



Università degli Studi di Ferrara

**DOTTORATO DI RICERCA IN
"SCIENZE BIOMEDICHE ENDOCRINOLOGICHE NEUROFISIOLOGICHE"
CICLO XXIV**

COORDINATORE Prof. Silvano Capitani

**EFFETTO DELL'ALLENAMENTO DELLA MUSCOLATURA RESPIRATORIA SUI
PARAMETRI VENTILATORI E SULLA CAPACITÀ DI ESERCIZIO NEGLI SPORT DI
RESISTENZA**

Settore Scientifico Disciplinare _MED_/_10_

Dottorando
Dott. Enzo Melloni

Tutore
Prof.ssa Annalisa Cogo

Anni 2009/2011

INDICE

1 INTRODUZIONE

- 1.1 Premessa
- 1.2 La meccanica respiratoria
- 1.3 L'inspirazione
- 1.4 L'espiazione
- 1.5 L'inspirazione e l'espiazione forzata
- 1.6 Ventilazione ed esercizio fisico
- 1.7 Allenamento della muscolatura respiratoria
- 1.8 Effetto dell'allenamento della muscolatura respiratoria sull'esercizio fisico

2 METODI

- 2.1 Allenamento muscolatura respiratoria:
- 2.2 Valutazione capacità d'esercizio: test cardiopolmonare
- 2.3 Valutazione funzionalità respiratoria:
- 2.4 Monitoraggio del livello di attività fisica: armband
- 2.5 Valutazione Pattern ventilatorio col metodo della Pletismografia Induttiva (Life Shirt)

3 STUDIO SOGGETTI SPORTIVI (Pattern ventilatorio)

- 3.1 Soggetti
- 3.2 Disegno dello studio
- 3.3 Raccolta e analisi dati
- 3.4 Analisi statistica
- 3.5 Risultati
- 3.6 Conclusioni

4 STUDIO SOGGETTI SPORTIVI (capacità di esercizio e Pattern ventilatorio)

- 4.1 Soggetti
- 4.2 Disegno dello studio
- 4.3 Periodo allenamento
- 4.4 Raccolta e analisi dati
- 4.5 Risultati
- 4.6 Conclusioni

5 STUDIO CON TRIATHLETI

5.1 Soggetti

5.2 Disegno dello studio

5.2.1 valutazione di base

5.2.2 Ciclo introduttivo di allenamento

5.2.3 Valutazione di controllo

5.3 Raccolta e analisi dati

5.4 Gruppo di controllo

5.5 Conclusioni

Bibliografia

1 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Questa tesi presenta il lavoro svolto nei tre anni di dottorato, che aveva come obiettivo la valutazione dell'efficacia del riallenamento della muscolatura respiratoria sulla capacità di esercizio e sul pattern ventilatorio di soggetti sani, attivi con differente impegno sportivo.

Per l'allenamento della muscolatura respiratoria è stato utilizzato il metodo dell'iperpnea-isocapnica con l'uso dello Spirotiger.

Nel primo lavoro sono state analizzate le modificazioni del pattern ventilatorio in 7 soggetti (uomini) durante 2 diversi tipi di esercizio, test incrementale sul treadmill e test con l'incremento della pendenza mantenendo costante la velocità (test Balke).

Nel secondo lavoro abbiamo analizzato le modificazioni e i miglioramenti indotti dall'allenamento dei muscoli respiratori sulla capacità di esercizio di 6 soggetti (donna), paragonate a 6 soggetti (donna) di controllo. Nel terzo lavoro abbiamo analizzato un gruppo di 10 triatleti (uomini) in grado di effettuare test di corsa e test al cicloergometro per vedere in quale disciplina risultasse più efficiente l'allenamento dei muscoli respiratori, quantificando attraverso test Conconi il miglioramento di prestazione.

1.2 Meccanica respiratoria

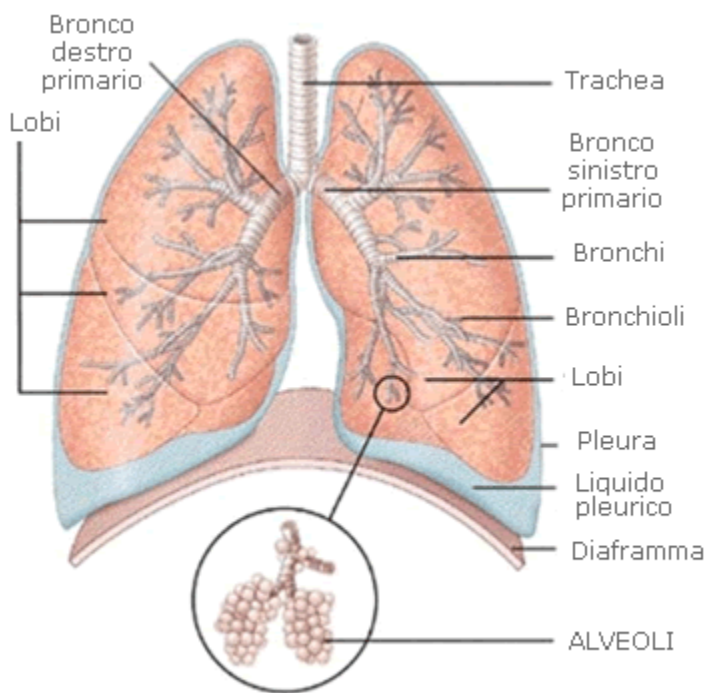
Gli organi principali del nostro sistema respiratorio sono i polmoni ,che si trovano nella cavità toracica. La parete toracica è composta da strutture che proteggono i polmoni quali: la gabbia toracica , lo sterno, le vertebre, i muscoli e i tessuti connettivi associati. I muscoli della parete toracica responsabili della respirazione sono gli intercostali interni ed esterni ,inseriti sulle coste e il diaframma che separa la cavità toracica da quella addominale .L'inspirazione e l'espiazione sono guidate da un gradiente di pressione. Questo fa sì che l'aria si muova dalle zone d'alta pressione a quelle di bassa pressione . L'inspirazione si verifica quando la pressione atmosferica è maggiore di quella alveolare, determinando un gradiente di pressione che fa muovere l'aria all'interno degli alveoli, l'espiazione invece avviene quando la pressione atmosferica è minore di quella alveolare .Questi flussi d'aria determinati dai muscoli della respirazione modificano il volume dei polmoni. La relazione tra la pressione e il volume di un gas segue la legge di Boyle che afferma che a temperatura costante la pressione di un gas all'interno di un contenitore è inversamente proporzionale al volume del contenitore. Per cui se il volume del polmone aumenta , la pressione diminuisce. Quando i polmoni sono a riposo , i muscoli respiratori sono rilassati , gli alveoli contengono un volume d'aria detto capacità funzionale residua e la pressione è pari a quella atmosferica. All'inizio dell'inspirazione i polmoni si espandono in seguito alla contrazione dei muscoli inspiratori. Tale contrazione determina un aumento del volume degli alveoli e quindi una diminuzione della pressione al loro interno : per questo motivo , grazie al gradiente pressorio l'aria viene convogliata nei polmoni. Durante l'espiazione avviene il contrario : il torace ed i polmoni tendono a tornare nella condizione di riposo per cui l'aria fuoriesce dai polmoni in quanto la pressione è maggiore negli alveoli.I cambiamenti di volume degli alveoli avvengono grazie alla variazione di volume nella cavità toracica , per mezzo dei muscoli respiratori.

Polmoni

I polmoni sono i due principali organi della respirazione. Si trovano nella cavità toracica ai lati del cuore ed hanno la capacità di espandersi e rilassarsi seguendo i movimenti della gabbia toracica e del diaframma.

Il polmone destro - più pesante (600 g) - è diviso da profonde scissure in tre lobi (superiore, medio ed inferiore), mentre quello sinistro - meno voluminoso (500 g)- ne possiede soltanto due (un lobo superiore ed uno inferiore).

I polmoni sono costituiti da un tessuto spugnoso ed elastico, che ben si adatta alle variazioni di volume indotte dai movimenti respiratori.

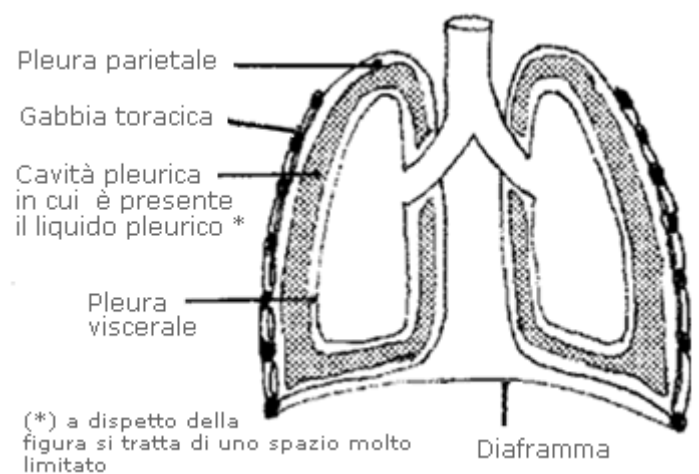


I due polmoni sono separati dal mediastino ed uniti dalla trachea. Il mediastino è una regione compresa fra lo sterno e le vertebre toraciche, al cui interno si trovano vari organi (timo, cuore, trachea, bronchi extrapolmonari, esofago), oltre a vasi, strutture linfatiche e formazioni nervose. La trachea, lunga 10-12 cm per un diametro di 16-18 mm, è un tubo cilindrico semiflessibile sostenuto da anelli cartilaginei. Superiormente sfocia nella laringe, mentre a livello distale, tra la quarta e la quinta vertebra toracica, si biforca in due

bronchi primari, uno di destra ed uno di sinistra. Ciascun bronco primario penetra all'interno del rispettivo polmone, dando origine ad ulteriori, numerose, ramificazioni chiamate bronchioli. A loro volta, i bronchioli subiscono varie divisioni, fino a raggiungere, nel tratto terminale, piccole vescicole chiamate alveoli. Per avere un'idea della complessità di queste diramazioni, basti pensare che ciascun polmone contiene all'incirca 150-200 milioni di alveoli; nel loro insieme, le superfici alveolari raggiungono un'estensione impressionante, simile a quella di un campo da tennis (75 m², cioè circa 40 volte la superficie esterna del nostro corpo). Proprio a livello degli alveoli avviene lo scambio di gas tra l'aria ed il sangue, che cede anidride carbonica, caricandosi di ossigeno. Ciascun alveolo è circondato da centinaia di sottilissimi capillari, il cui diametro

è talmente esiguo (5-6 μm) da permettere il passaggio di un solo globulo rosso, mentre la peculiare sottigliezza delle loro pareti agevola lo scambio e la diffusione dei gas respiratori. La fitta rete capillare è alimentata dai rami dell'arteria polmonare - in cui circola sangue venoso - e drenata da quelli della vena polmonare (in cui scorre il sangue arterioso che distribuirà ossigeno ai vari tessuti). Il flusso sanguigno è legato all'azione del cuore destro, la cui attività è interamente dedicata al sostegno della circolazione polmonare. Per questo motivo la portata sanguigna ai polmoni è percentualmente uguale a quella che raggiunge tutto il resto dell'organismo nello stesso lasso di tempo. Sia che ci si trovi in condizioni di riposo (portata cardiaca 5 L/min), sia che ci si trovi impegnati in un esercizio fisico strenuo (25 L/min), la portata del flusso di sangue ai polmoni sarà sempre pari al 100%. A differenza di quanto avviene nel grande circolo, però, la pressione arteriosa si mantiene a livelli nettamente inferiori, dal momento che la resistenza offerta dal flusso durante la sistole ventricolare destra è molto bassa (grazie all'elevata area di sezione delle arteriole polmonari e alla minore lunghezza dei vasi). La sottile membrana che delimita le pareti alveolari conferisce ai polmoni il caratteristico aspetto spugnoso. Mentre trachea e bronchi sono sostenuti da cartilagine ialina, nelle pareti dei bronchioli è presente tessuto muscolare liscio (involontario); di conseguenza, i bronchioli hanno la capacità di aumentare o diminuire il proprio calibro in risposta a stimoli di varia natura. Durante uno sforzo fisico, ad esempio, i bronchioli si dilatano per consentire una migliore ossigenazione del sangue in risposta all'aumento della CO_2 nell'aria espirata, mentre tendono a costringersi con il freddo. Un'eccessiva broncocostrizione in risposta ad agenti di varia natura (inquinamento ambientale, esercizio fisico, eccessiva produzione di muco, infiammazione, fattori emozionali, allergie ecc.) sta alla base di varie patologie polmonari, come l'asma o la BPCO.

Le sottili pareti alveolari sono prive di tessuto muscolare; di conseguenza, il polmone non può contrarsi, ma è obbligato a seguire passivamente le variazioni di volume della cassa toracica. La presenza di numerose fibre elastiche nel connettivo interposto tra una cellula e l'altra garantisce comunque un certo grado di elasticità e resistenza al movimento. Mentre gli alveoli sono deputati allo scambio di gas respiratori, i bronchi e le vie aeree superiori (naso, faringe, laringe e trachea)



assolvono diverse funzioni, che vanno ben oltre il semplice trasporto. Tali attività hanno lo scopo di proteggere l'intero organismo da materiali estranei e gli alveoli da flussi di aria troppo freddi o secchi; l'attività filtrante e condizionante è più efficace se la respirazione avviene con il naso anziché con la bocca.

A livello macroscopico, i polmoni appaiono tappezzati da uno speciale rivestimento chiamato pleura. Si tratta di una membrana sierosa costituita da due foglietti; quello parietale riveste internamente la cavità toracica e la faccia superiore del diaframma, mentre quello più interno (viscerale) aderisce alla parete polmonare esterna. Tra i due foglietti si trova un sottilissimo spazio, denominato cavo pleurico, al cui interno scorre un sottile film liquido a pressione inferiore rispetto a quella ambientale. La presenza del liquido pleurico, un po' come una sottile pellicola d'acqua interposta tra due lastre di vetro, consente lo scorrimento dei due foglietti pleurici e li mantiene uniti ed "incollati" tra loro. Grazie a questo legame i polmoni si mantengono leggermente stirati anche durante l'espiazione e non possono collassare su se stessi. Infine, cosa importantissima, l'adesione della pleura alla gabbia toracica e al diaframma permette il trasferimento dei movimenti respiratori ai polmoni. Quando la pleura si infiamma (pleurite) le superfici di contatto dei due foglietti perdono la caratteristica scorrevolezza e l'atto respiratorio dà origine ad una frizione dolorosa. Se per un qualche motivo (traumatico, spontaneo o terapeutico) penetra aria nella cavità pleurica, si perde l'adesione tra il polmone e le pareti toraciche interne; per la presenza di tessuto elastico, il polmone si retrae, riducendo notevolmente il suo volume e causando dispnea; questa condizione è detta pneumotorace.

Il volume dei polmoni varia da individuo ad individuo, in relazione all'età, al sesso e alla taglia corporea. Nell'adulto raggiunge valori compresi tra i 3,5 ed i 7 litri; tuttavia, durante un normale atto respiratorio vengono scambiati soltanto 500/600 ml di aria, che possono arrivare a 2,5 - 5,5 litri (capacità vitale) massimizzando le fasi di inspirazione ed espirazione.

Al termine di un'espiazione massimale, all'interno dei polmoni e delle vie aeree rimane comunque un certo volume d'aria, stimabile in 1000 - 1200 ml (il cosiddetto volume residuo).

Il monitoraggio di questi parametri ventilatori ha un'enorme importanza in ambito clinico e sportivo (vedi spirometria). Oltre ad un aumento del volume di aria inspirata ed espirata, durante l'esercizio fisico si assiste ad un'accelerazione degli atti respiratori, che passano da 12-20 al minuto sino a 60 o più. La capacità di incrementare la frequenza ventilatoria è

maggiore negli allenati rispetto ai sedentari e, ancor più, agli obesi, mentre la capacità vitale è influenzata soprattutto da fattori genetici e costituzionali.

1.3 Inspirazione

La possibilità di respirare avviene grazie alla posizione inclinata delle coste, posizione che permette loro di essere sollevate, quindi di consentire l'espansione della gabbia toracica durante l'inspirazione o viceversa abbassate durante l'espirazione. Il movimento involontario delle coste avviene grazie all'azione dei muscoli respiratori (processo attivo) . Complessi meccanismi nervosi , situati nei centri vegetativi bulbari e alveolari , regolano il ritmo respiratorio in funzione della ottimale presenza o meno nel sangue di anidride carbonica e ossigeno .Il processo inspiratorio ha inizio con la stimolazione nervosa dei muscoli inspiratori .I muscoli scheletrici vengono stimolati a contrarsi dal rilascio di acetilcolina da parte dei motoneuroni della giunzione neuromuscolare. Il diaframma ed i muscoli intercostali esterni sono i principali muscoli inspiratori. La contrazione del diaframma determina un aumento del diametro verticale della gabbia toracica attraverso il suo appiattimento e abbassamento mentre ,allo stesso tempo, la contrazione dei muscoli intercostali esterni fa aumentare il diametro antero- posteriore e trasverso ,facendo ruotare le costole verso l'alto e verso l'esterno, espandendo la parete toracica. Queste azioni combinate aumentano il volume della gabbia toracica .Quando i polmoni si espandono ,la pressione negli alveoli scende sotto il livello della pressione atmosferica, quindi l'aria fluisce negli alveoli come flusso di volume e continua a fluire finchè la pressione negli alveoli non raggiunge il livello della pressione atmosferica.

1.4 Espirazione

L'espirazione , invece , è in gran parte un processo passivo, in quanto non richiede una contrazione muscolare. Semplicemente ,al termine dell'inspirazione , i muscoli respiratori si rilassano in modo che le pareti toracica e polmonare ritornino alla loro posizione. In questa fase della respirazione diminuiscono i diametri antero –posteriore e trasverso del torace grazie al rilasciamento dei muscoli intercostali esterni che spostano le coste e lo sterno in basso e in dentro.

Nel contempo diminuisce il diametro verticale grazie al diaframma che si rilancia sollevandosi. Ritornando in posizione , il volume dei polmoni diminuisce, determinando un

valore di pressione alveolare maggiore di quella atmosferica. L'aria quindi fluisce verso l'esterno.

1.5 Inspirazione ed espirazione forzata

A differenza di tutti gli altri processi essenziali per la vita , la respirazione è un'attività semi – automatica e semi – volontaria : normalmente avviene senza la partecipazione cosciente ed in modo autonomo , ma si può intervenire con una azione cosciente per modificarne il ritmo e la profondità. Essa attraverso la ventilazione forzata, può essere esaltata ulteriormente reclutando volontariamente altri muscoli. In questa fase di iperventilazione viene evidenziato maggiormente anche il lavoro degli intercostali interni ed esterni, aiutati comunque da altri gruppi muscolari indicati nella tabella sottostante. Durante l'impegno ventilatorio le scapole sono stabilizzate dai muscoli trapezio, romboidei ed elevatore della scapola ; il piccolo pettorale ed il dentato anteriore sollevano le coste; gli arti superiori possono essere stabilizzati attraverso l'impiego del grande pettorale.

1.6 Ventilazione ed esercizio fisico

Il polmone ha un ruolo primario nella capacità di svolgere esercizio fisico. Infatti l'apparato respiratorio costituisce , insieme a quello cardiovascolare e a quello scheletrico, il sistema integrato che consente l'esecuzione dell'esercizio. Il ruolo dell'apparato respiratorio è sostanzialmente quello di provvedere all'approvvigionamento e diffusione dell'ossigeno e all'eliminazione dell'anidride carbonica .Durante un esercizio fisico di tipo massimale , l'aumento delle richieste metaboliche, in particolare di ossigeno , da parte dei gruppi muscolari coinvolti nello sforzo può essere considerevole: in soggetti sani non allenati il consumo di ossigeno può aumentare di circa 10 volte rispetto al valore misurato in condizioni di riposo , e in soggetti allenati ed in atleti può aumentare di altre 20 volte. L'aumento della richiesta di ossigeno da parte dei muscoli scheletrici porta a un incremento progressivo della ventilazione. Questo incremento nel soggetto sano è ottenuto inizialmente con un aumento della profondità degli atti respiratori(quindi volume corrente), in seguito anche alla frequenza respiratoria. Un soggetto sano durante respirazione tranquilla (a livello di volume corrente a riposo) ha un'ampia riserva ventilatoria ; inoltre la possibilità e la capacità di incrementare l'attività della muscolatura

respiratoria (sia inspiratoria che espiratoria) consente anche l'incremento della frequenza respiratoria .La funzionalità dell'apparato respiratorio può essere studiata in diversi modi, tra cui la Spirometria. È noto che i dati spirometrici non sono correlati con la capacità d'esercizio e non possono quindi prevederla⁽¹⁾. La capacità ventilatoria durante esercizio va quindi analizzata in maniera specifica.

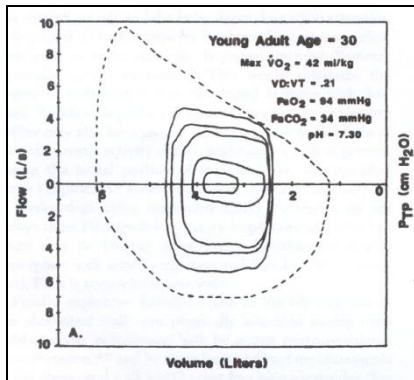


Figura 1: *Curva Flusso-Volume, tipica risposta all'esercizio in un giovane adulto.*

L'utilità della spirometria, ed in particolare della curva d'espirazione forzata (o curva flusso-volume) [Fig. 1] è quella di fornire informazioni sulla massima capacità, per quel determinato soggetto, di produrre flussi e volumi; questi valori costituiscono quindi il limite oltre il quale quel soggetto non potrà andare nel corso dell'iperventilazione indotta dall'esercizio.

