior parte dei gruppi presi in esame.

Concludendo, si vuole sottolineare l'importanza dell'individuazione e della corretta determinazione del FATmax, soprattutto per quanto riguarda l'ambito di alterazioni metaboliche. Infatti, al contrario dell'utilizzo dei singoli indici di FC e VO₂, il massimo consumo lipidico in relazione ad una determinata percentuale di frequenza cardiaca o di consumo di O₂, sostenuto dall'accuratezza di un software in grado di ottenere nella maniera più affidabile possibile questo parametro, permetterebbe di agire con molta più precisione e più efficacia e consentirebbe di ottenere ancora più validi protocolli di allenamento con maggior certezza di successo.

Sulla base di quanto detto, posso ben asserire che l'obiettivo del mio dottorato di ricerca si è focalizzato proprio in questa direzione, attraverso l'ideazione del software INCA e del test FATmax_{work}.

Sarebbe inoltre possibile e opportuno, in futuro, individuare una serie di studi aventi come obiettivo la valutazione degli effetti di nuove metodiche di allenamento (Forza, interval training, ecc..) sul metabolismo lipidico e sul Fatmax, la valutazione del metabolismo lipidico nella fase di recupero, e la valutazione degli effetti sulla composizione corporea.

RINGRAZIAMENTI

Vorrei rivolgere un particolare ringraziamenti al mio relatore che è stato sempre disponibile quando ho avuto bisogno di confrontarmi e chiedere qualche aiuto nello sviluppo dei miei progetti di studio. Inoltre lo ringrazio per avermi messo, per quanto da lui possibile, nelle condizioni ottimali, inteso strumentazione, per poter svolgere le mie ricerche.

Un altro particolare ringraziamento va al Dr. Manners per avermi supportato e affiancato negli ultimi due studi: dalla programmazione del software INCA all'analisi dei dati raccolti nelle varie sperimentazioni.

Un ringraziamento a tutti quelli che hanno permesso lo sviluppo del primo e secondo test:

- Dr. Senaldi, medico dello sport che mi ha affiancato nello svolgimento dei test incrementali del primo studio
- Dr. Mondardini che mi ha aiutato nell'arruolamento dei soggetti nello studio di Massa Lombarda
- Dr. Azzolini che mi ha permesso di sperimentare il software Polimedicus

Ringrazio anche gli studenti che mi hanno supportato nello svolgimento dei vari studi del mio dottorato di ricerca: Davide, Cinzia, Michelangelo, Laura, Fabio e Veronica.

Un ringraziamento anche a tutte le persone che, con pazienza e volontà, hanno partecipato allo studio.

Ultimo, ma non meno importante, un ringraziamento ai miei genitori, il mio ragazzo e i miei amici per avermi accompagnato anche in questo mio percorso di studio.

BIBLIOGRAFIA

1. Achten, J., Gleeson, M. e Jeukendrup, A.E. *Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation*, in *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2002;34(1), pp. 92-97.
2. Achten, J. e Jeukendrup, A.E. *Maximal fat oxidation during exercise in trained men*, in *International Journal of Sports Medicine* 2003; 24, pp. 603-608.
3. Achten, J. e Jeukendrup, A.E. *Optimizing fat oxidation through exercise and diet*, in *Nutrition*, 2004a ; 20(7-8), pp. 716-727.
4. Achten, J. e Jeukendrup, A.E. *Relation between plasma lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities*, in *International Journal of Sports Medicine* 2004b; 25, pp. 32-37.
5. Achten, J., Venables MC e Jeukendrup A.E. *Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities*, in *Metabolism* 2003; 52, pp. 747-752.
6. Achten, J., Venables, M.C. e Jeukendrup, *Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: A cross-sectional study*, in *Journal of Applied Physiology* 2005; 98, pp. 160-167.
7. Astorino, T.A. *Is the ventilatory threshold coincident with submaximal fat oxidation during submaximal exercise in women?*, in *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2000; 40, pp. 209-216.
8. Bircher, S. e Knechtle, B. *Relationship between fat oxidation and lactate threshold in athletes and obese women and men*, in *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2004, 3, pp. 174-181.
9. Bircher, S. e Knechtle, B., Muller, G. e Knecht, H. *Is the highest fat oxidation rate coincident with the anaerobic threshold in obese women and men?*, *European Journal of Sport Science* 2005, 5(2), pp. 79-87.
10. L.N. Vittori, Prof. P. Maietta Latessa, Prof C. Tentoni. *Review: Metabolismo lipidico e FatMax. Analisi attuale e prospettiva di studio*. UNC 07/10
11. Horowitz J., Klein S. *"Lipid metabolism during endurance exercise"* *Am J Clin Nutr* 2000; 72: pp. 558S-563S.
12. Stisen A., Stougaard O., Langfort J. *"Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women"* *Eur J Appl Physiol* 2006; 98: pp. 497-506.