La ventilazione non può aumentare in maniera indefinita. La massima ventilazione che un soggetto può produrre si definisce massima ventilazione volontaria (MVV); in dettaglio si chiede al soggetto di ventilare alla massima intensità per 12 secondi .Un soggetto sano durante esercizio non raggiunge mai la massima capacità ventilatoria ; infatti generalmente l'esercizio viene interrotto per esaurimento muscolare o per il raggiungimento della massima frequenza cardiaca. Al termine dell'esercizio è quindi possibile evidenziare la riserva ventilatoria . Questa è determinata dalla differenza tra la massima ventilazione predetta e la massima ventilazione raggiunta durante un esercizio massimale; la massima ventilazione predetta si ottiene o direttamente attraverso la manovra della massima ventilazione volontaria (MVV) o indirettamente moltiplicando il VEMS per 0.35-0.40.

Generalmente si afferma che quando la riserva ventilatoria è di almeno 15 L/min, l'apparato ventilatorio non è l'elemento limitante l'esercizio fisico .Un'altra analisi importante quando si esamina la ventilazione durante un esercizio è quella del pattern respiratorio, cioè l'analisi della prevalenza di frequenza respiratoria e o volume corrente e dei movimenti del comparto toracico e di quello addominale e della loro coordinazione. Maggiore è la coordinazione toraco addominale ,maggiore è l'efficienza ventilatoria ; anche una respirazione di profonda e lenta risulta di una migliore efficienza respiratoria.

1.7 Allenamento muscolatura respiratoria

Da circa 15 anni , alcuni gruppi di ricerca hanno cominciato a verificare se l'affaticamento della muscolatura respiratoria possa essere un fattore limitante l'esercizio .Questo affaticamento, in particolare del diaframma, si verifica per esercizi sostenuti ad intensità >80% del VO2MAX. Questo sarebbe dovuto al fatto che durante un esercizio intenso e protratto si ha una redistribuzione della portata cardiaca con incremento del flusso agli arti, il che priverebbe il diaframma di un adeguato flusso di sangue proprio nel momento in cui le sue richieste metaboliche sono molto elevate. L'affaticamento della muscolatura respiratoria, a sua volta, incide negativamente sulla capacità di svolgere attività fisica. In alcuni studi si è analizzato l'effetto dell'applicazione della ventilazione meccanica non invasiva(= alleggerimento del lavoro del muscolo respiratorio) o dell'applicazione di una resistenza (= intensificazione del lavoro del muscolo respiratorio) sulla capacità di esercizio. I risultati hanno evidenziato che la percezione della fatica respiratoria e degli arti inferiori si riduce significativamente nel primo caso,mentre viceversa accade nel secondo. Contemporaneamente si ha un incremento o un decremento della capacità di sostenere un esercizio fisico sub massimale. Gli effetti del lavoro dei muscoli respiratori, quindi , sono in stretta correlazione con l'effetto negativo della fatica dei muscoli respiratori sulla performance. Alcuni studi hanno inoltre dimostrato che l'aumento della richiesta di sangue e di ossigeno da parte dei muscoli respiratori provoca una vasocostrizione periferica con conseguente riduzione del flusso ematico agli arti inferiori .In un articolo recentemente pubblicato è stato presentato uno studio in cui è stata misurata , con degli elettrodi intraneurali , l'attività muscolare simpatica del nervo peroneale in un gruppo di soggetti durante respiro contro resistenza,che induce affaticamento del diaframma.

Durante questo tipo di respiro si è verificato un aumento dell'attività simpatica del nervo, con effetto vasocostrittore, che è però risultato indipendente dal centro motore del respiro, indicando quindi un origine riflessa. Inoltre, la natura temporale della risposta era caratteristica di un chemoriflesso del muscolo, piuttosto che di un mecano riflesso stimolato tramite sviluppo della forza. Un altro articolo rappresenta un'estensione critica di questo lavoro, stabilendo che questo riflesso presunto del muscolo respiratorio ha la capacità, almeno in circostanze di riposo, di ridurre significativamente il flusso arterioso della muscolatura periferica e la funzione vascolare. Quindi , insieme alle osservazioni precedenti,il contributo attuale sembrerebbe fornire la prova dell'esistenza di un riflesso metabolico di vasocostrizione,partenza dei muscoli respiratori che può modulare il flusso arterioso della muscolatura periferica tramite uno stimolo dei neuroni vasocostrittori del

sistema nervoso simpatico .Con tutta probabilità, questo riflesso può avere come obiettivo fondamentale la “protezione “ dell’apporto di ossigeno ai muscoli respiratori, assicurandone così la capacità di mantenere la ventilazione e di conseguenza la regolazione adeguata dei gas e del PH del sangue arterioso e l’omeostasi generale dell’organismo .Da queste osservazioni è nato un ulteriore tema di ricerca con l’obiettivo di verificare l’eventuale effetto positivo di un riallenamento della muscolatura respiratoria sulla capacità di sostenere un esercizio fisico.

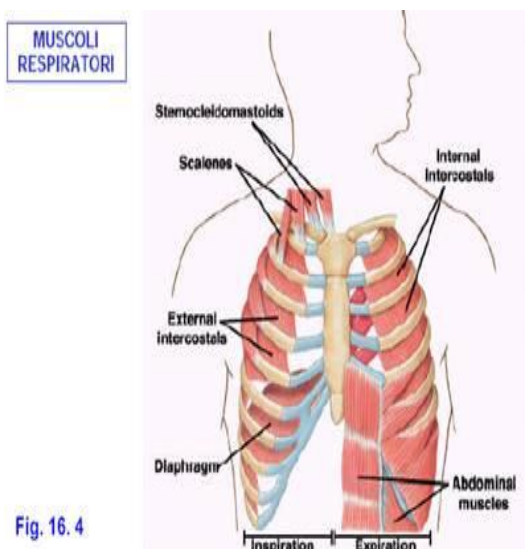


FIGURA 2 I muscoli della respirazione.

1.8 Effetto dell’allenamento della muscolatura respiratoria sull’esercizio fisico

Alcuni ricercatori hanno ipotizzato che l’allenamento della muscolatura respiratoria possa attenuare la percezione della fatica muscolare sia respiratoria che periferica e migliorare la capacità di esercizio.

L’allenamento della muscolatura respiratoria prevede l’incremento del lavoro o in termini di resistenza o in termini di ventilazione. Mentre la prima modalità, ottenuta lavorando contro una resistenza, ha effetti limitati sull’efficienza della muscolatura respiratoria, la seconda modalità può dar luogo , se non opportunamente condotta, al corredo sintomatico dovuto all’ipocapnia indotta dall’iperventilazione .Un gruppo di ricercatori svizzeri , quindi , ha messo a punto uno strumento in grado di allenare la muscolatura respiratoria senza sovraccaricare l’apparato muscolare scheletrico e l’apparato cardiocircolatorio, utilizzando la metodologia dell’iperpnea isocapnica

2 METODI

2.1 Allenamento muscolatura respiratoria: SPIROTIGER

Per tutto questo studio ci siamo avvalsi dello Spirotiger quale strumento per effettuare gli allenamenti dei muscoli respiratori nei nostri soggetti.

Descrizione ed utilizzo dello strumento

Lo Spirotiger è uno strumento che permette un allenamento intenso e specifico della muscolatura respiratoria, senza sovraccaricare il sistema cardiovascolare e l'apparato locomotore.

Spirotiger[®] è un apparecchio nato nei laboratori di fisiologia del Politecnico di Zurigo ad opera del Prof. Urs Boutellier a seguito dei suoi studi per l'allenamento finalizzato e specifico dei muscoli respiratori in uno stato di iperpernea-isocapnica.

. Spirotiger è l'unico apparecchio che permette di allenare in modo mirato e specifico i muscoli respiratori in uno stato di iperpernea-isocapnica.

La novità rispetto a tutti gli altri mezzi e alle metodologie di allenamento della muscolatura respiratoria è la possibilità di realizzare l'iperpernea isocapnica .

Per spiegare il significato di questo termine ricorriamo ad un esempio.

Pensiamo a ciò che succede a livello respiratorio in seguito ad uno sforzo muscolare particolarmente intenso o protratto nel tempo:

frequenza e profondità del respiro vengono aumentate compiendo atti respiratori più profondi e più rapidi perché il nostro organismo richiede un maggior apporto di ossigeno.

Se invece noi volessimo incrementare frequenza e profondità del respiro senza che questo sia effettivamente necessario, cioè senza il compimento di alcun lavoro muscolare, il risultato sarebbe una ventilazione maggiore rispetto a quella effettivamente richiesta dall'organismo in quel momento.

L'iperventilazione genera nell'organismo una pericolosa alterazione del rapporto ossigeno-anidride carbonica sbilanciandone la proporzione a favore dell'ossigeno (iperossia) a scapito dell'anidride carbonica (ipocapnia).

Le sensazioni conseguenti vanno dalle parestesie, alle vertigini, alla nausea.

Nell'allenamento della muscolatura respiratoria attraverso *Spirotiger* è possibile compiere atti respiratori profondi e veloci senza incorrere nell'ipocapnia e ciò grazie alla possibilità data dallo strumento di realizzare l'isocapnia cioè di non alterare il fisiologico rapporto ossigeno/anidride carbonica.



Foto 1
Spirotiger

Il modello utilizzato è stato realizzato e sperimentato dal comitato Scientifico di Euro Medical Sport Center EMSC.

L'apparecchio è composto da una manopola portatile munita di sacca per il riciclo di aria e da una valvola che, gravitando in un campo magnetico e variando la sua posizione in relazione ai flussi di aria in entrata e in uscita (cioè in inspirazione e in espirazione) effettua un monitoraggio di questi ultimi. I dati forniti dallo spostamento della valvola vengono inviati ad un software che, anche in base a valori precedentemente impostati come il volume della sacca, controlla e comunica all'utilizzatore l'effettiva realizzazione dell'isocapnia, fornendo contemporaneamente indicazioni per il suo raggiungimento (respiro più o meno profondo, ritmo più o meno veloce) ed interrompendo l'allenamento nel caso un numero di respirazioni superiore risultati al di fuori dei giusti parametri.

Una base elettronica infine registra ogni singolo allenamento.

1. La tecnologia usata nella unità centrale, la valvola elettronica prevengono l'ipocapnia realizzando quindi l'iperpnea isocapnica;
2. Gli obiettivi vengono inseriti nel computer e vengono monitorati la frequenza respiratoria e il volume corrente;
3. Il display fornisce all'occorrenza messaggi all'utente come ad es. " respira lentamente " e un istogramma a barra indica la profondità della respirazione;
4. La frequenza della respirazione è accompagnata da un segnale visivo che si sposta orizzontalmente e da segnali sonori;
5. In caso non si esegua la frequenza ideale di allenamento (ovvero la "fuoriuscita dai limiti di sicuro allenamento ") lo apparecchio avverte l'utente tramite segnali acustici e visivi;
6. I dati raccolti durante la sessione di allenamento vengono memorizzati nel computer (fino ad un massimo di 20 sedute allenanti)per poi essere eventualmente trascritti nel manuale di allenamento

2.2 Valutazione capacità di esercizio: TEST CARDIOPOLMONARE

Questo tipo di test prevede l'esecuzione di una prova da sforzo incrementale di tipo massimale al cicloergometro o treadmill.

E' utilizzata un'apparecchiatura [Quark B²] per la valutazione della funzionalità cardio-respiratoria su base respiro per respiro, in particolare per l'analisi degli scambi gassosi intrapolmonari. Questo apparecchio è dotato di analizzatori di Ossigeno collegati ad un flussometro digitale a turbina [Foto 2], che viene direttamente collegato a sua volta alla maschera facciale bocca/naso. Lo spazio morto ridotto all'essenziale elimina la possibilità di re-inspirare parte dell'espirsto e due valvole ad una via riducono la resistenza inspiratoria e consentono la rimozione dell'umidità. Infine il Software è in grado di integrare i dati provenienti dalle apparecchiature esterne.



Foto 2 Flussometro digitale a turbina

2.3 Valutazione funzionalità respiratoria: SPIROMETRIA

La spirometria è il test più comune per valutare la funzionalità polmonare. Si tratta di uno strumento diagnostico particolarmente efficace e diffuso in quanto standardizzato, non invasivo, facilmente riproducibile e oggettivo. La spirometria è utilizzata nella diagnosi e nella valutazione della funzionalità respiratoria sia in soggetti sani che in soggetti con patologie. Durante l'esame ci si avvale di un particolare strumento chiamato spirometro in grado di misurare volumi e flussi polmonari mobilizzati dal paziente. Lo spirometro è generalmente connesso ad un computer che trasforma il segnale in valori numerici e immagini grafiche. Nel nostro caso specifico è stata eseguita la spirometria forzata o curva flusso volume con la quale si misura la Capacità Vitale Forzata, ossia il volume totale di aria espulsa con un'espirazione forzata partendo da un'inspirazione completa.

Su questa curva vengono poi misurati altri parametri quali VEMS o FEV1, cioè Volume Espirato Massimo nel primo secondo.

Misura della forza dei muscoli respiratori

Per valutare la forza dei muscoli respiratori è stata misurata la MIP Massima Pressione Inspiratoria, ottenuta facendo inspirare i soggetti contro una via aerea occlusa mantenendo la inspirazione massimale per almeno 1,5 secondi

Massima ventilazione volontaria

La Massima Ventilazione Volontaria (MVV) si misura invitando il paziente a respirare con la massima profondità e frequenza possibili per 12 secondi.

Le prove di funzionalità respiratoria sono state effettuate tramite apparecchiatura [Quark B²] tranne che per la misurazione della massima pressione inspiratoria per la quale è stata utilizzata l'apparecchiatura [Micro Rpm Carefusion].

2.4 Monitoraggio livello di attività fisica: ARMBAND

Il SenseWear Armband è un monitor multi-sensore, indossabile a "fascia" sul tricipite posteriore in posizione tale da non disturbare il monitoraggio durante le normali attività anche per giorni interi. Inoltre, permette un campionamento continuo di variabili fisiologiche e dati di attività fisica, determina e presenta dati relativi a dispendio energetico/calorie consumate (EE

= Energy expenditure) livelli di attività, stati di sonno e veglia ed altri parametri, calcolati grazie ad un esclusivo e brevettato algoritmo.

La fascia “ArmBand” può acquisire dati per un periodo che va da un minuto a due settimane e può archivarli in memoria per poi poterli scaricare su PC; in questo studio è stato utilizzato il software di base “Innerview Wearer” tramite il quale sono stati impostati altezza, peso, età e sesso del soggetto al fine di calcolarne la spesa energetica

Per l'accensione è sufficiente indossare la fascia, per lo spegnimento è sufficiente toglierla. Quando la fascia viene tolta per attività come doccia, bagno o altro, la registrazione viene interrotta fino a quando non viene re-indossata, l'orologio interno tiene conto del periodo in cui la fascia viene tolta e nel referto finale questo periodo viene chiaramente mostrato sul grafico e i calcoli vengono corretti di conseguenza. Attraverso 4 sensori posti nella parte inferiore della piastra, Armband misura direttamente 4 parametri fisiologici (foto 3).

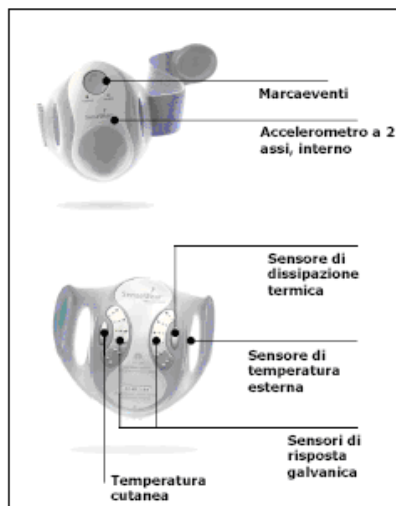


Foto 3: sensewear Armband.

Questo strumento è in grado di acquisire i seguenti parametri fisiologici con misure dirette ed indirette:

Misure dirette: Temperatura cutanea, Dissipazione termica dal corpo (t° cutanea- t° esterna), Risposta galvanica della pelle (GSR) o conduttività elettrica tra due punti della pelle, Accelerazione (Movimento)

Misure derivate: Spesa Energetica Totale (calorie bruciate), Durata dell'attività fisica (periodi con METS>2,5), Spesa Energetica in attività (periodi con METS>2,5), Numero dei passi, Posizione del corpo: in piedi o sdraiata, Frammentazione e durata del sonno.

2.5 Valutazione del pattern ventilatorio col metodo della PLETISMOGRAFIA INDUTTIVA (LIFE SHIRT).

Il LifeShirt System è composto dalla maglietta LifeShirt, dal registratore e dal software di analisi e resoconto "VivoLogic®". Questo sistema di monitoraggio misura continuamente oltre 30 parametri fisiologici durante tutte le attività giornaliere o durante il sonno. Dopo la rielaborazione dei dati attraverso specifici algoritmi, il sistema integra gli input soggettivi del paziente da un diario digitale portatile (PDA). I risultati possono essere visti con una alta risoluzione tutti assieme o facendone un riassunto, riportando i picchi e le medie dei vari valori⁽²⁶⁾.

- **MAGLIETTA LIFESHIRT:** si tratta di una maglietta leggera, nella quale vengono fissati dei sensori e degli elettrodi, disposti attorno all'addome e al torace del paziente allo scopo di misurare la funzione respiratoria. Un singolo canale ECG misura la frequenza cardiaca, mentre tre assi accelerometrici annotano la postura ed il livello di attività del paziente.

Calibrazione

Dopo aver indossato la maglietta, sistemato tutte le varie componenti del diario digitale e aver assestato tutti i dispositivi periferici opzionali, viene effettuata la calibrazione utilizzando uno stringi naso e il sacchetto della calibrazione di volume noto. Per realizzare questa operazione il soggetto viene fatto sedere e gli viene chiesto di eseguire sette respiri completi (inspirazione ed espirazione) all'interno del boccaglio, ad ogni respiro il sacchetto di calibrazione dovrà essere svuotato e riempito. Questa manovra viene svolta per quattro volte, alternando la posizione seduta a quella in piedi. La raccolta dati è facilitata dal diario digitale che segue ogni operazione e ne determina i tempi. I vari passaggi compaiono nello schermo dal momento dell'accensione dello strumento fino all'avvenuta calibrazione. Questa operazione serve a determinare il contributo della gabbia toracica (RC) rispetto a quello dell'addome (AB) in quanto questo varia da soggetto a soggetto.

Poiché il sacchetto di calibrazione ha un volume fisso noto, ciascun respiro con cui viene riempito il sacchetto vuoto ha il medesimo volume; il contributo della RC e dell' AB al volume corrente varia leggermente per ciascun respiro e tale parametro varia ulteriormente quando il soggetto cambia posizione. In questo modo, lo strumento, potrà rapportare il volume di aria respirato dal soggetto nel sacchetto di calibrazione con la distensione delle bande elastiche durante la calibrazione. La taratura con il metodo dei

minimi quadrati consente di fissare con maggiore precisione il guadagno per RC e AB in modo da ottenere un volume in ml.

Parametri respiratori tenuti in considerazione

☞ RC = escursione della gabbia toracica

E' il movimento di espansione della gabbia toracica, dovuto allo spostamento delle coste e dei muscoli respiratori. L'escursione di questa, durante la respirazione, forma un'onda RC e sarà questa che verrà studiata e analizzata. I valori RC vengono convertiti in valore percentuale rispetto all'onda formata in seguito alla fase di taratura.

☞ AB = Escursione parete addominale

E' il movimento di espansione dell'addome dovuto soprattutto all'innalzamento del diaframma. Anche con la respirazione viene formata un'onda che poi verrà trasformata in dati e correlata con quella RC.

☞ Vent= Volume ventilatorio al minuto

E' la quantità di aria che entra ed esce dal sistema respiratorio in un minuto.

Questo indice respiratorio si può trovare moltiplicando la frequenza respiratoria per la profondità del respiro (volume corrente). L'aumento della ventilazione avviene sia per l'aumento della frequenza degli atti respiratori sia per l'aumento della profondità del respiro. Tutto questo si può notare con l'incremento dell'intensità dell'esercizio fisico. La ventilazione calcolata al minuto è un indice di efficienza dei muscoli respiratori⁽²⁷⁾.

☞ %RC= Percentuale del contributo della gabbia toracica

La percentuale di contributo della gabbia toracica (%RC) viene calcolata rispetto al volume corrente e si ottiene dividendo l'ampiezza di RC per la somma algebrica di RC + AB al punto di picco del volume corrente inspiratorio e viene tracciata sulla base di ogni singolo respiro.

☞ PhAng = Angolo di Fase

L'Angolo di Fase (Φ) misura il rapporto di sincronia tra l'escursione della gabbia toracica e quella dell'addome. Viene calcolato in base all'analisi delle curve di Lissajous e delle escursioni della gabbia toracica e dell'addome, note anche come curve di Konno-Mead, sulla base di ogni singolo respiro. Quando la RC e l'addome si muovono in perfetta sincronia l'angolo di fase è nullo, $\Phi=0^\circ$. Quando la sincronia viene a mancare, l'angolo di fase inizierà ad aumentare sino ad arrivare a 180° momento in cui il torace e l'addome sono completamente fuori fase.

☞ HR= Frequenza cardiaca

La frequenza cardiaca viene definita come numero di contrazioni (battiti) del cuore nell'unità di tempo; viene espressa in battiti per minuto. E' un parametro facile da misurare che si adatta allo sforzo che stiamo compiendo.

La frequenza cardiaca aumenta nel corso del lavoro muscolare in quanto riflette uno stato eccitatorio del sistema nervoso centrale, in quanto si ha un aumento dell'attività ortosimpatica. Con l'allenamento i battiti a riposo tendono ad abbassarsi.

☞ Sat O₂ = Saturazione dell'ossigeno

Questo parametro viene misurato con il pulsossimetro, un sistema a raggi infrarossi che legge la quantità di ossigeno che è legata all'emoglobina nel sangue.



Foto 4 computer life shirt

3 STUDIO SOGGETTI SPORTIVI (pattern ventilatorio)

Questo studio si è proposto di valutare l'applicabilità di un programma di allenamento della muscolatura respiratoria secondo la metodologia dell'iperpnea-isocapnica, ed il suo effetto sulla capacità di sostenere un esercizio fisico e sulla modificazione del pattern ventilatorio in giovani atleti. In un precedente studio, infatti, avevamo valutato le modificazioni del pattern ventilatorio mediante l'utilizzo del LifeShirt System degli stessi soggetti durante due diversi test incrementali, uno che prevedeva l'incremento della velocità a pendenza costante (Test Conconi) ed uno che prevedeva, invece, l'incremento della pendenza mantenendo costante la velocità (Test di Balke). I risultati dimostravano una differenza tra i due test per quanto riguarda la coordinazione toraco-addominale. Infatti questa si riduceva all'aumentare della pendenza, quindi solo nel Test di Balke; avevamo, quindi concluso che la presenza della pendenza sembrava essere il fattore critico che riduceva la coordinazione toraco-addominale durante un esercizio fisico. L'ipotesi formulata era la modificazione della postura: i soggetti cercavano di contrastare l'incremento della pendenza spostando il loro baricentro in avanti. Attraverso questo nuovo studio, quindi, abbiamo voluto verificare se l'allenamento della muscolatura respiratoria potesse incidere sul pattern ventilatorio, ed in particolare sulla riduzione della coordinazione toraco-addominale.

3.1 Soggetti

Sono stati studiati 7 soggetti di sesso maschile allenati, reclutati all'interno del Corso di Laurea in Scienze Motorie.

I dati anagrafici e antropometrici sono riportati in [Tab. 1].

Numero	Sesso	Età (anni)	Peso(Kg)	Altezza(cm)	BMI(Kg/m ²)
1	M	24	74	182	22,3
2	M	22	73	186	21,1
3	M	24	63	173	21
4	M	23	72	177	22,9
5	M	23	70	180	21,6
6	M	21	68	187	19,4
7	M	22	67	172	22,6
MEDIA		22,7 ± 1,1	69,6 ± 3,9	179,6 ± 5,9	21,5 ± 1,2

Tabella 1: *Caratteristiche antropometriche dei 7 soggetti.*

3.2 Disegno dello studio

I 7 soggetti sono stati sottoposti a prove di funzionalità respiratoria e valutazione funzionale durante esercizio massimale, prima e dopo il periodo di allenamento con Spirotiger.

Lo studio è stato quindi suddiviso in quattro fasi:

1. Valutazione di base (T₀)
2. Propedeutica all'allenamento (T_A)
3. Periodo di allenamento (T_B)
4. Valutazione di controllo (T₁)

Valutazione di Base (T₀) e Controllo (T₁)

Prove di Funzionalità Respiratoria

Le prove di Funzionalità Respiratoria sono state svolte utilizzando lo Spirometro portatile SpiroJet (Ganshorn Medizin Electronic), per valutare i parametri di VCin (Capacità Vitale Inspiratoria lenta), IRV (Volume di Riserva Inspiratorio), ERV (Volume di Riserva

Espiratorio), VT (Volume Corrente), FVCex (Capacità Vitale Espiratoria Forzata), FEV1 (Volume Espiratorio nel primo secondo), FEV1/VCmax (Indice di Tiffenau), MEF25 (Massimo Flusso Espiratorio al 25% della VC), MEF50 (Massimo Flusso Espiratorio al 50% della VC forzata), MEF75 (Massimo Flusso Espiratorio al 75% della VC), PEF (Picco di Flusso Espiratorio), PIF (Picco di Flusso Inspiratorio); inoltre è stata effettuata la manovra della Massima Ventilazione Volontaria [MVV (L/min)].

Test da sforzo

Sulla base dell'esperienza precedentemente descritta, i soggetti sono stati sottoposti solo al Test di Balke.

Test di Balke



È una prova da sforzo incrementale, con incrementi di pendenza a velocità costante. Nel dettaglio, dopo un adeguato riscaldamento di 5 minuti, i soggetti hanno eseguito la prova ad una velocità costante di 5,3 Km/h sul treadmill [Foto 2], partendo da una pendenza pari allo 0% con incrementi dell'1% ogni minuto, fino ad arrivare all'esaurimento. Siccome i soggetti, arrivati alla pendenza massima raggiungibile con il tappeto (25%), non erano ancora giunti all'esaurimento, è stato necessario incrementare la velocità di 0,2 Km/h ogni minuto.

Foto 1: *Test di Balke*

Monitoraggio

Propedeutica all'allenamento (T_A)

- *Spiegazione dello Studio:* ai 7 soggetti sono stati spiegati obiettivo e modalità dello studio e ne è stata richiesta la disponibilità;
- *Valutazione Test Spirometrici di base:* dopo aver preso visione dei referti spirometrici, è stato calcolato per ogni soggetto il volume della sacca da utilizzare, pari al 60% della Capacità Vitale, e la progressione della frequenza respiratoria, con incrementi gradualmente durante la prima settimana da 28 a 36 atti al minuto, per arrivare a mantenere quest'ultima per le restanti tre settimane di allenamento;

- *Familiarizzazione con lo strumento e norme igieniche:* ai 7 soggetti è stato mostrato il montaggio dei vari componenti dello strumento e le procedure da seguire dopo l'accensione; inoltre sono state spiegate loro le norme igieniche da seguire nella pulizia della sacca e dei vari componenti dello strumento;
- *Sedute di apprendimento con supervisione e verifica della sacca e della frequenza più adatta:* i soggetti sono stati sottoposti ad alcune sedute di apprendimento al fine di verificare se la sacca e le frequenze scelte fossero appropriate;
- *Controllo a una settimana e inizio periodo di allenamento:* dopo una settimana di allenamento, i 7 soggetti sono stati riconvocati ed è stato chiesto loro di effettuare una seduta di allenamento supervisionata per correggere eventuali errori nell'utilizzo o per rispondere ad eventuali dubbi emersi durante le prime sedute.

Periodo di allenamento (T_B)

I soggetti hanno effettuato 4 sedute di allenamento alla settimana da 20 minuti ciascuna. Ad ogni soggetto è stato consegnato un diario dove annotare l'allenamento effettuato.

3.3 Raccolta e Analisi dei Dati

Test spirometrico

I valori delle prove di funzionalità respiratoria a T₀ e T₁ sono stati tabulati e messi a confronto.

Test di valutazione dell'esercizio

- Life Shirt System e Analizzatore Quark B²

Per rendere possibile il confronto fra le diverse prove di valutazione dell'esercizio, i dati sono stati raccolti con un campionamento respiro per respiro e valutati minuto per minuto.

Per quanto riguarda l'utilizzo del LifeShirt System sono stati analizzati 20 respiri per ogni minuto trascorso. I criteri per selezionare quelli accettabili, quindi privi di artefatti, sono stati i seguenti: V_t stabile senza sovrapposizione tra le curve inspiratorie ed espiratorie, inizio della fase inspiratoria ed espiratoria simile e presenza di picchi respiratori evidenti nel tracciato.

- *Valutazione della Soglia Anaerobica con il Metodo V Slope*

Questo metodo valuta l'andamento di VCO_2 e la sua relazione con il VO_2 . Al di sotto della soglia anaerobica esiste una relazione lineare fra VCO_2 e VO_2 mentre, superata la soglia anaerobica, l'incremento della lattacidemia produce un'addizionale VCO_2 con conseguente variazione della pendenza della relazione VCO_2/VO_2 .

Il metodo V Slope richiede il campionamento "respiro per respiro", la trasformazione dei dati e la loro rielaborazione mediante calcoli matematici. La pendenza della relazione VCO_2/VO_2 , prima della soglia anaerobica è uguale a 1 e corrisponde ad una retta, linea di identità, parallela all'ipotenusa di un triangolo isoscele, che ha come lati il VO_2 , asse x, e la parallela dell'asse di VCO_2 , come y: raggiunta la soglia anaerobica, la relazione VCO_2/VO_2 si discosta dalla linea di identità ed il VO_2 corrispondente al punto di flessione rappresenta il valore alla soglia anaerobica ventilatoria.

- *Calcolo della potenza erogata (Watt) durante esercizio*

Per sincronizzare i dati raccolti, è stata utilizzata una formula di conversione per ottenere i Watt erogati durante il test di Balke (Fig. 1).

$$\frac{[VEL (m/min)] \times \sin \alpha \times Peso (Kg)}{6,12}$$

Figura 1: *Formula di conversione*

Questa formula prevede l'inserimento della velocità, espressa in metri al minuto, dell'angolo di inclinazione del Treadmill ($\sin \alpha$) e del peso corporeo di ciascun soggetto, espresso in Kg.

Per ricavare l'angolo α è stata utilizzata una tabella di conversione, poiché il Treadmill utilizzato per lo studio esprimeva la pendenza in percentuale. [Tab. 3]

	Grado centesimale (°)	Sen (°)
0		
2	1,27	0,0221
3	1,909	0,0333
4	2,545	0,0444
5	3,18	0,0554
6	3,815	0,0665
7	4,449	0,0770
8	5,082	0,0880
9	5,714	0,0995
10	6,345	0,1100
11	6,974	0,1210
12	7,603	0,1323
13	8,229	0,1431
14	8,855	0,1539
15	9,478	0,1640
16	10,1	0,1753
17	10,72	0,1860
18	11,337	0,1965
19	11,953	0,2071
20	12,566	0,2175
21	13,177	0,2279
22	13,786	0,2380
23	14,391	0,2480
24	14,995	0,2580
25	15,5958	0,2688

Tabella 3: *Tabella di conversione*

3.5 Analisi Statistica

1. I parametri delle prove di funzionalità respiratoria osservati all'inizio (T_0) e dopo l'allenamento (T_1) sono stati confrontati attraverso il Test di Student per dati appaiati. Un valore di $p < 0,05$ è stato considerato significativo.
2. I dati raccolti durante il test da sforzo sono stati analizzati nell'intervallo tra il 20 e l'80% dello sforzo. I valori dei parametri funzionali, a T_0 e T_1 , sono stati analizzati utilizzando ANOVA Two-Way Test per la significatività all'interno di due gruppi e la correzione Bonferroni quando appropriato. Per l'elaborazione statistica è stato utilizzato il software GraphPad Prism 4.0 per Windows.

3. I valori medi dei coefficienti angolari relativi alle equazioni delle rette dell'andamento del VO₂/mL/Kg rispetto all'incremento dei Watt sono stati confrontati attraverso il Test di Student per dati appaiati. Un valore di $p < 0,05$ è stato considerato significativo.

3.6 Risultati

Un soggetto non è stato valutato perché aveva drasticamente ridotto gli allenamenti personali prima di effettuare il test a T₁, non rispettando il trend del protocollo, quindi i risultati sono relativi solo a 6 soggetti. Sono presentati i risultati relativi alle medie dei valori ottenuti nelle fasi a T₀ e a T₁.

Test spirometrico

- Nei valori spirometrici [Tab. 4] non si sono avute differenze significative per nessuno dei parametri esaminati, anche se per il VT e la MVV c'è un trend di miglioramento. Per quanto riguarda la MVV, dobbiamo segnalare che per problemi tecnici ci mancano i dati relativi a 2 soggetti e l'analisi è relativa solo a 4.

Variabili	PRE MEDIA ± DEV. ST	POST MEDIA ± DEV. ST	TEST T (p<0,05)
VCin (L)	4,84 ± 0,6	5,11 ± 0,9	0,21
IRV (L)	2,35 ± 0,9	2,24 ± 0,3	0,38
ERV (L)	1,85 ± 0,7	2 ± 0,6	0,42
VT (L)	0,87 ± 0,1	1,04 ± 0,2	0,07
FVCex (L)	5,15 ± 0,7	5,14 ± 0,7	0,35
FEV1 (L)	4,53 ± 0,6	4,50 ± 0,6	0,29
FEV1/VCmax (%)	88 ± 5	87 ± 8	0,24
MEF25 (L/s)	3,03 ± 0,8	2,94 ± 1,1	0,40
MEF50 (L/s)	6,03 ± 1,4	5,78 ± 1,8	0,32
MEF75 (L/s)	8,9 ± 1,2	9,15 ± 1,7	0,37
PEF (L/s)	10,19 ± 1,2	10,78 ± 1,8	0,10
PIF (L/s)	6,10 ± 2,3	7,12 ± 2,3	0,14
MVV (L/min)	172 ± 32	201 ± 35	0,07

Tabella 4: Valori spirometrici

Test di Balke

- Velocità (mph*10)
 - Confronto fra le velocità raggiunte nei Test a T_0 e a T_1 : significativo.

	T_0	T_1
1	59	57
2	65	67
3	55	57
4	53	59
5	61	67
6	53	59
MEDIA	57,7	61
DEV. ST	4,8	4,7
TEST T	0,03	

Tabella 5: Velocità raggiunte a T_0 e a T_1

- Capacità di esercizio
 - Equivalenti ventilatori per l' O_2 e la CO_2 (VE/VO_2 , VE/VCO_2): non significativi [Grafici 1 e 2].

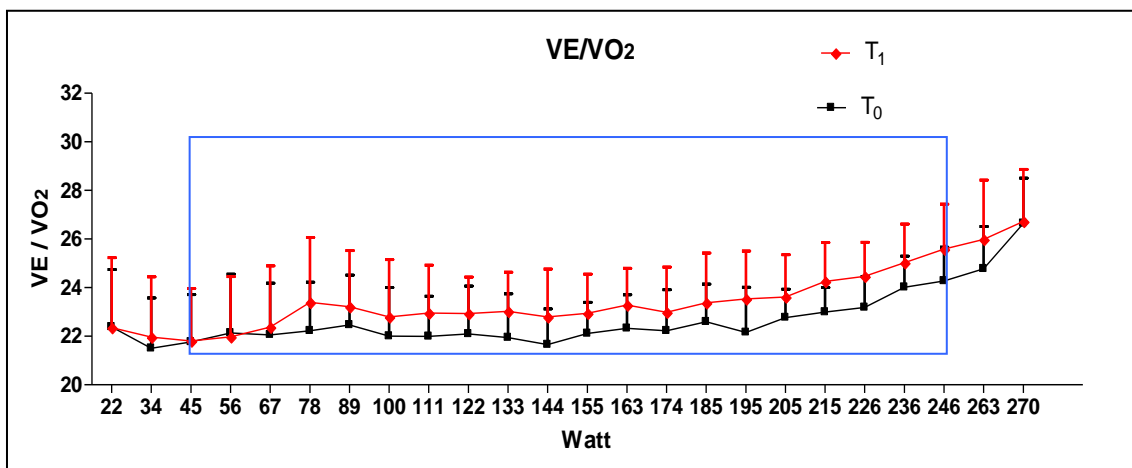


Grafico 1: Andamento dell'indice VE/VO_2 in funzione dei Watt erogati

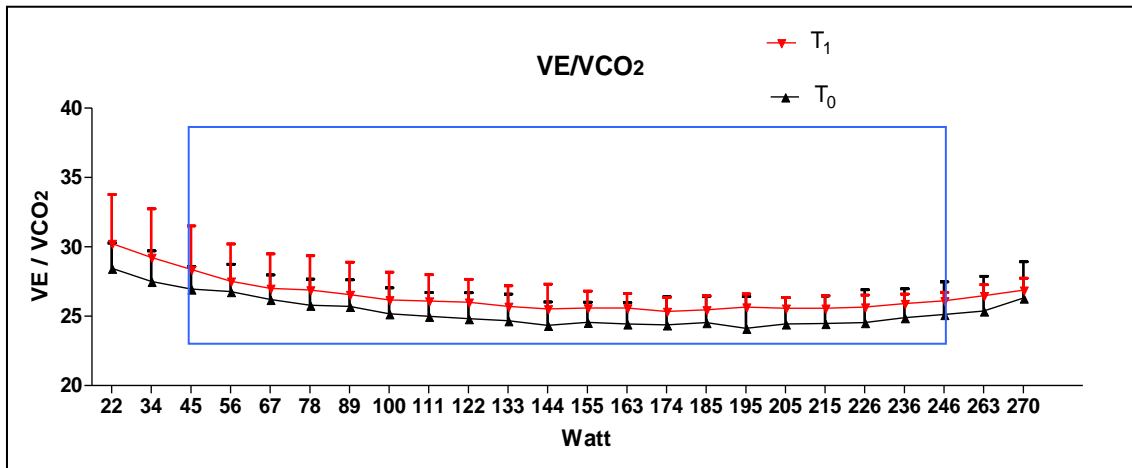


Grafico 2: Andamento dell'indice VE/VCO_2 in funzione dei Watt erogati

- Andamento del VO_2 (mL/min/Kg) rispetto all'incremento dei Watt per ogni soggetto, utilizzando le equazioni delle rette $Y = by + ax$ a T_0 e T_1 : significativo; nell'esempio sottostante si può vedere come la retta corrispondente al test a T_1 sia spostata verso il basso, il che sta a significare che questo soggetto, nel test a T_1 a parità di carico, ha compiuto uno sforzo minore [Grafico 3].

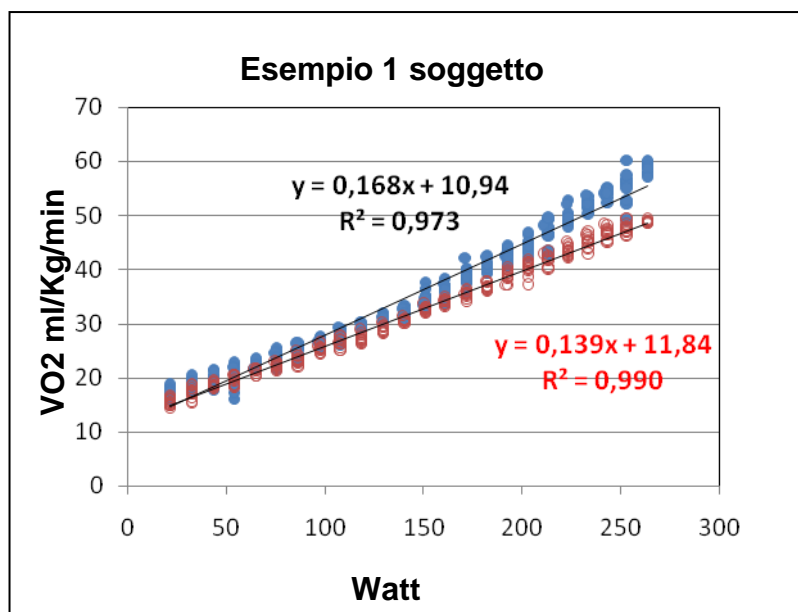


Grafico 3: Andamento del VO_2 rispetto all'incremento dei Watt erogati in uno dei soggetti testati

Successivamente abbiamo estrapolato i coefficienti angolari [Grafico 4].

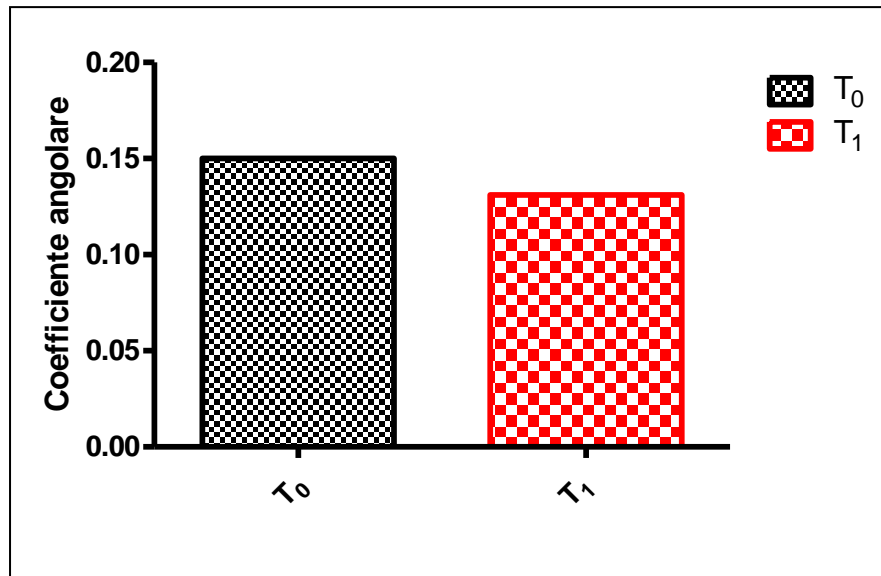


Grafico 4: *Medie dei coefficienti angolari*

- Dopo aver valutato i soggetti individualmente, siamo passati all'analisi globale dei valori di VO_2 /mL/Kg/min ottenuti: significativa [Grafico 5].