13. Friedlander AL, Casazza GA, Horning MA “*Training-induced alterations of glucose flux in men*” J Appl Physiol 1997; 82: 1360-1369.
14. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, “*Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration.*” Am J Physiol 1993; 265: E380–391.
15. Kanaley JA, Cryer PE, Jensen MD “*Fatty acid kinetic responses to exercise. Effects of obesity, body fat distribution, and energyrestricted diet*” J Clin Invest 1993; 92: 255–61.
16. Martin WH, Dalsky GP, Hurley BF “*Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise*” Am J Physiol 1993;265: E708–14.
17. Hoppeler H, Howald H, Conley K, “*Endurance training in humans: aerobic capacity and structure of skeletal muscle.*” J Appl Physiol 1985; 59: 320–327.
18. Boden G, Lebed B, Schatz M, “*Effects of acute changes of plasma free fatty acids on intramyocellular fat content and insulin resistance in healthy subjects.*” Diabetes 2001; 50: 1612–1617.
19. Van Loon LJC, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D “*The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans*” J Physiol 2001 ; 536: 295–304.
20. Frayn KN, Hodgetts V, Griffiths AJ “*Mobilization and clearance of fat in exercising humans studies by regional venous catheterization*”. In Biochemistry of Exercise IX, ed. Maughan RJ & Shirreffs SM(1996), pp. 73–88. Human Kinetics Publishers, Leeds.
21. Oscai LB, Essig DA, Palmer WK “*Lipase regulation of muscle triglyceride hydrolysis*” J Appl Physiol 1990; 69: 1571–1577.
22. Blaak EE, Van Aggel-Leijssen DPC, Wagenmakers AJM ”*Impaired oxidation of plasma-derived fatty acids in type 2 diabetic subjects during moderate-intensity exercise*” Diabetes 2000; 49: 2105–2107.
23. Watt MJ, Heigenhauser GJ & Spriet LL “*Intramuscular triacylglycerol utilization in human skeletal muscle during exercise: is there a controversy?*” J Appl Physiol Intra 2002; 93: 1185–1195.
24. Roepstorff C, Steffensen CH, Madsen M “*Gender differences in substrate utilization during submaximal exercise in endurance-trained subjects*” (2002). Am J Physiol Endocrinol Metab 2002; 282: E435–447.
25. Kiens B, Richter EA” *Utilization of skeletal muscle triacylglycerol during post-exercise recovery in humans*” Am J Physiol 1998; 38: E332–337.