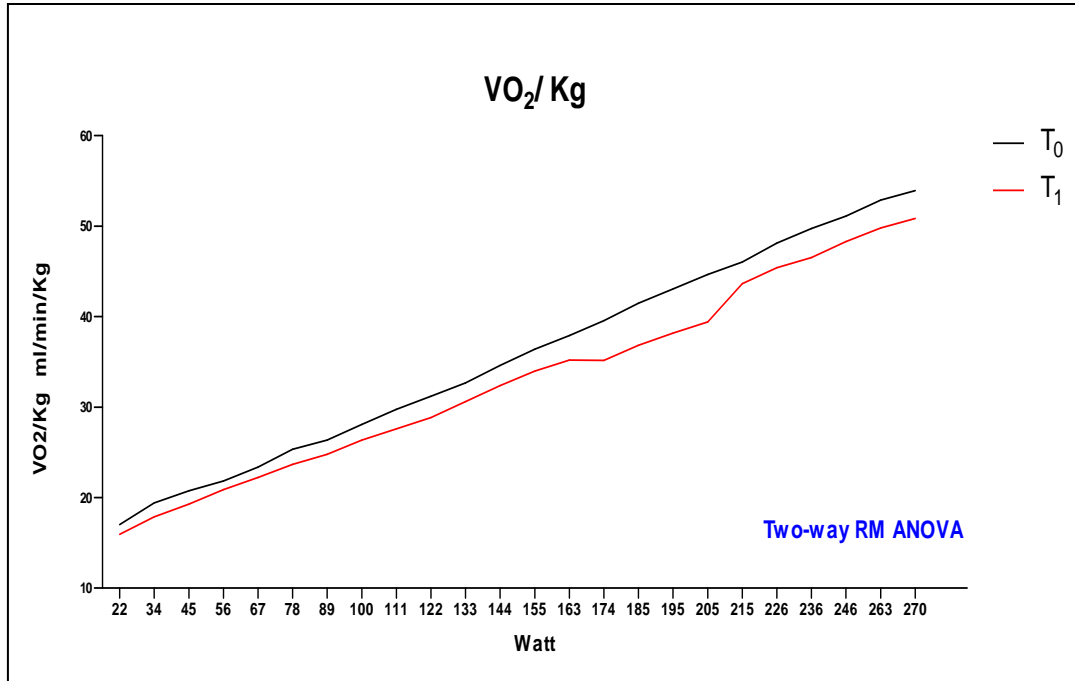


Grafico 5: Andamento del VO₂ (mL/Kg/min) in funzione dei Watt erogati

- Soglia anaerobica
 - Monitoraggio dei parametri ventilatori alla soglia anaerobica,: Vt e VE non significativi; [Grafico 6].

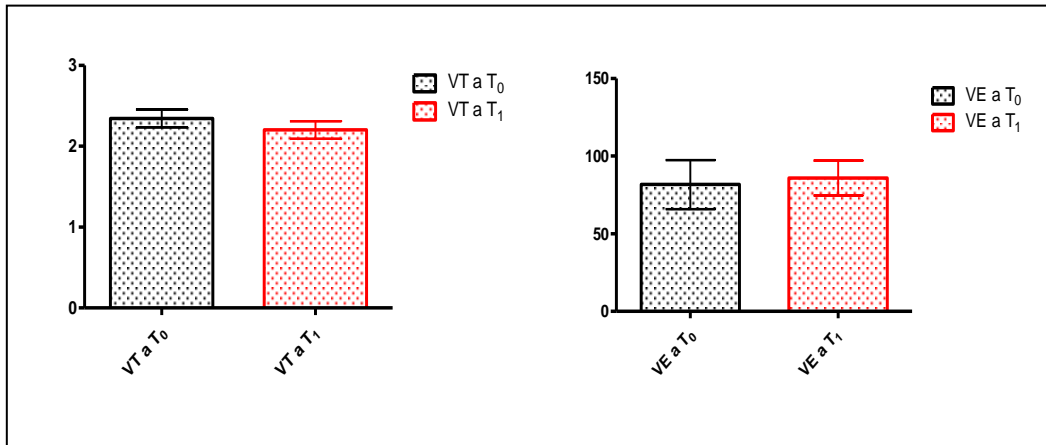


Grafico 6: Andamento del Vt e della VE alla Soglia Anaerobica

- Risposta metabolica (VO₂max, VCO₂max ed equivalenti ventilatori VE/VO₂ e VE/CO₂) alla Soglia Anaerobica: non significativa [Grafico 7].

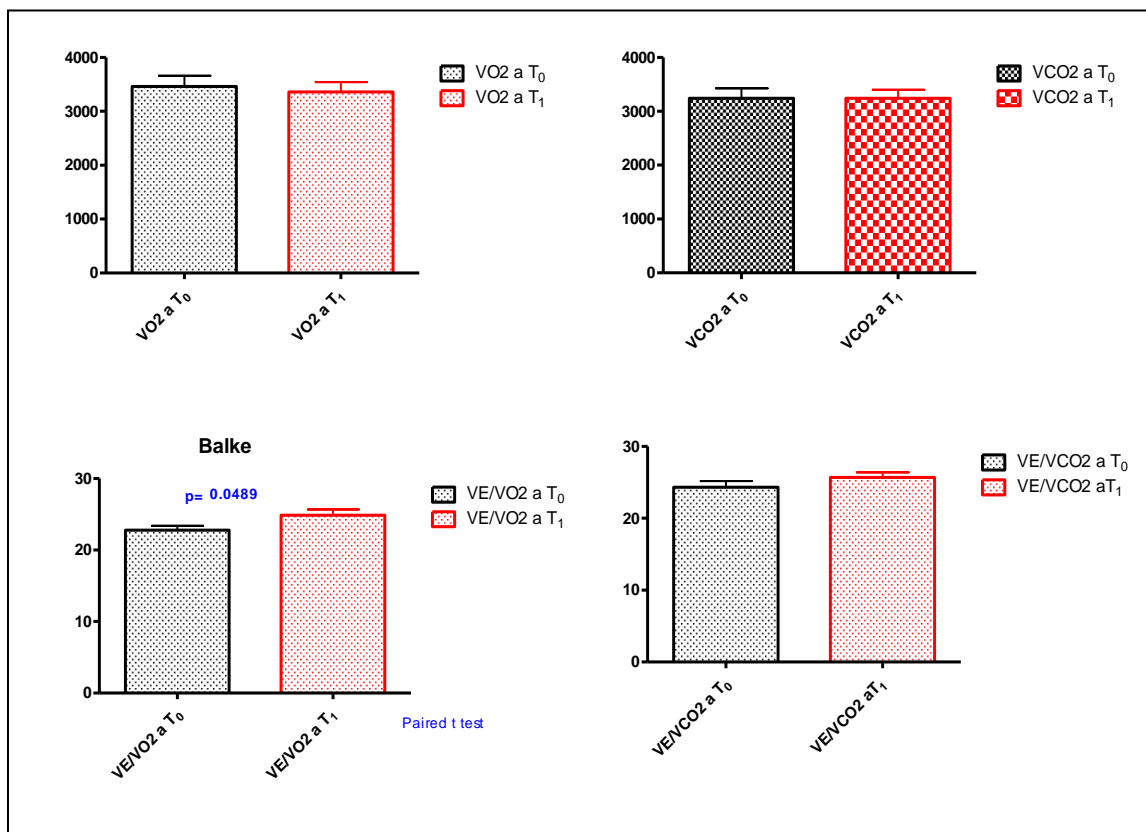


Grafico 7: Andamento di VO_2max , VCO_2max , VE/VO_2 e VE/VCO_2 alla Soglia Anaerobica

- FCmax e Watt alla Soglia Anaerobica: non significativi [Grafici 8 e 9].

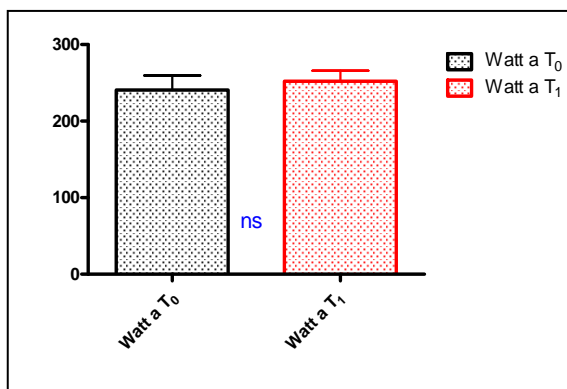
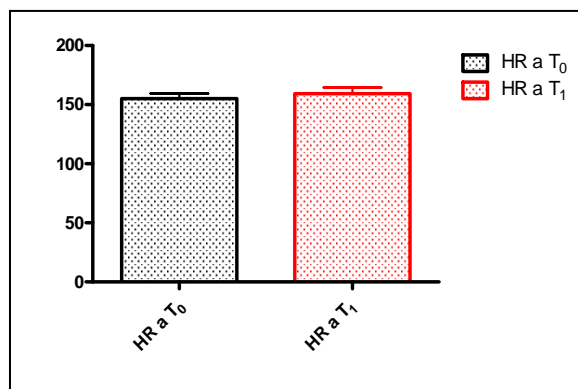


Grafico 8: Andamento della FCmax

Grafico 9: Andamento dei Watt

Analisi Ventilazione durante esercizio

- Confronto fra il monitoraggio del pattern respiratorio a T_0 e a T_1 : Ventilazione (L/min), Volume Corrente (L) e Frequenza Respiratoria (Resp/min) non significativi [Grafico 10].

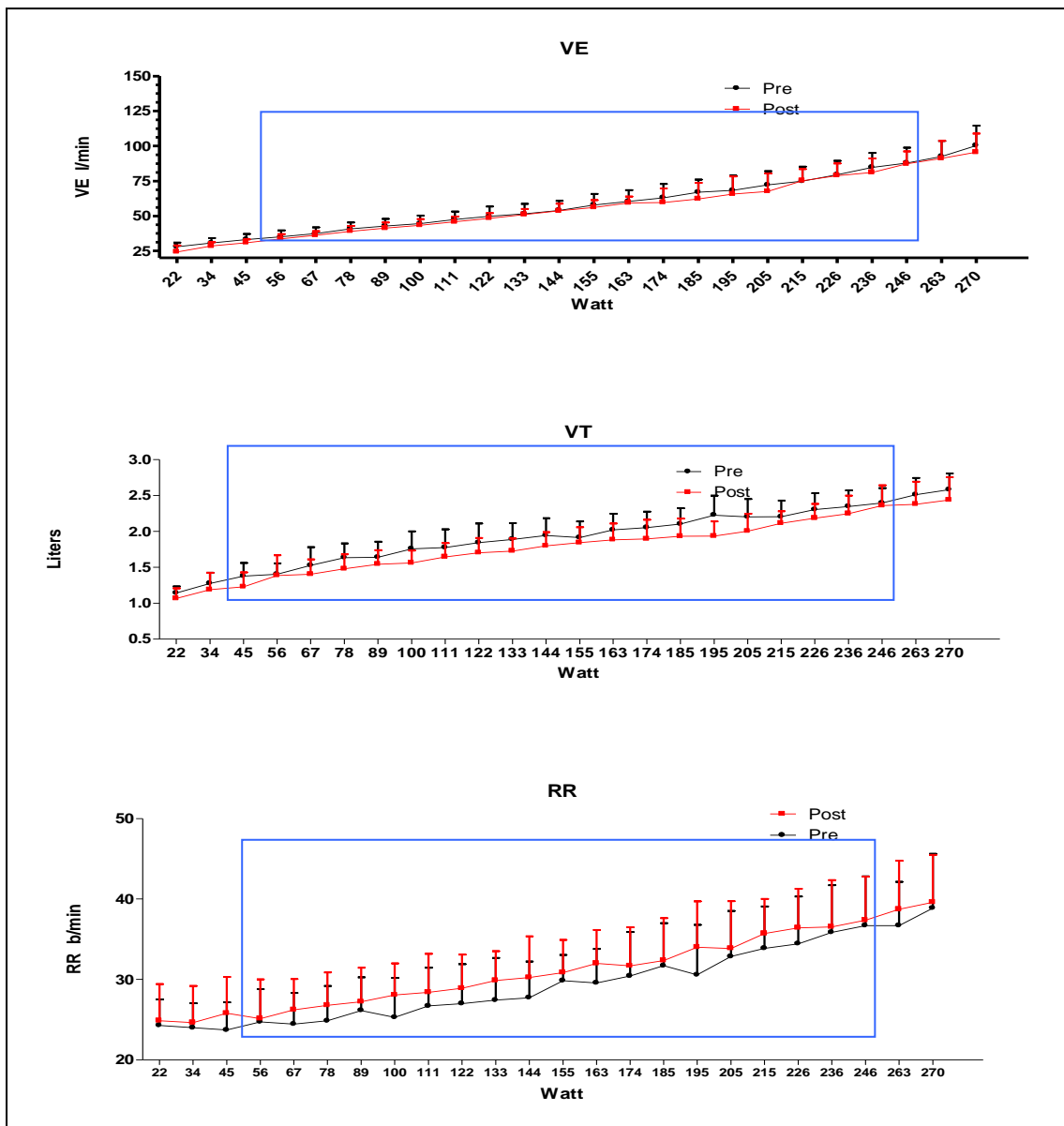


Grafico 10: Andamento della Ventilazione (L/min), del Volume Corrente (L) e della Frequenza Respiratoria (Resp/min) in funzione dei Watt erogati durante i Test di Balke a T_0 e a T_1

- Angolo di Fase: significativo; come si può vedere dal grafico, la coordinazione toraco-addominale è meno ridotta durante il Test a T_1 la differenza rispetto a T_0 è significativa [Grafico 11].

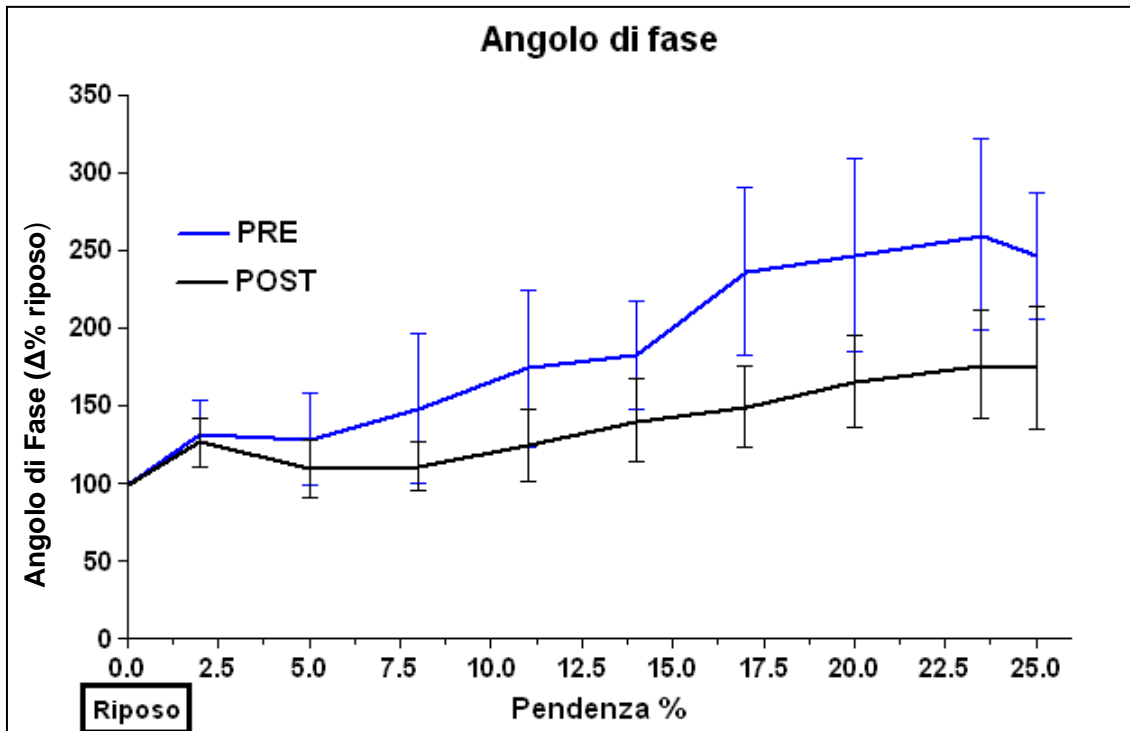


Grafico 11: Andamento del PhAng, calcolato come variazione percentuale.

3.6 Conclusioni

Il risultato principale e più innovativo di questo studio è il rallentamento della riduzione della coordinazione toraco-addominale, ottenuto con l'allenamento della muscolatura respiratoria. Relativamente agli obiettivi che ci eravamo proposti, possiamo trarre le seguenti conclusioni.

Per quanto riguarda l'applicabilità del programma di allenamento della muscolatura respiratoria ci possiamo ritenere soddisfatti, in quanto nessuno dei soggetti testati ha trovato difficoltà nel compiere e portare a termine il periodo di allenamento. Ciascun soggetto, inoltre ci ha riferito di non avere avuto particolari problemi nell'utilizzo dello strumento.

Il programma di allenamento è risultato, inoltre, molto efficiente per quanto riguarda la capacità di esercizio, in quanto è sembrato migliorare il rendimento durante il test incrementale; infatti i soggetti, nel test a T_1 hanno raggiunto velocità superiori rispetto a quelle che erano stati in grado di raggiungere nei test a T_0 , prolungando così il loro sforzo;

inoltre se si guardano i grafici del consumo di ossigeno si può notare come i soggetti, a parità di carico, abbiano un valore di VO_2 inferiore nel test incrementale a T_1 .

Per quanto riguarda il pattern respiratorio, non tutti gli obiettivi che ci eravamo prefissati sono stati raggiunti, infatti i valori di VE, VT ed RR non sono migliorati significativamente. L'unico parametro ventilatorio che ha mostrato modificazioni significative, come è stato detto in precedenza, è l'angolo di fase, ossia l'indice di coordinazione toraco-addominale. Infatti l'allenamento della muscolatura respiratoria sembra rallentare la riduzione della coordinazione fra il comparto toracico e quello addominale; questo può essere dovuto al fatto che l'utilizzo dello Spirotiger può aver indotto i soggetti ad utilizzare un tipo di respirazione più corretta migliorando così la coordinazione fra i due reparti.

Non possiamo escludere che l'uso dello Spirotiger abbia migliorato la postura soprattutto durante l'esercizio in salita. Questo miglioramento è stato infatti osservato, e comunicato in una tesi di laurea, da Campra P e Missiroli C (dati non pubblicati)⁽¹⁶⁾.

Il fatto, infine, che i parametri spirometrici siano leggermente aumentati ma che non abbiano raggiunto la significatività, può essere imputabile al periodo di allenamento forse non sufficientemente prolungato per soggetti già allenati, oppure al fatto che i volumi polmonari ed i flussi di questi soggetti fossero già verso valori massimali.

4 STUDIO SOGGETTI SPORTIVI (capacità d'esercizio e pattern ventilatorio)

Con questo secondo studio abbiamo valutato l'applicabilità di un programma di allenamento della muscolatura respiratoria secondo la metodologia dell'iperpnea-isocapnica, ed il suo effetto sulla capacità di sostenere un esercizio fisico e sulla modificazione del pattern ventilatorio in giovani atleti. Abbiamo utilizzato 12 soggetti di sesso femminile, divisi in due gruppi omogenei, al primo gruppo è stato chiesto di allenarsi con lo Spirotiger per 1 mese, il secondo gruppo non ha eseguito l'allenamento ed è servito come gruppo di controllo. Entrambi i gruppi hanno mantenuto le stesse abitudini e stili di vita nel periodo preso in esame, tutti i soggetti sono stati valutati con le seguenti modalità: spirometria, test massimale al cicloergometro, life shirt e monitoraggio tramite armband.

Attraverso questo studio, quindi, vogliamo verificare se l'allenamento della muscolatura respiratoria e la modificazione del pattern respiratorio possa migliorare le prestazioni e la quantità d'esercizio.

4.1 Soggetti

I soggetti sono stati reclutati tra gli studenti del Corso di Laurea in Scienze Motorie dell'Università degli Studi di Ferrara, i dati antropometrici sono riportati in tabella 4.1; tabella 4.2.

	Sesso	Età	Peso (kg)	Altezza (cm)	BMI (kg/m ²)	VO2 max (ml/min)
1	F	24	55	165	20,2	2260
2	F	24	62	166	22,5	2503
3	F	24	59	169	20,6	2430
4	F	26	56	163	21,1	2130
5	F	24	60	174	19,6	2791
6	F	24	63	163	23,7	2303
MEDIA		24,33 ±0,82	59,17 ±3,19	166,67 ±4,23	21,28 ±1,5	2402,83 ±230,76

Tabella 4.1: Caratteristiche dei soggetti che hanno effettuato il protocollo di studio.

	Sesso	Età	Peso (kg)	Altezza (cm)	BMI (kg/m ²)	VO2 max (ml/min)
7	F	21	45	156	18,5	1723
8	F	23	60	168	21,3	2211
9	F	22	50	155	20,8	1597
10	F	24	53	163	20,0	1605
11	F	28	65	163	24,5	2266
12	F	21	63	156	25,8	1850
MEDIA		23,17	56,00	160,17	21,82	1875,33
		±2,64	±7,90	±5,27	±2,78	±296,54

Tabella 4.2: Caratteristiche dei soggetti del gruppo di controllo.

4.2 Disegno dello studio

Inizialmente sono state effettuate delle prove preliminari per testare il livello di attività fisica, i parametri spirometrici e la capacità d'esercizio. Successivamente le sole 6 ragazze del gruppo di sperimentazione hanno eseguito per un mese l'allenamento con Spirotiger, dopo questo periodo tutti 12 i soggetti hanno effettuato di nuovo le prove fatte inizialmente per valutare i miglioramenti avvenuti.

Lo studio quindi è stato suddiviso in 3 fasi:

- Valutazione di base (T_0)
- Periodo di allenamento con Spirotiger
- Valutazione di controllo (T_1)

La valutazione di base(T_0) ripetuta poi a T_1 (controllo) consisteva in:

- prove di funzionalità respiratoria (spirometria, Massima Pressione Inspirazione (MIP), Massima Ventilazione Volontaria (MVV))
- monitoraggio con holter metabolico (Arm Band senswear))
- test da sforzo cardiopolmonare (valutazione della dispnea (scala di Borg), valutazione della capacità di compire esercizio)
- pletismografia corporea induttiva (life shirt system)

Spirometria

Le prove di Funzionalità Respiratoria sono state svolte utilizzando lo Spirometro portatile SpiroJet (Ganshorn Medizin Electronic) presso gli ambulatori della Clinica Pneumologica dell'Ospedale San'Anna di Ferrara.

I soggetti hanno effettuato la manovra respiratoria lenta e quella forzata per valutare i parametri CV e VEMS, inoltre hanno eseguito le manovre della Massima Ventilazione Volontaria (MVV) e della il MIP. Queste prove sono state poi ripetute per tutte i12 soggetti anche successivamente all'allenamento con Spirotiger che è stato compiuto dai soggetti del gruppo di sperimentazione.

Holter metabolico

Per verificare che durante il mese d'allenamento respiratorio i soggetti mantenessero invariato il loro livello abituale d'attività fisica questa è stata monitorata con l'Armband. Esso è un sistema di monitoraggio corporeo che registra ed analizza le informazioni sul metabolismo, l'intensità, la durata dell'attività fisica e lo stile di vita della persona che lo indossa. I 12 soggetti che hanno partecipato allo studio hanno indossato questo sensore di movimento per un periodo compreso tra i 6 e i 7 giorni. L'apparecchio veniva tolto durante la seduta di allenamento con Spirotiger.

I soggetti hanno indossato l'Armband durante il periodo prima dell'allenamento con Spirotiger (T0) e dopo il periodo di allenamento (T1), questo per monitorare eventuali cambiamenti di stile di vita che potessero modificare il livello dell'attività fisica.

Test da sforzo cardiopolmonare

Questo tipo di test prevede l'esecuzione di una prova da sforzo incrementale non invasiva di tipo massimale al cicloergometro. Tutte le prove sono state eseguite a Ferrara presso il Centro Studi Biomedici Applicati allo Sport.

Dopo aver indossato il cardiofrequenzimetro, i soggetti hanno effettuato un riscaldamento di 2 minuti prima di iniziare il test. La prova prevedeva incrementi graduali dell'intensità d'esercizio con un aumento progressivo di 25 watt ogni minuto (5 watt ogni 12,5 secondi circa) mantenendo le 70, circa, pedalate al minuto. Quando il soggetto non era più in grado di sopportare un ulteriore aumento di wattaggio, è stato sollecitato a continuare fino all'esaurimento totale. Questo consentiva di calcolare la frequenza cardiaca massima e il VO2 max.

Durante questo test è stata utilizzata anche un apparecchiatura (Quark B2) per la valutazione della funzionalità cardio-respiratoria su base respiro per respiro, in particolare per l'analisi degli scambi gassosi intrapolmonari (figura accanto). Questo apparecchio è dotato di analizzatori di Ossigeno collegati ad un flussometro digitale a turbina, che viene direttamente collegato a sua volta alla maschera facciale bocca/naso. Lo spazio morto ridotto all'essenziale elimina la possibilità di re-inspirare parte dell'espirato e due valvole ad una via riducono la resistenza inspiratoria e consentono la rimozione dell'umidità. Infine il Software è in grado di integrare i dati provenienti dalle apparecchiature esterne.

Durante tutta la durata del test al cicloergometro è stato valutato il grado di dispnea dei vari soggetti. La dispnea consiste nella percezione soggettiva di "fatica" e non sempre è correlata allo sforzo e alla sua intensità. (Scala di Borg)

Life Shirt System

I dati raccolti con il sistema Lifeshirt, durante la prova al cicloergometro, sono stati inseriti nel software e sono stati analizzati 20 respiri di ogni minuto trascorso. I criteri per selezionare quelli accettabili, quindi privi di artefatti, sono stati i seguenti: Vt stabile senza sovrapposizione tra le curve inspiratorie ed espiratorie, inizio della fase inspiratoria ed espiratoria simile e presenza di picchi respiratori evidenti nel tracciato.

4.3 Periodo di allenamento

Ai 6 soggetti del gruppo di sperimentazione è stata spiegato il montaggio dei vari componenti dello strumento, le procedure da eseguire dopo l'accensione e le norme igieniche da seguire nella pulizia della sacca e dei vari componenti dello strumento.

Successivamente è stato scelto il volume della sacca e la frequenza respiratoria secondo i criteri già spiegati. In particolare la frequenza respiratoria è stata fissata nella prima settimana a 29 atti respiratori al minuto e progressivamente aumentata fino ad arrivare alla 4° settimana a 36 atti respiratori al minuto.

I soggetti sono stati sottoposti ad alcune sedute supervisionate di apprendimento al fine di verificare se la sacca e la frequenza scelte fossero appropriate.

I soggetti hanno effettuato 5 sedute di allenamento alla settimana da 20 minuti ciascuna, per un totale di 4 settimane. Ad ognuna è stato consegnato un diario dove annotare l'allenamento effettuato.

Tale incremento progressivo è stato effettuato affinché all'ultima settimana di allenamento il prodotto del volume per la frequenza risultasse un valore vicino al 60% del MVV. In questo modo i soggetti hanno avuto incrementi diversi della sacca o della frequenza ma hanno raggiunto un obiettivo finale uguale per tutte. Dopo la prima settimana di allenamento, i soggetti sono stati riconvocati ai fini di effettuare una seduta di allenamento supervisionata per correggere eventuali errori nell'utilizzo dello Spirotiger, o per rispondere ad eventuali dubbi emersi durante la prima settimana di allenamento.

4.4 Raccolta e analisi dati

Un soggetto a causa di alcuni problemi non ha potuto eseguire il secondo test da sforzo al cicloergometro mentre ha eseguito esattamente tutte le altre valutazioni previste dal protocollo. Per questo motivo nei risultati delle prove di funzionalità respiratoria e dell'Armband sono stati inseriti tutti 6 i soggetti, mentre nei risultati del test da sforzo sono stati inseriti 5 soggetti.

Le tabelle e i grafici che seguono sono il risultato dei test effettuati prima dell'allenamento con Spirotiger al tempo T_0 (inserito anche con PRE) e dopo il mese di allenamento al tempo T_1 (POST). I valori medi dei parametri tenuti in considerazione sono stati confrontati attraverso il Test T di Student per dati appaiati; un valore di $p \leq 0,05$ è stato considerato significativo.

Spirometria

I risultati delle prove di funzionalità respiratoria ai tempi T_0 e T_1 sono stati tabulati e messi a confronto. Nelle tabelle sono stati inseriti i valori relativi alla Capacità Vitale, al Volume Espiratorio Forzato nel primo secondo, alla Massima pressione Inspiratoria ed alla Massima Ventilazione Volontaria. Vicino ad ogni colonna relativa a questi parametri, è stata inserita una colonna con la percentuale del valore misurato rispetto al predetto. Inoltre in ogni tabella è indicata la media dei valori e la deviazione standard. (tabella 4.1; tabella 4.1; tabella 4.3, tabella 4.4; grafico 4.1, grafico 4.2)

Gruppo A

	PRE (T ₀)							
	CV	CV %	VEMS	VEMS %	PI max	Pi max %	MVV	MVV %
1	4,06	106	3,73	113	5,67	50,5	123,6	105,1
2	4,3	110	3,66	108	7,58	67,7	117,6	98,6
3	3,37	83	3,23	92	7,89	70,8	132,4	108,7
4	3,98	112,8	3,65	117,9	6,39	56,8	141,3	125,69
5	3,81	89	3,62	98	8,48	76,6	160,2	127,1
6	3,68	100,4	3,21	99,9	6,93	61,8	92	79,8
Media	3,87	100,20	3,52	104,80	7,16	64,03	127,85	107,50
Dev. St	0,32	11,91	0,23	9,83	1,03	9,57	23,05	17,71

Tabella 4.1: misure spirometriche ottenute dai soggetti del gruppo di sperimentazione al tempo T₀.

	POST (T ₁)							
	CV	CV %	VEMS	VEMS %	PI max	Pi max %	MVV	MVV %
1	4,39	118,4	3,83	117,7	5,54	49,4	129,6	110,2
2	4,57	120,1	3,62	108,7	8,26	73,9	126,5	106,1
3	3,78	95,8	3,16	91,6	10,46	93,9	142,1	116,7
4	3,99	114,1	3,52	114,5	8,77	78	143,9	128
5	4,41	103	3,57	97,8	9,91	89,5	161,7	128,3
6	3,75	102,2	3,14	97,8	9,49	84,7	128	111
Media	4,15	108,93	3,47	104,68	8,74	78,23	138,63	116,72
Dev. St	0,35	9,94	0,27	10,47	1,75	15,90	13,52	9,48

Tabella 4.2: misure spirometriche ottenute dai soggetti del gruppo di sperimentazione al tempo T₁.

Gruppo B (controllo):

	PRE (T ₀)							
	CV	CV %	VEMS	VEMS %	PI max	Pi max %	MVV	MVV %
7	3,23	92	2,97	97	4,31	37,9	98,06	86,8
8	4,09	102	3,44	99	5,29	47,3	114,3	94,6
9	2,98	87	3,01	101	3,17	27,9	113,7	102,7
10	3,7	102,3	3,21	101,1	8,12	72,3	101,2	87,8
11	3,82	104	3,3	104	4,81	43	103,9	91,1
12	4,07	120,3	3,74	125,7	5,19	45,7	121,3	106,6
Media	3,65	101,27	3,28	104,63	5,15	45,68	108,74	94,94
Dev. St	0,45	11,50	0,29	10,58	1,65	14,80	9,03	8,11

Tabella 4.3: misure spirometriche ottenute dai soggetti del gruppo controllo al tempo T₀ .

	POST (T ₁)							
	CV	CV %	VEMS	VEMS %	PI max	Pi max %	MVV	MVV %
7	2,95	88,4	2,79	94,9			99,58	88,7
8	4,79	124,3	3,64	108			112,6	93,2
9	3,3	100,2	3,1	102,6			113,2	102,3
10	3,68	98,55	3,17	99,84			110,1	95,52
11	3,74	103,6	3	94,7			105,2	92,2
12	4,03	119,1	3,71	124,6			120,6	106,1
Media	3,75	105,69	3,24	104,11			110,21	96,34
Dev. St	0,63	13,50	0,36	11,21			7,22	6,58

Tabella 4.4: misure spirometriche ottenute dai soggetti del gruppo controllo al tempo T₁.

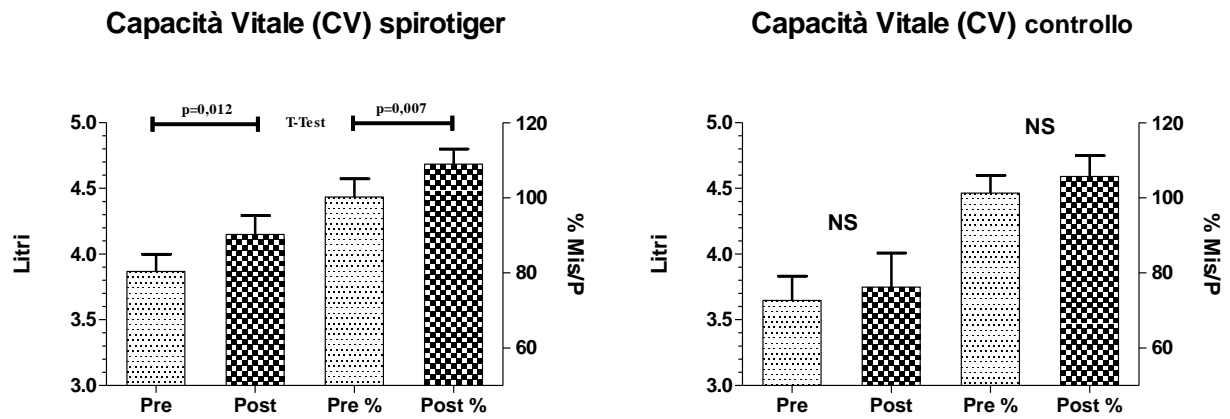


Grafico 4.1; Capacità Vitale dei soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio. Nei due grafici le colonne a sinistra indicano la CV in litri, quelle a destra i valori sono riportati come percentuale rispetto al teorico.

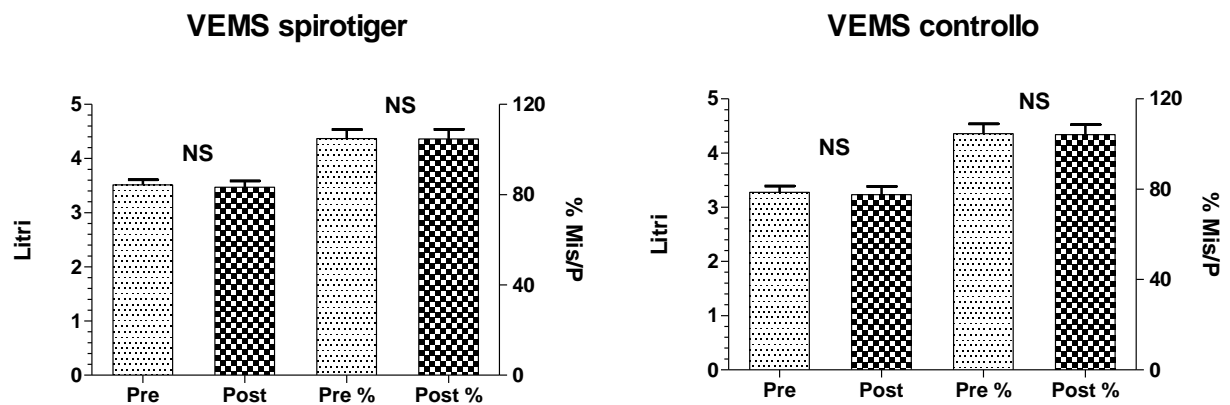


Grafico 4.2 VEMS dei soggetti, del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio. Nei due grafici le colonne a sinistra indicano il VEMS in litri, quelle a destra i valori sono inseriti in percentuale rispetto al teorico.

Nel grafico sopra si può notare come nei soggetti del gruppo di sperimentazione è presente un incremento significativo della Capacità Vitale durante la fase T_1 rispetto ai risultati ottenuti durante la fase T_0 , prima dell'allenamento con Spirotiger. Questa

considerazione può essere fatta anche considerando la percentuale del valore misurato rispetto al predetto. Al contrario nel VEMS non ci sono state modificazioni significative.

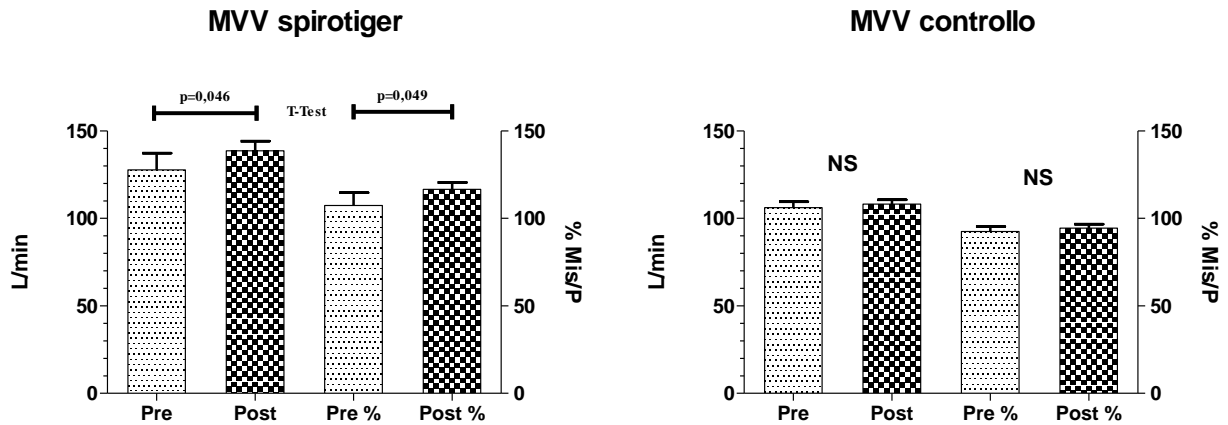
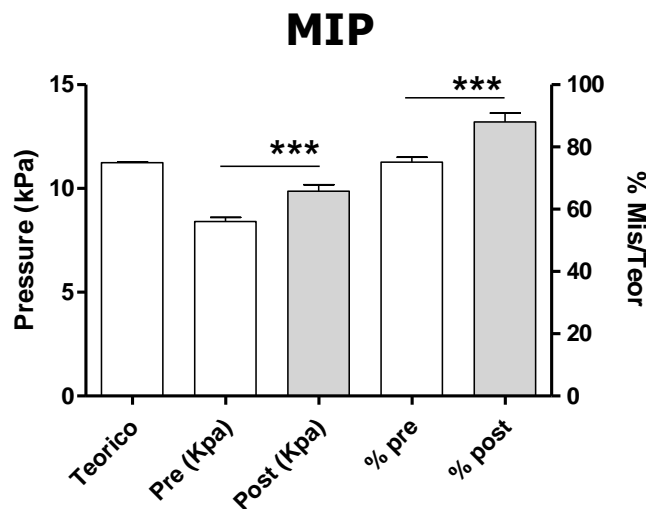


Grafico 4.3 MVV dei soggetti, del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio. Nei due grafici le colonne a sinistra indicano il MVV in litri al minuto, quelle a destra i valori sono inseriti in percentuale rispetto al teorico.



	Pre (Kpa)	Post (Kpa)	Teorico	% pre	% post
Mean	8.411	9.870	11.24	75.13	88.00
Std. Deviation	0.5395	0.8886	0.1188	4.422	8.124
Std. Error	0.1907	0.3142	0.04199	1.563	2.872

Grafici 4.4: PI max dei soggetti, del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio. Nei due grafici le colonne a sinistra

indicano il PI max in kPa, quelle a destra i valori sono inseriti in percentuale rispetto al teorico .

I valori misurati della PI max sono risultati significativamente superiori dopo l'allenamento con Spirotiger, questo dimostra che è aumentata la forza dei muscoli respiratori. Al contrario nel gruppo di controllo i valori rimangono pressoché invariati.

Anche in questo grafico si evince l'incremento significativo dei valori della Massima Ventilazione Volontaria, che sta ad indicare che le ragazze che hanno eseguito l'allenamento spostano maggiori volumi d'aria rispetto alla prova eseguita a T₀.

Armband

Nelle tabelle seguenti sono elencati i risultati scaricati dal monitoraggio ai tempi T₀ e T₁ sia per il gruppo di controllo che per quello sperimentale.

	Spesa en tot	npassi	Met's medi	Met's max	1 MET's		2 MET's		3 MET's	
					Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva	Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva	Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva
1	1955	10813	1,5	1,6	904	1475	238	692	82	323
2	2237	12295	1,7	2,5	840	1780	329	1061	115	498
3	2263	10663	1,6	2,1	900	1748	303	970	105	470
4	2311	11528	1,7	1,9	911	1831	349	1128	144	617
5	2529	14566	1,8	1,9	909	1982	428	1313	139	558
6	2133	11181	1,6	2	842	1691	270	869	78	363
M	2238	11841	1,65	2	884,33	1751,16	319,5	1005,5	110,5	471,5
DS	190,66	1456,69	0,10	0,30	33,79	167,56	66,48	214,86	27,76	112,41

Tabella 4.4 risultati Armband relativi ai soggetti del gruppo di sperimentazione nel tempo T₀.

	Spesa en tot	npassi Passi	1 MET's		2 MET's		3 MET's			
			Met's medi	Met's max	Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva	Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva	Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva
1	2120	9928	1,6	1,9	832	1556	326	906	73	339
2	2646	17905	1,8	2,3	946	2165	476	1508	148	650
3	2042	8367	1,5	2,1	733	1343	244	699	56	237
4	2210	8914	1,9	2,8	701	1619	335	1128	136	662
5	2626	12140	1,8	2	1015	2190	449	1409	125	554
6	5487	10754	1,8	2,2	606	4273	345	3252	124	1693
M	2855	11334	1,73	2,22	805,5	2191,6	362,5	1483,6	110,3	689,3
DS	1314,59	3487,13	0,15	0,32	155,12	1075,7	85,79	917,50	36,95	520,63

Tabella 4.5 risultati Armband relativi ai soggetti del gruppo di sperimentazione nel tempo T₁.

	Spesa en tot	npassi	1 MET's		2 MET's		3 MET's			
			Met's medi	Met's max	Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva	Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva	Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva
7	1556	4113	1,4	1,7	906	1154	213	485	67	208
8	2049	8106	1,4	1,5	727	1351	216	712	120	462
9	1706	8359	1,4	1,7	910	1258	208	490	48	154
10	2173	10087	1,8	1,9	851	1646	363	1050	118	502
11	2152	6992	1,4	1,5	737	1445	202	710	92	403
12	2098	10300	1,4	1,5	858	1526	220	662	111	292
M	1955	7992	1,47	1,63	831,50	1396,67	237,00	684,83	92,67	336,83
DS.	259,54	2276,4	0,16	0,16	80,80	179,68	62,05	206,46	29,60	140,97

Tabella 4.6 risultati Armband relativi ai soggetti del gruppo di controllo nel tempo T₀.

	Spesa En tot	npassi	Met's medi	Met's max	1 MET's		2 MET's		3 MET's	
					Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva	Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva	Durata Attività Fisica	Spesa Ener Attiva
7	1441	3604	1,3	1,4	822	965	144	283	24	68
8	1929	6508	1,4	2	711	1205	135	502	79	361
9	1597	3563	1,3	1,6	937	1171	134	291	19	56
10	2194	11870	1,8	2	902	1686	358	1109	120	575
11	2096	7160	1,4	1,6	678	1312	212	662	63	257
12	2352	8918	1,5	1,7	830	1720	270	876	68	324
M	1934,83	6937,17	1,45	1,72	813,33	1343,1	208,83	620,50	62,17	273,50
DS	353,61	3193,29	0,19	0,24	102,27	300,75	90,84	329,29	37,37	195,41

Tabella 4.7 risultati Armband relativi ai soggetti del gruppo di controllo nel tempo T₁.