26. Van Loon LJC, Schrauwen-Hinderling VB, Koopman R, “*Influence of prolonged endurance cycling and recovery diet on intramuscular triglyceride content in trained males*” Am J Physiol Endocrinol Metab 2003; 285: E804–811.
27. Larson-Meyer DE, Newcomer BR & Hunter GR “*Influence of endurance running and recovery diet on intramyocellular lipid content in women: a 1H NMR study*” Am J Physiol 2002; 282: E95–106.
28. Decombaz J, Schmitt B, Ith M, “*Postexercise fat intake repletes intramyocellular lipids but no faster in trained than in sedentary subjects.*” Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 2001; 281: R760–769
29. Van Loon L., Koopman R., Stegen J. “*Intramyocellular lipids form an important substrate source during moderate intensity exercise in endurance-trained males in a fasted state*” J Physiol. 2003; 553.2: pp. 611-625
30. Stellingwerff T., Boon H., Jonkers R. “*Significant intramyocellular lipid use during prolonged cycling in endurance-trained males as assessed by three different methodologies*” Am J Physiol Endocrinol Metab 2007; 292: pp. E1715-E1723.
31. Schrauwen P, Wagenmakers AJM, Van Marken Lichtenbelt WD “*Increase in fat oxidation on a high-fat diet is accompanied by an increase in triglyceride-derived fatty acid oxidation*” Diabetes 2000; 49: 640–646.
32. Center for Disease Control and prevention Web site: Defining overweight and obesity . available from: <http://www.cdc.gov/nccdphp/dnpa/obesity/defining.htm>.
33. Clinical guidelines on the identification , evaluation and treatment of overweight and obesity in adults-the evidence report. Nationla Istitute of Health. Obes Res. 1998; 6(2suppl):2129-41
34. AM Wolf, JE Manson, GA Coldtz. *The economic impact of overweight, obesity and weight loss*. Obesity: Mechanism and Clinical Management. Philadelphia (PA): Lippincott, Williams & Wilkins; 2002 p.6
35. Keitj SW, Redden DT, Katzmarzyk PT at al. *Putative contributors to the secular increase in obesity: exploring the roads less traveled*. Int J Obes 2006; 30(11): 1585-94
36. Lee CG, MC Carr, SJ Murdock et al. *Adipokines, inflammation and visceral adiposity across the menopausal transition: a prospective study*. J Clin Endocrinol Metab 2009; 94(4): 1104-10
37. MP St Onge, P Bjorntorp. *Hormonal Influences on Human Body composition*. In: heymfield, Lohman T, Wang Z, Going S editors. Human Body composition. Champaign (IL): Human Kinetics 2005; 331-40

38. B Sternfield, H Wang, JR CP Quesenberry et al. *Physical activity and changes in weight and waist circumference in midlife woman: finding from the Study of Women's Health Across the Nation*. Am J epidemiol 2004; 160(9):912-22
39. Blair SN, Kampert JB, Kohl HW, 3rd, Barlow CE, Macera CA, Paffenbarger RS, Jr. et al. *Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women*. Jama 1996; 276(3):205-210.
40. Wei M, Kampert JB, Barlow CE, Nichaman MZ, Gibbons LW, Paffenbarger RS, Jr. et al. *Relationship between low cardiorespiratory fitness and mortality in normal-weight, overweight, and obese men*. Jama 1999; 282(16):1547-1553.
41. Darr KC, Bassett DR, Morgan BJ, Thomas DP. *Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise*. The American journal of physiology 1988; 254(2 Pt 2):H340-343.
42. Hagberg JM, Hickson RC, Ehsani AA, Holloszy JO. *Faster adjustment to and recovery from submaximal exercise in the trained state*. J Appl Physiol 1980; 48(2):218-224
43. Agostoni PG, Butler J. 1991. *Cardiopulmonary interaction in exercise*. In: *Exercise, pulmonary physiology and pathophysiology*. Whipp BJ and Wasserman K eds., Dekker, New York, Basel, Hong-Kong: p 221-252
44. Frayn, K.N. *Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange, in Journal of Applied Physiology*, 1983;55: 628-634.
45. Phillard 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.
46. Chenevière et al. *Effect of a 1-hour single bout of moderate-intensity exercise on fat oxidation kinetics*. Metabolism Clinical experimental 2009; 1178:1786
47. Jeffrey F, Horowitz, S Klew. *Lipid metabolism during endurance exercise*. AMJ Clin Nutr 2000; 72, 558S-63S
48. Zakrzewski J, Tolfrey K. *Exercise protocols to estimate Fatmax and maximal fat oxidation in children*. Pediatric Exerc Sci 2011; 23(11): 22-35
49. Zakrzewski J, Tolfrey K. *Comparison of fat oxidation over a range of intensities during treadmill and cycling exercise in children*. Eur J Appl Physiol 2012; 122:163-71
50. Makni E, Moalla W, Trabelsi Y, Lac G et al. *Six-minute walking test predicts maximal fat oxidation in obese children*. Int J Obes (Lond). 2012 Jul;36(7):908-13
51. Bordenave, S., Flavier, S., Fe'dou, C., Brun, J.F. e Mercier, *Exercise calorimetry in sedentary patients: Procedures based on short 3 min steps underestimate carbohydrate*