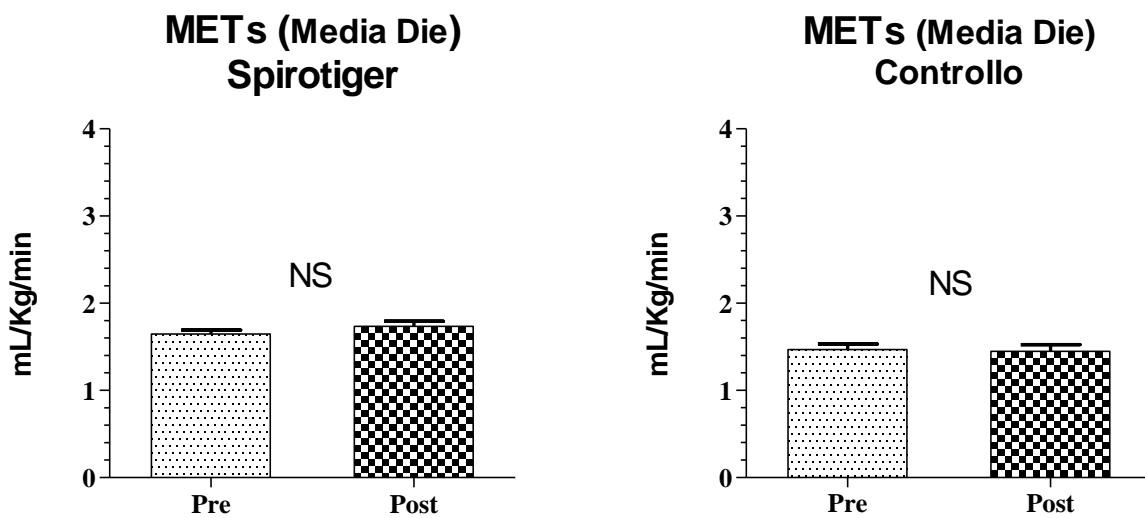


Grafico 4.5: media Mets giornaliera dei soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

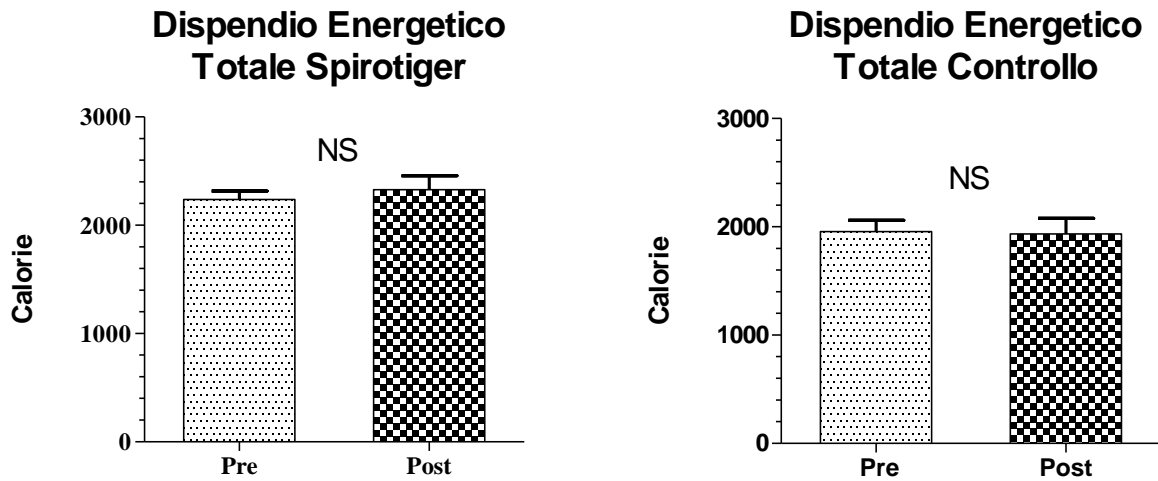


Grafico 4.6: media del dispendio energetico totale giornaliero dei soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

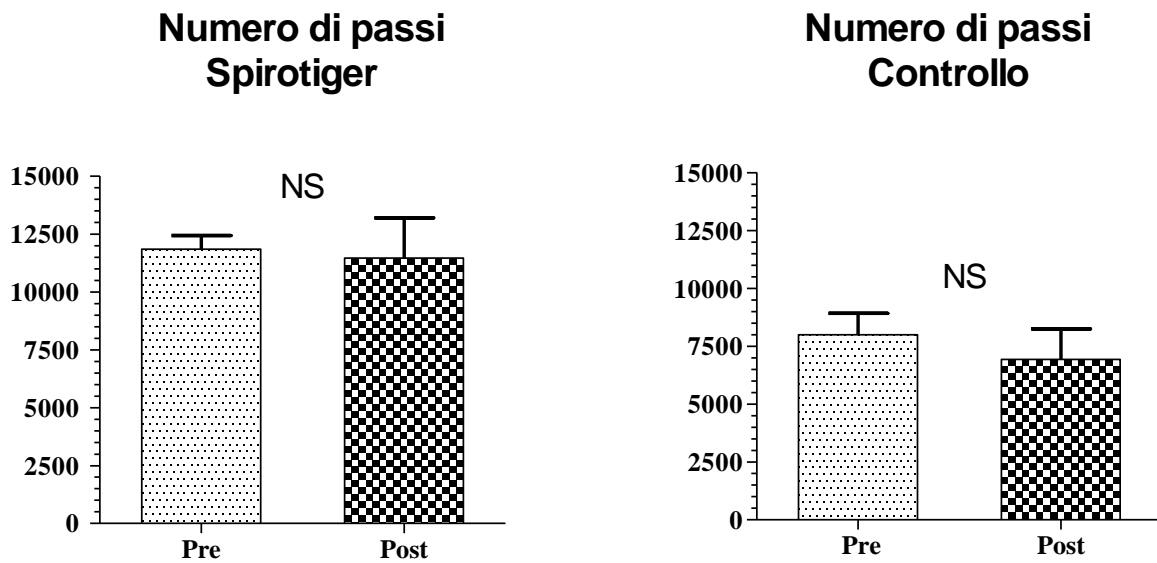


Grafico 4.7: media del numero di passi giornalieri dei soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

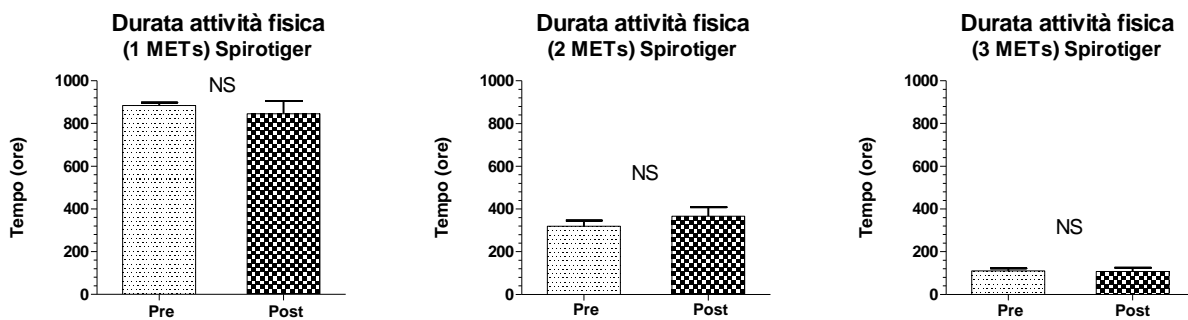


Grafico 4.8: durata dell'attività fisica giornaliera dei soggetti del gruppo di sperimentazione. Nel primo grafico la durata è riferita a 1 Mets di consumo energetico, nel secondo grafico a 2 Mets e nel terzo a 3 Mets. Nella prima colonna i risultati si riferiscono alla fase T_0 e nella seconda alla fase T_1 .

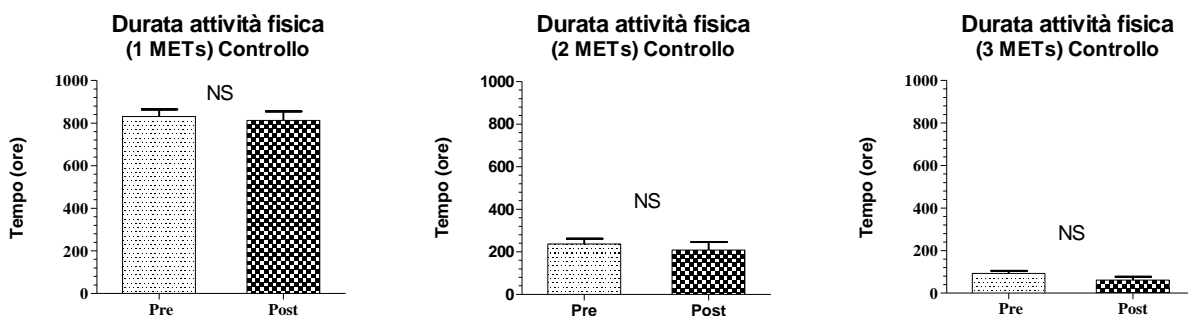


Grafico 4.9: durata dell'attività fisica giornaliera dei soggetti del gruppo di controllo. Nel primo grafico la durata è riferita a 1 Mets di consumo energetico, nel secondo grafico a 2 Mets e nel terzo a 3 Mets. Nella prima colonna i risultati si riferiscono alla fase T_0 e nella seconda alla fase T_1 .

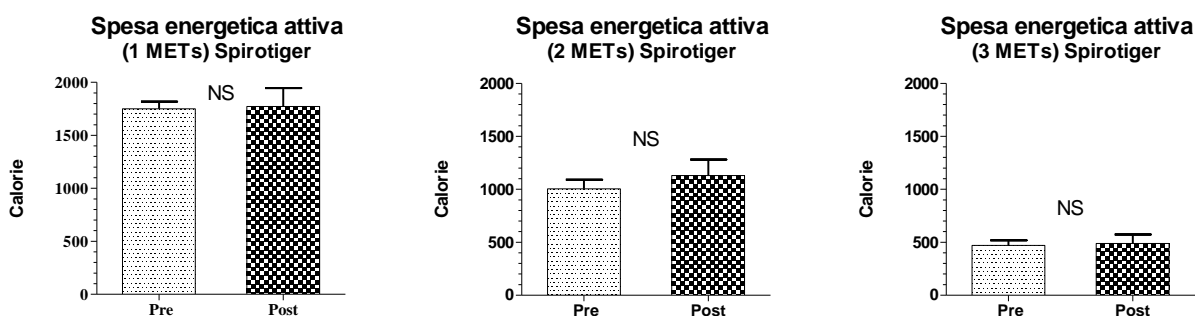


Grafico 4.10 spesa energetica attiva giornaliera dei soggetti del gruppo di sperimentazione. Nel primo grafico la durata è riferita a 1 Mets di consumo energetico, nel

secondo grafico a 2 Mets e nel terzo a 3 Mets. Nella prima colonna i risultati si riferiscono alla fase T_0 e nella seconda alla fase T_1 .

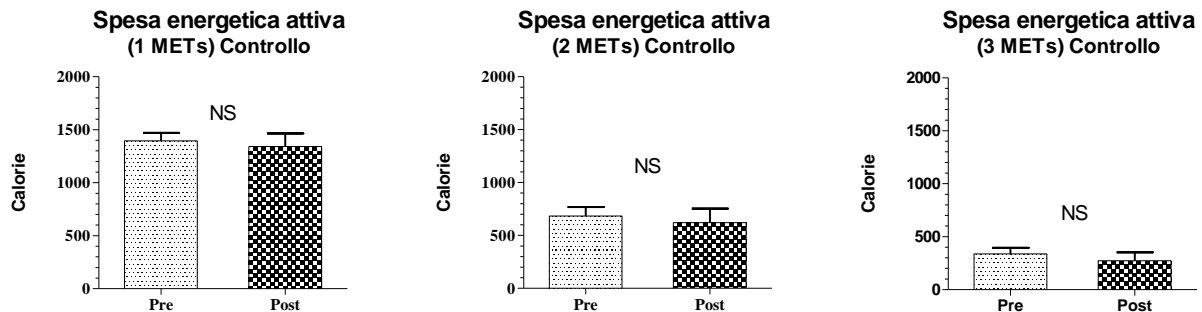


Grafico 4.11 spesa energetica attiva giornaliera dei soggetti del gruppo di controllo. Nel primo grafico la durata è riferita a 1 Mets di consumo energetico, nel secondo grafico a 2 Mets e nel terzo a 3 Mets. Nella prima colonna i risultati si riferiscono alla fase T_0 e nella seconda alla fase T_1 .

I risultati ottenuti dal monitoraggio con ArmBand come si può vedere dai grafici sopra riportati non hanno evidenziato differenze significative per nessuno dei parametri tenuti in considerazione.

Ciò sta ad indicare che tutti i soggetti hanno continuato ad avere gli stessi livelli di attività fisica e lo stesso stile di vita.

Test da sforzo al cicloergometro

Nelle tabelle seguenti sono stati riportati i valori massimi ottenuti dalle ragazze durante il test da sforzo incrementale e massimale al cicloergometro.

Sogg.	Durata sforzo	Watt max	VO2 max (ml/min)	Ve max (L/min)	Vt Max (L)	Rf max (b/min)	FC max (bmp)
2	7.10	180	2200	93,45	2172	46,91	196
3	7.25	190	2119	89,91	2143	42,64	198
4	6.45	170	2130	100,31	2121	57,2	184
5	8.25	215	2448	97,38	2223	49,14	176
6	7.55	200	2303	94,27	1833	55,15	178
Media	7.25	188,33	2199,5	94,56	2056,33	50,62	184,17
Dev. St	0.38	16,93	157,98	3,75	171,45	5,43	10,59

Tabella 4.8: valori massimi raggiunti dai soggetti del gruppo di sperimentazione nel tempo T₀.

Sogg.	Durata sforzo	Watt max	VO2 max (ml/min)	Ve max (L/min)	Vt Max (L)	Rf max (b/min)	FC max (bmp)
2	7.40	195	2503	114,77	2397	48,9	186
3	7.35	195	2430	100,62	2436	44,41	195
4	7.05	180	2063	89,35	2161	43,41	181
5	9.10	230	2791	117,84	2396	50,04	169
6	7.50	200	2221	92,24	2021	50,89	180
Media	6.13	159,17	1779,8	81,75	2002,6	45,58	181,17
Dev. St	0.39	14,63	208,15	7,47	385,62	8,96	7,39

Tabella 4.9 valori massimi raggiunti dai soggetti del gruppo di sperimentazione nel tempo T₁.

Sogg.	Durata sforzo	Watt max	VO2 max (ml/min)	Ve max (L/min)	Vt Max (L)	Rf max (b/min)	FC max (bmp)
7	6.25	165	1723	81,88	1902	46,62	194
8	6.45	170	2039	83,98	2539	35,93	181
9	5.50	150	1554	71,15	1610	46,69	179
10	5.30	145	1605	88,4	1555	61,86	181
11	7.10	180	2029	90,16	2273	42,19	171
12	5.40	145	1729	74,93	2137	40,16	181
Media	7.35	193,33	2318,3	98,74	2207,0	47,65	179,00
Dev. St	0.57	23,17	321,87	15,51	245,91	3,05	11,54

Tabella 4.10 valori massimi raggiunti dai soggetti del gruppo di controllo nel tempo T₀.

Sogg.	Durata sforzo	Watt max	VO2 max (ml/min)	Ve max (L/min)	Vt Max (L)	Rf max (b/min)	FC max (bmp)
7	6.00	155	1659	86,1	1800	51,72	194
8	6.50	175	2026	89,28	2659	39,34	188
9	5.40	145	1597	77	1641	49,02	179
10	5.30	140	1274	86,52	1456	59,41	178
11	7.15	185	2266	106	2423	48,12	177
12	6.05	155	1850	85,14	2098	44,81	175
Media	6.13	159,17	1778,6	88,34	2012,83	48,74	181,83
Dev. St	0.40	17,44	348,07	9,59	466,19	6,74	7,47

Tabella 4.11 valori massimi raggiunti dai soggetti del gruppo di controllo nel tempo T₁.

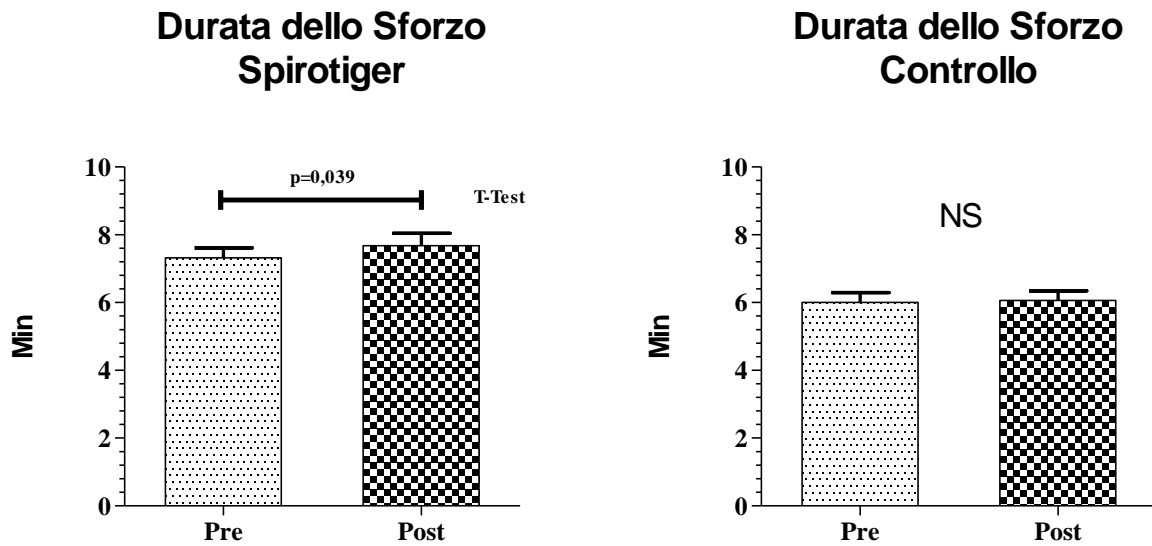


Grafico 4.12: durata massima raggiunta nel test al cicloergometro, espressa in minuti, dai soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

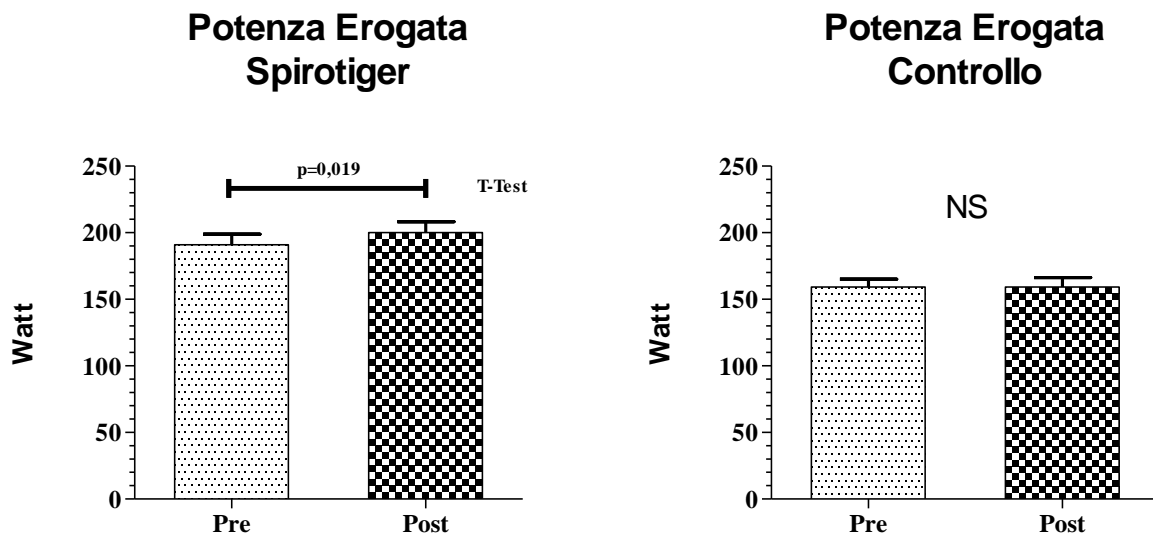


Grafico 4.13: potenza massima erogata nel test al cicloergometro, espressa in watt, dai soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

Per quanto riguarda la durata dell'esercizio ed il carico di lavoro massimo sostenuto, il trend è in miglioramento ed ha raggiunto la significatività. In questo modo possiamo affermare che i soggetti hanno aumentato la loro capacità di svolgere esercizio.

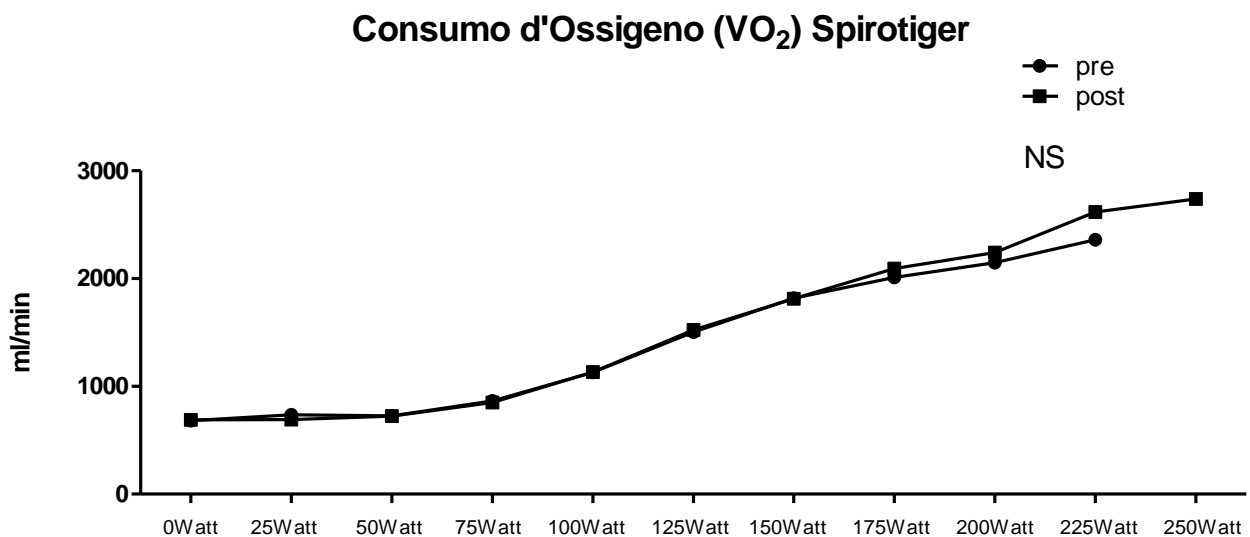


Grafico 4.14: andamento del VO₂ dei soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test, prima e dopo l'allenamento con Spirotiger.

Consumo d'Ossigeno (VO₂) Controllo

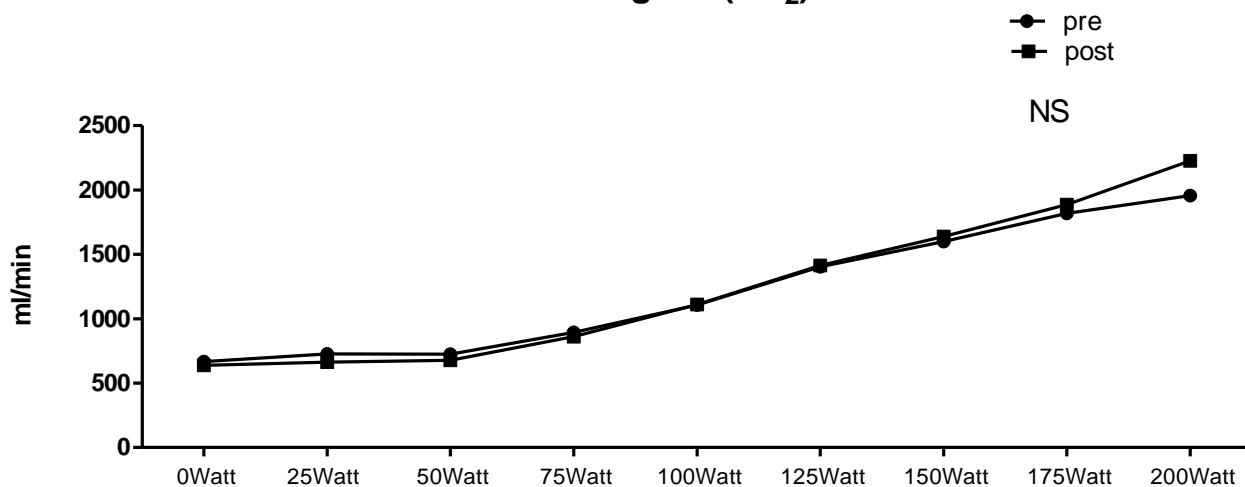


Grafico 4.15 andamento del VO₂ dei soggetti del gruppo di controllo durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test a T₀ e T₁.

In questo caso, come vediamo dai grafici, non ci sono state modificazioni significative dell'andamento del consumo di ossigeno in entrambi i gruppi valutati. La ventilazione nei soggetti del gruppo di sperimentazione è risultata significativa in un punto, verso la fine del test. Ciò significa che viene spostato un maggior volume d'aria nell'unità di tempo.

Ventilazione Spirotiger

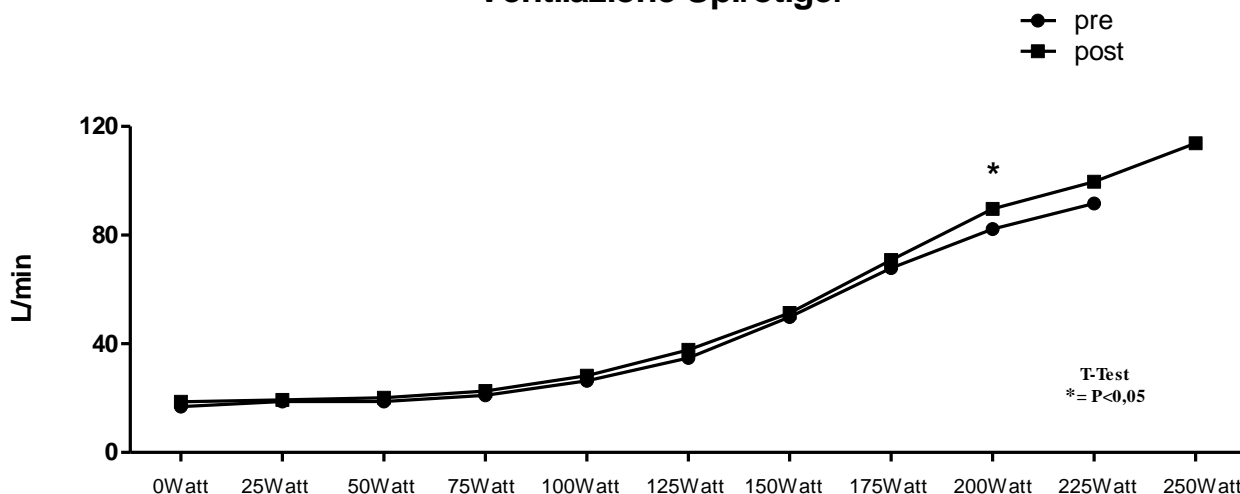


Grafico 4.16: andamento della ventilazione dei soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test, prima e dopo l'allenamento con Spirotiger.

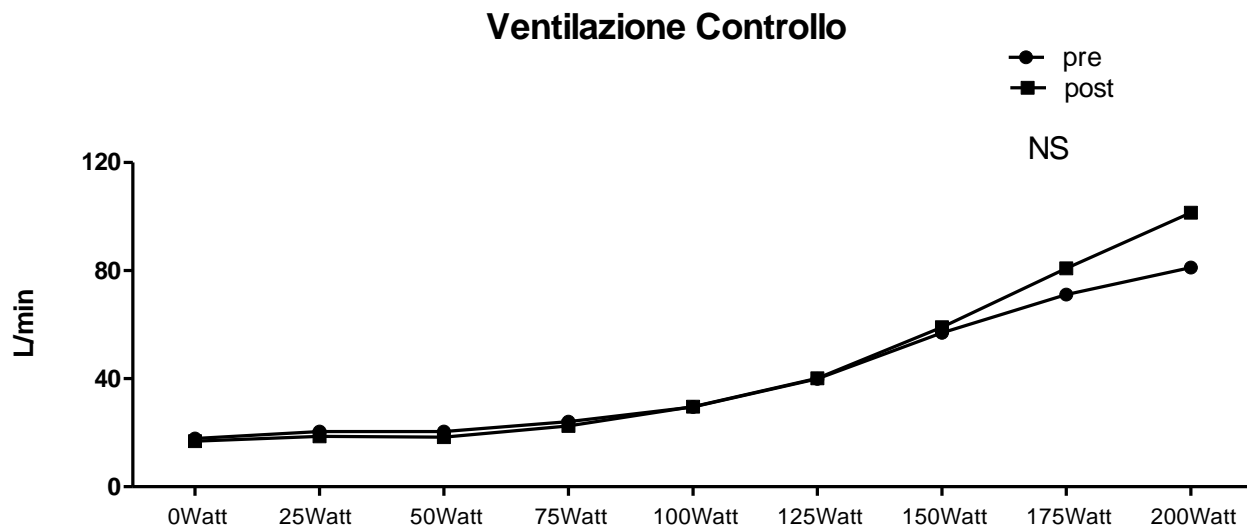


Grafico 4.17 andamento della ventilazione dei soggetti del gruppo di controllo durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test a T_0 e T_1 .

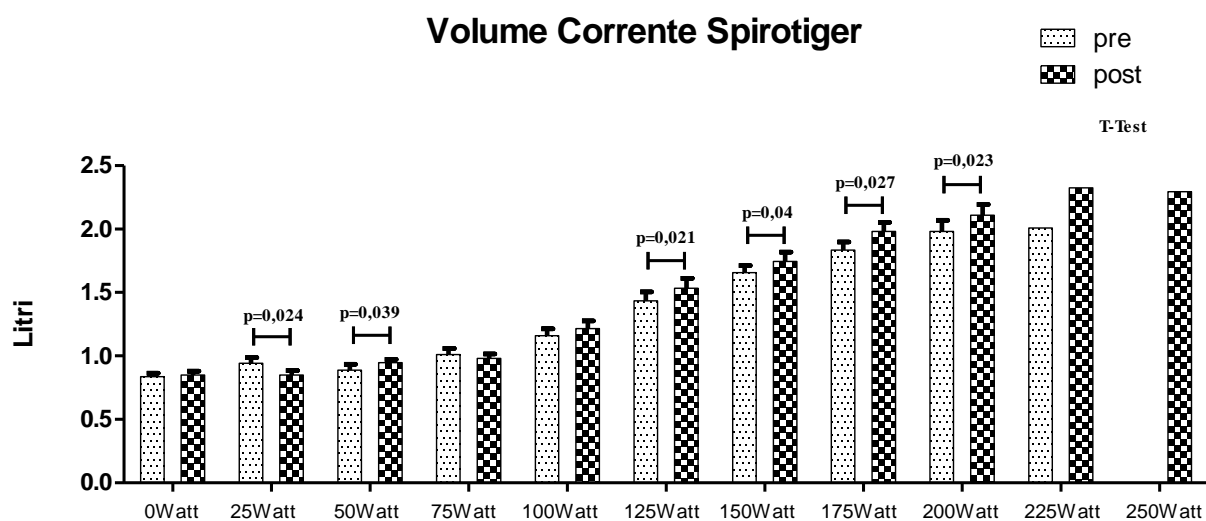


Grafico 4.18 andamento del Volume Corrente raggiunto dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Ad ogni incremento di watt vediamo nella colonna a destra V_t al tempo T_0 e in quella a sinistra V_t al tempo T_1 , e la relativa significatività.

Volume Corrente Spirotiger

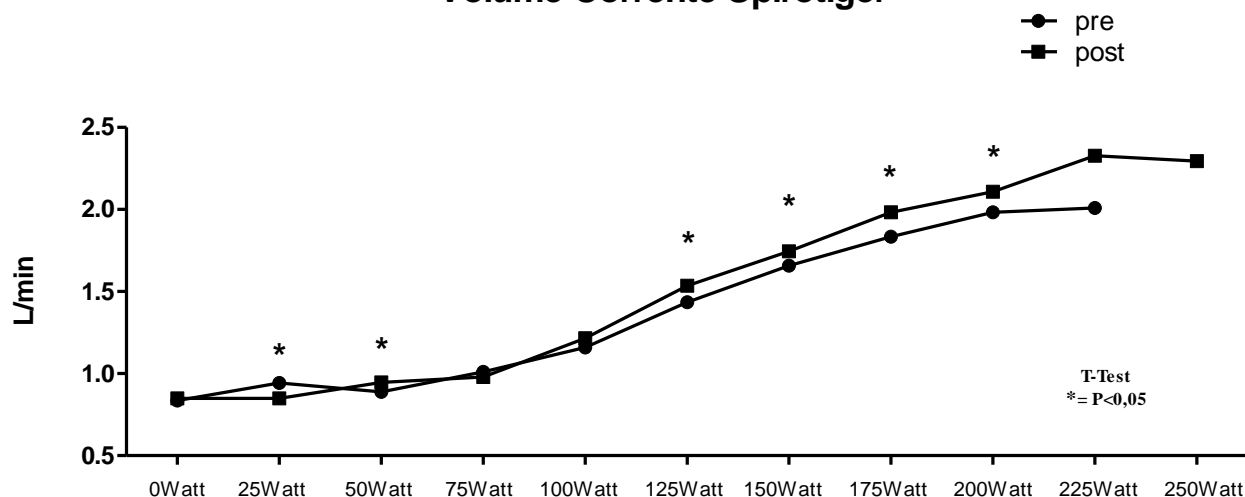


Grafico 4.19 andamento del Volume Corrente raggiunto dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T₀ e T₁. In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

Volume Corrente Controllo

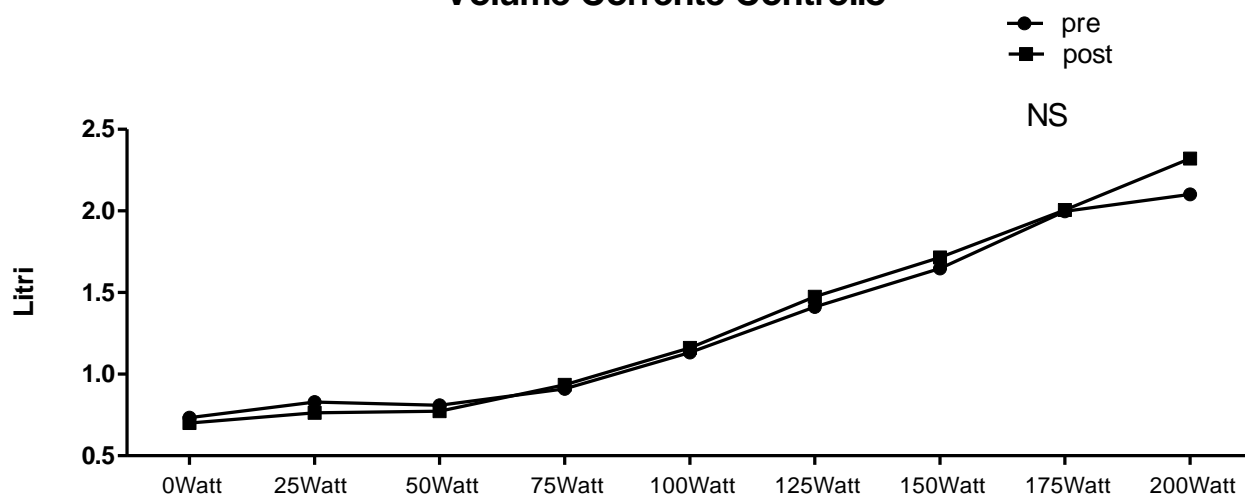


Grafico 4.20 andamento del Volume Corrente raggiunto dai soggetti del gruppo di controllo durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T₀ e T₁. In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

Nei grafici si può notare come il Volume Corrente sia migliorato nettamente nell'ultima fase dello sforzo, quando la potenza erogata era maggiore. Ciò sta ad indicare che il volume d'aria che i soggetti spostavano con la respirazione era maggiore, in questo modo i muscolo avevano più disponibilità di Ossigeno, eliminando più Anidride Carbonica. Nel caso del Volume Corrente possiamo notare come sia avvenuto un incremento

significativo di questo indicatore dopo il mese di allenamento con Spirotiger. Questo risultato si è ottenuto solamente nel caso dei soggetti del gruppo di sperimentazione.

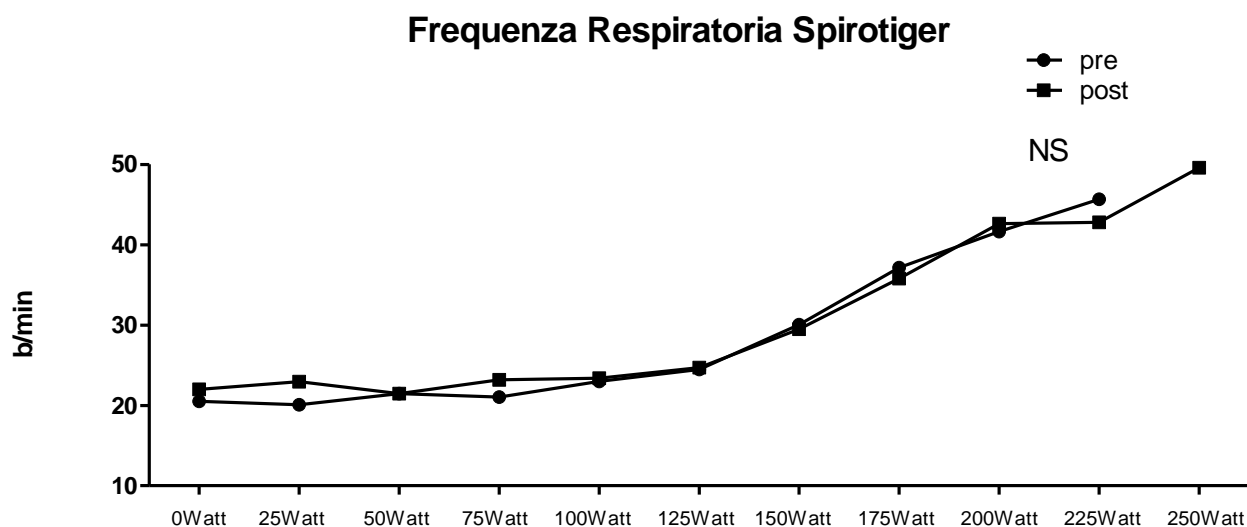


Grafico 4.21: andamento della Frequenza Respiratoria raggiunto dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T_0 e T_1 . In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

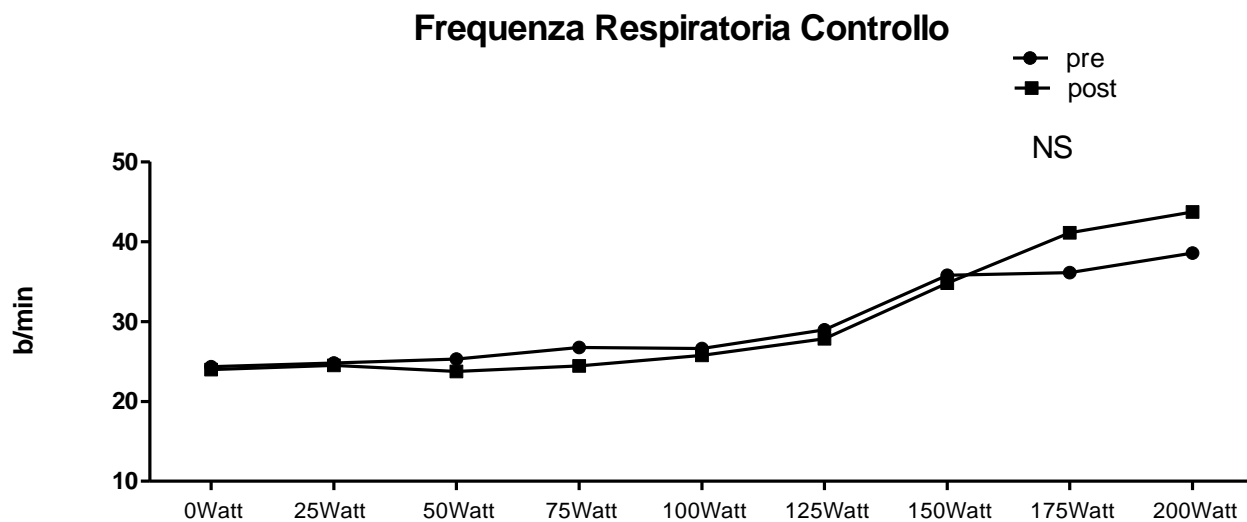


Grafico 4.22: andamento della Frequenza Respiratoria raggiunto dai soggetti del gruppo di controllo durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T_0 e T_1 . In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

Nel caso dell'andamento della frequenza respiratoria, non ci sono state modificazioni significative in entrambi i gruppi valutati.

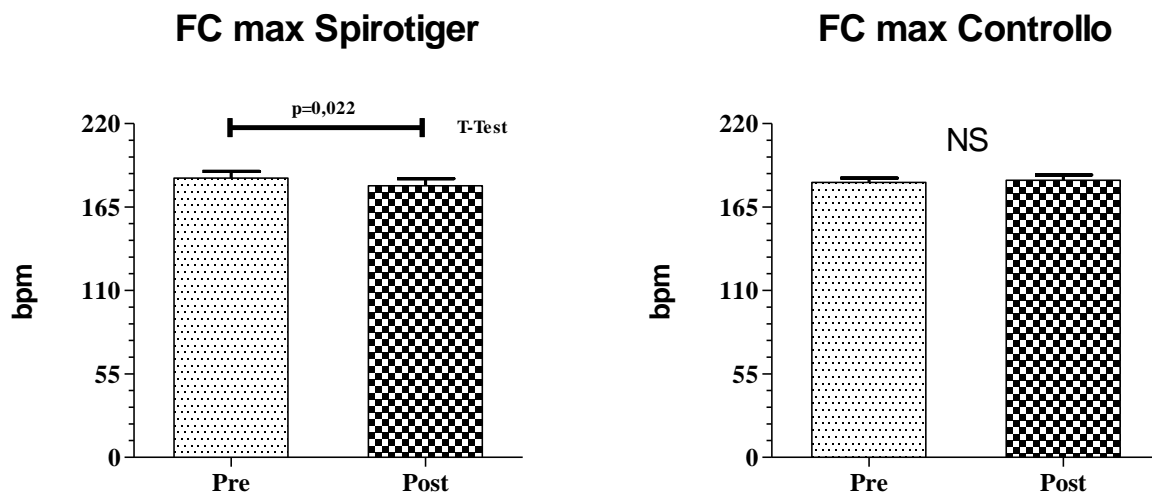


Grafico 4.23 frequenza cardiaca massima raggiunta nel test al cicloergometro, espressa in watt, dai soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

Nel grafico possiamo vedere come la frequenza cardiaca dei soggetti del gruppo di sperimentazione sia diminuita in modo significativo dopo il mesi di allenamento con Spirotiger, al tempo T_0 . Nei grafici seguenti vedremo meglio l'andamento della FC durante il test da sforzo.