- oxidation and overestimate lipid oxidation*, J. in *Diabetes and Metabolism*, 2007;33: 379-384.
52. Jeukendrup AE, GA Wallis. *Measurement of Substrate Oxidation During Exercise by Means of Gas Exchange Measurements*. *Int J Sports Med*. 2005. 26(Suppl 1):S28-37
53. Brun J-F, Romain A-J, Mercier J. *Maximal lipid oxidation during exercise (Lipoxmax): From physiological measurements to clinical applications. Facts and uncertainties*. *Science & Sports*. 2011 26:57—71
54. Chenevière X, D Malatesta, EM Peters, and F Borrani. *A Mathematical Model to Describe Fat Oxidation Kinetics during Graded Exercise*. *Med. Sci. Sports Exerc*. 2009. 41(8):1615–1625

(Allegato A)

Data: _____

Cognome Nome : _____

nato/a il _____ a _____

Età: _____

F.C. a riposo: _____

Rischio Cardiovascolare: Alto Rischio Basso Rischio

Condizioni/patologie cardio-
metaboliche: _____

Terapia farmacologica in atto: (in particolare: beta-bloccante, ipoglicemizzante)

Condizioni osteo-muscolo-articolari:

Livello di attività fisica (LTPA = questionario Minnesota study = _____ METs /sett)

Speciali Considerazioni

(Allegato B)

CONSENSO ALL'ESECUZIONE DI UN TEST ERGOMETRICO INCREMENTALE

IO SOTTOSCRITTO, NATO A, IL AUTORIZZO A SOTTOPORMI A TEST ERGOMETRICO INCREMENTALE AL TREADMILL.

SCOPO DEL TEST E' QUELLO DI DETERMINARE IL FAT_{max}(MASSIMO CONSUMO LIPIDICO) PRIMA E DOPO UN PERIODO DI 8 SETTIMANE DI ESERCIZIO FISICO GUIDATO, FINALIZZATO AL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA FISICA E VARIAZIONE DELLA COMPOSIZIONE CORPOREA.

SONO STATO CHIARAMENTE INFORMATO SULLE MODALITA' DI SVOLGIMENTO DEL TEST.

DICHIARO DI NON ESSERE IN CONDIZIONI PATOLOGIE QUALI:

- DIABETE MELLITO DI TIPO 1
- PATOLOGIE ORTOPEDICHE O MENOMAZIONI CHE LIMITANO O OSTACOLANO LA DEAMBULAZIONE
- FIBRILLAZIONE ATRIALE
- ANGINA PECTORIS INSTABILE O INFARTO MIOCARDICO RECENTE,

VERRA' POSTA LA MASSIMA CURA NEL CERCARE DI RIDURRE AL MINIMO OGNI MIO DISTURBO O RISCHIO, E POTRO' CHIEDERE D'INTERROMPERE IL TEST IN QUALSIASI MOMENTO.

AUTORIZZO ALTRESÌ AL TRATTAMENTO DEI DATI RELATIVI AL TEST AI FINI DELLA RICERCA SCIENTIFICA.

DATA _____

FIRMA _____