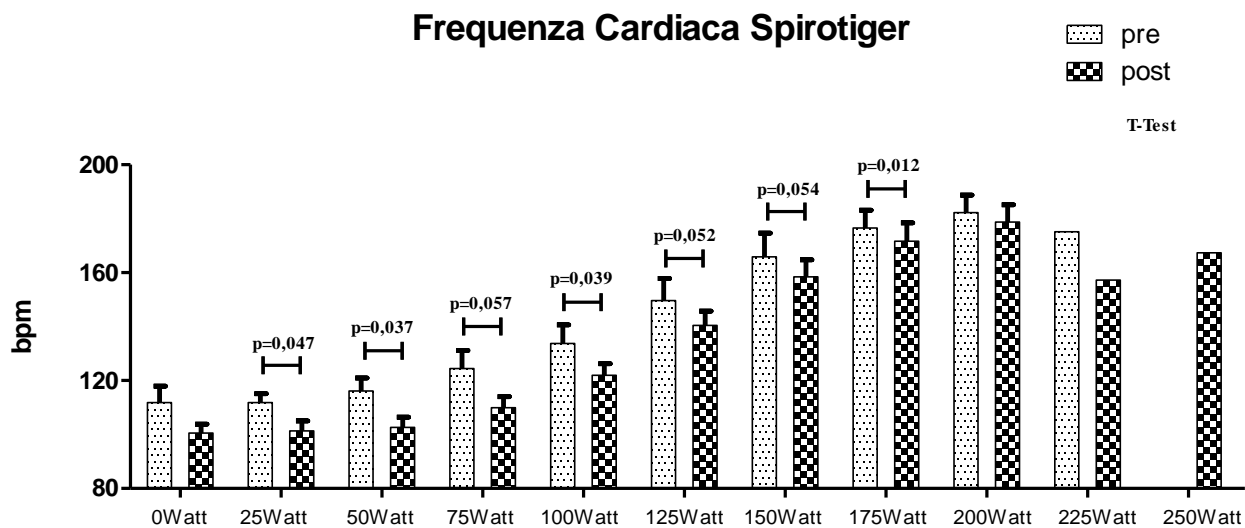


Grafico 4.24 andamento della Frequenza Cardiaca raggiunta dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Ad ogni incremento di watt vediamo nella colonna a destra FC al tempo T_0 e in quella a sinistra FC al tempo T_1 , e la relativa significatività.

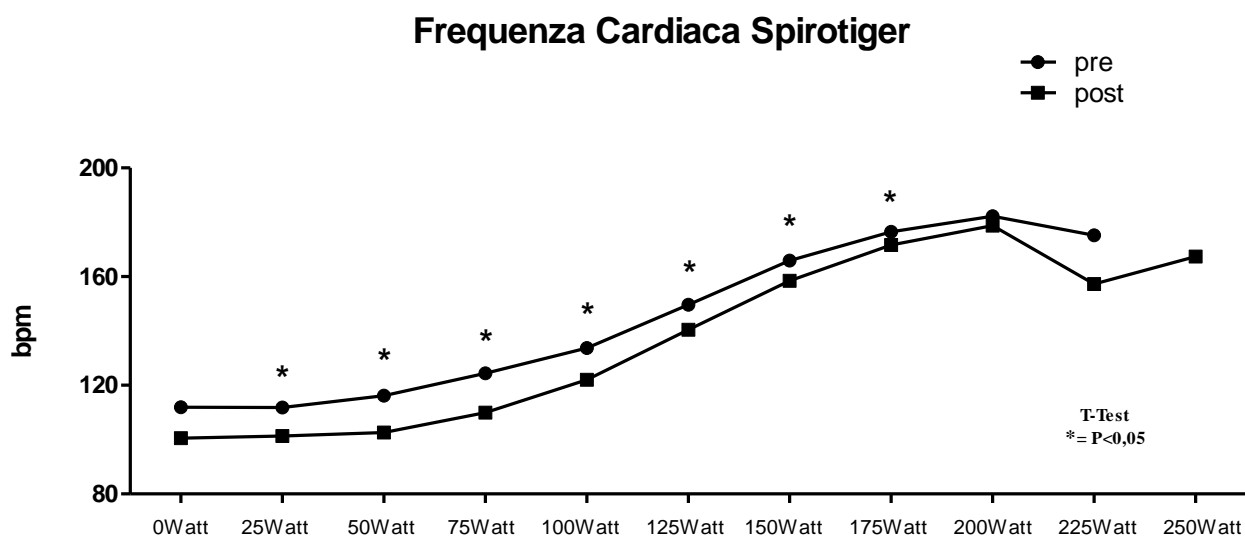


Grafico 4.24 andamento della Frequenza Cardiaca raggiunta dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T_0 e T_1 . In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

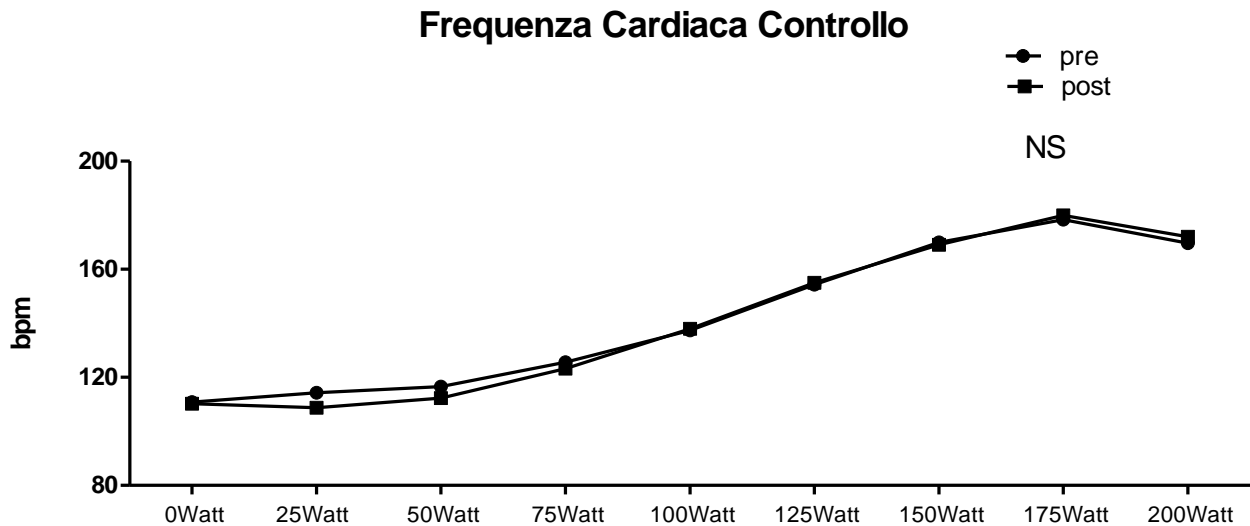


Grafico 4.25: andamento della Frequenza Cardiaca raggiunta dai soggetti del gruppo di controllo durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T_0 e T_1 . In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

Nei grafici si può notare come la frequenza cardiaca sia diminuita al tempo T_1 , rispetto al tempo T_0 , soltanto nei soggetti del gruppo sperimentazione. Possiamo quindi affermare che a parità di frequenza cardiaca possiamo eseguire un esercizio più intenso dopo il mese di allenamento. Utilizzando il metodo Test T di Student per dati appaiati, possiamo calcolare dove i valori della FC risultano significativi rispetto alla potenza erogata in termini di watt.

Valutazione della soglia anaerobica con il metodo V-slope

La metodica è già stata spiegata in precedenza.

	VO2 PRE	VO2 POST	Watt PRE	Watt POST
2	1404,75	1613,85	110	115
3	1370,84	1314,58	110	110
4	1347,33	1401,01	105	110
5	1501,58	1853,86	125	135
6	1655,14	1482,20	115	110
Media	1455,93	1533,10	113	116
Dev. St	125,92	106,89	7,58	10,84

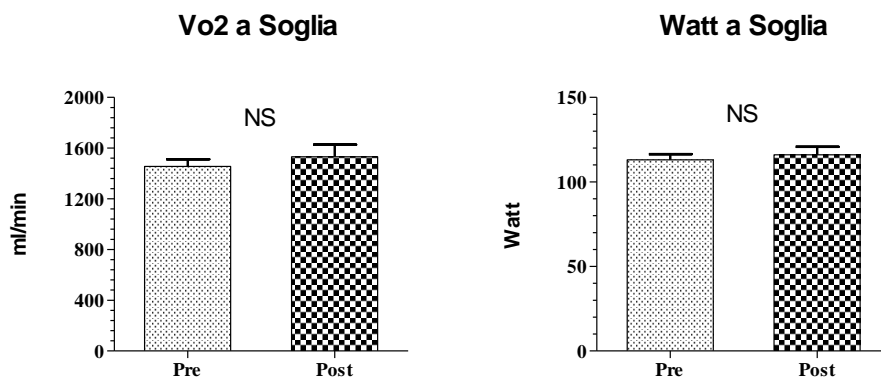


Tabella 4.12 e Grafico 4.26 valori di VO_2 e Watt raggiunti alla Soglia Anaerobica al tempo T_0 e T_1 .

Pletismografia induttiva

La tabella seguente mostra le medie relative ai parametri principali registrati da Lifeshirt, l'Angolo di Fase e percentuale di contributo della gabbia toracica. I valori indicati sono messi in relazione ai watt, in questo modo vediamo l'andamento durante la progressione del test al Cicloergometro. I dati presentati si riferiscono al tempo T_0 e T_1 . Non sono stati inseriti i risultati del gruppo di controllo in quanto non ci sono state variazioni significative, e gli andamenti sono stati simili a quelli del gruppo di sperimentazione.

	Ph Angle PRE	PhAnlge POST	% RC PRE	% RC POST
rest	12,78	10,95	77,37	78,77
25 watt	11,52	10,07	77,07	81,08
50 watt	13,96	9,27	78,71	79,93
75 watt	13,12	9,88	79,21	79,64
100 watt	8,48	10,60	83,48	81,74
125 watt	13,42	16,35	84,34	82,23
150 watt	15,74	15,21	83,73	83,31
175 watt	14,20	14,44	83,77	83,09
200 watt	15,30	11,53	76,18	89,18
225 watt	14,67	14,45	66,32	89,80
250 watt		18,76		90,59

Tabella 4.13 medie dei valori ottenuti di PhAngle e %RC all'aumentare dei watt.

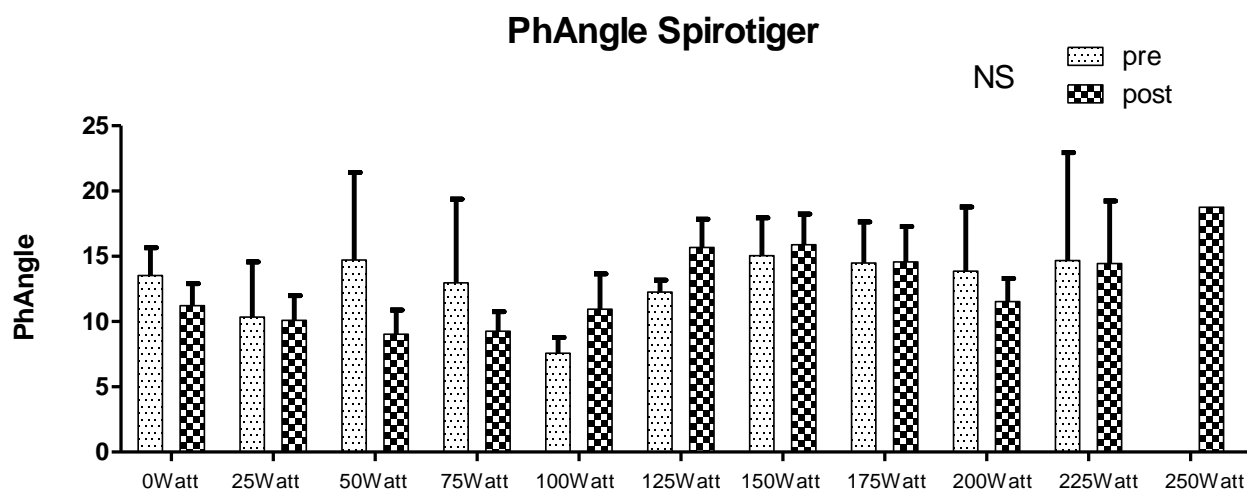


Grafico 4.27 andamento dell'Angolo di Fase ottenuto dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Ad ogni incremento di watt vediamo nella colonna a destra PhAng al tempo T_0 e in quella a sinistra al tempo T_1 .

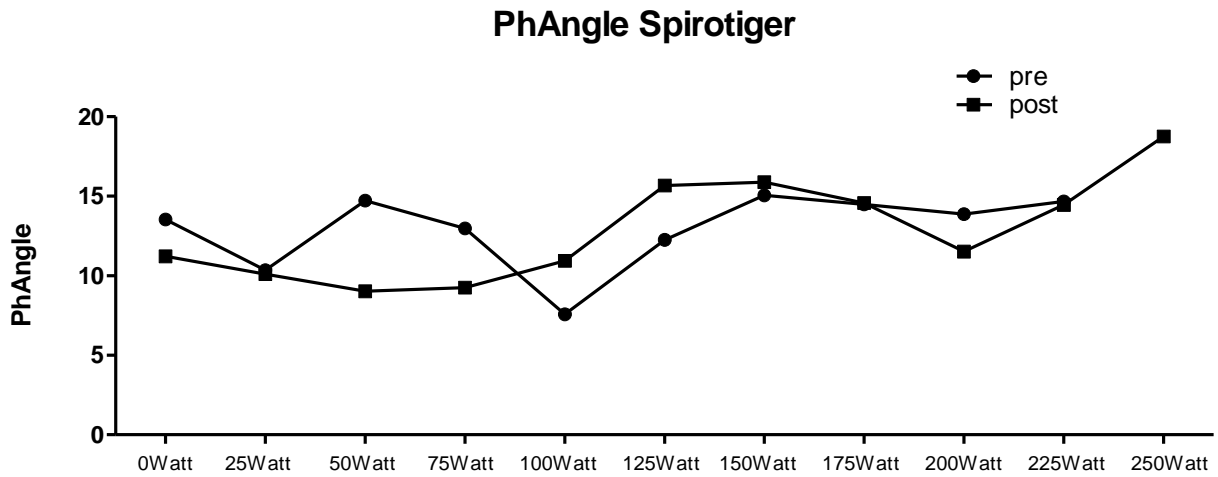


Grafico 4.28 andamento dell'Angolo di Fase dei soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test a T_0 e T_1 .

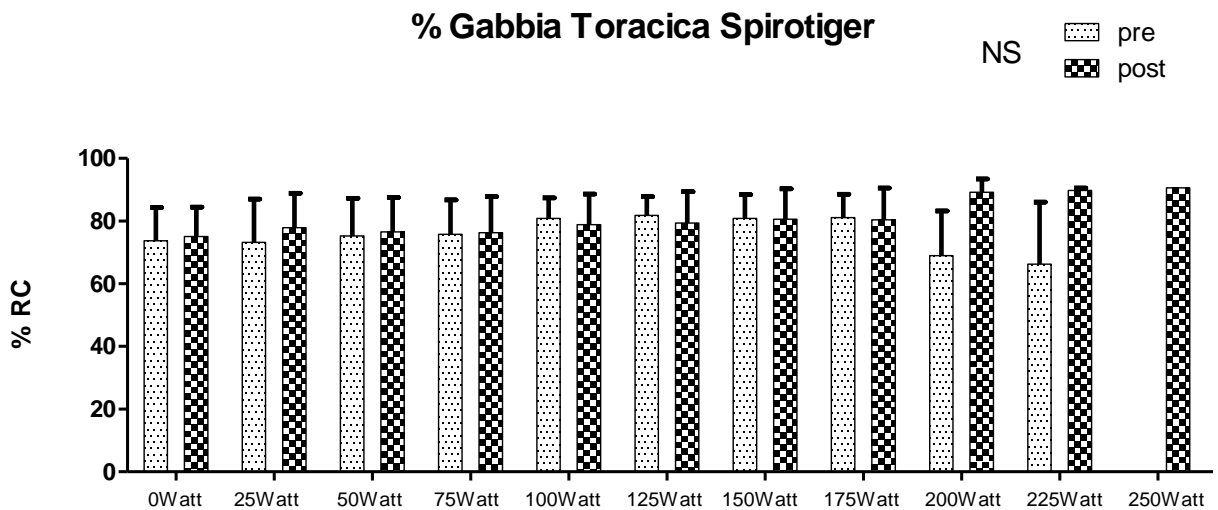


Grafico 4.29: andamento del contributo della Gabbia Toracica ottenuto dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Ad ogni incremento di watt vediamo nella colonna a destra %RC al tempo T_0 e in quella a sinistra al tempo T_1 .

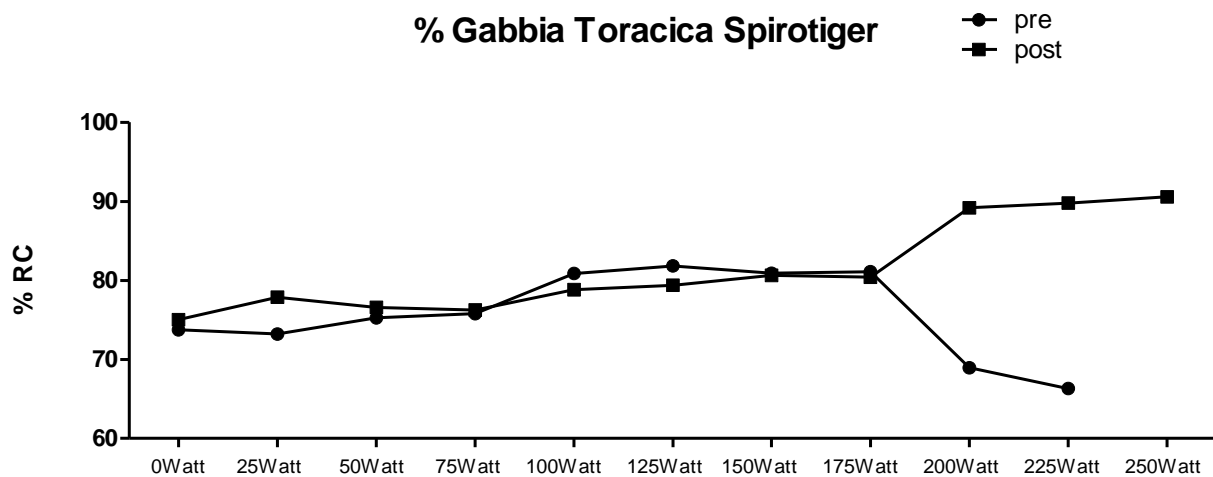


Grafico 4.30 andamento del contributo della Gabbia Toracica dei soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test a T_0 e T_1 .

L'analisi dei parametri ottenuti con la pletismografia induttiva non hanno dimostrato nessuna differenza significativa. Questi risultati sono attribuiti al fatto che il test è stato effettuato al cicloergometro.

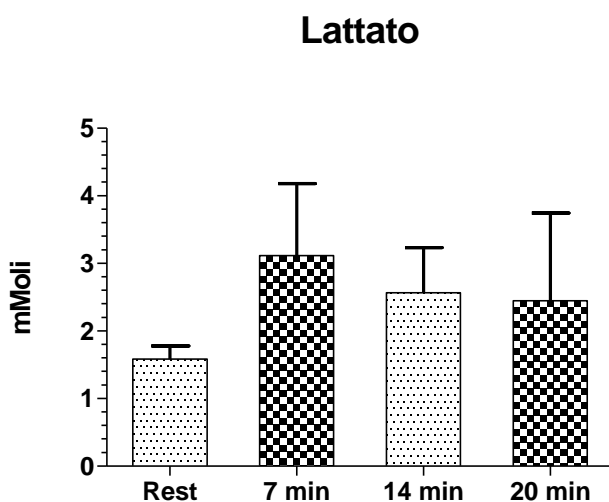
Lattato

Al termine del mese di allenamento con Spirotiger, le ragazze del gruppo di sperimentazione hanno eseguito un allenamento supervisionato con l'obiettivo di monitorare l'andamento del lattato ematico. Il prelievo è stato effettuato prima di iniziare la seduta, dopo 7 minuti, dopo 14 minuti e alla fine della prova dopo i 20 minuti.

Nella tabella seguente abbiamo riportato i risultati ottenuti relativi alle mMoli di lattato. Non sono stati riscontrati risultati significativi.

	REST	dopo 7 min	dopo 14 min	dopo 20 min
1	1,3	1,7	4,8	1,6
2	1,8	1,3	1,6	0,9
3	1,6	1,4	1,1	1
4	2,4	7,6	2,7	1
5	1,1	1,7	1	1,3
6	1,3	5	4,2	8,9
Media	1,58	3,12	2,57	2,45
Dev. St	0,4708	2,6042	1,6256	3,1703

Tabella 4.13 e Grafico 4.31 prelievo del lattato nei soggetti del gruppo di sperimentazione nei vari momenti della seduta di allenamento con Spirotiger .



Scala di Borg

Durante il test incrementale al Cicloergometro è stato valutato anche il grado di dispnea ogni minuto. Ai soggetti veniva chiesto minuto per minuto qual'era il loro livello di fatica respiratoria e di fatica muscolare. In tutti i casi il test è terminato a causa dell'esaurimento muscolare, come vedremo nei successivi grafici. Nelle tabelle sottostanti sono stati indicati i valori relativi alla scala di Borg indicati dalle ragazze durante il test.

GRADO DI FATICA MUSCOLARE

Borg muscoli PRE (spirotiger)										
	rest	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		min	min	min	min	min	min	min	min	min
2	0	0	1	2	5	7	8	9	10	
3	0	0	1	1	3	4	6	9	10	
4	0	0	0	2	3	5	8	10		
5	0	0	1	2	3	5	7	8	9	9
6	0	0	0	1	2	4	5	7	10	
Media	0	0	0,6	1,6	3,2	5	6,8	8,6	9,75	9
Dev.St	0	0	0,55	0,55	1,1	1,22	1,3	1,14	0,5	

Tabella 4.14: valori della scala di Borg indicati dai soggetti del gruppo di controllo al tempo T_0 , relativi alla fatica muscolare

Borg muscoli PRE (controllo)									
	rest	1	2	3	4	5	6	7	
		min	min	min	min	min	min	min	min
7	0	1	2	2	4	5	7	9	
8	0	1	1	1	2	4	6	10	
9	0	1	3	4	5	8	9		
10	0	0	1	2	4	7	10		
11	0	1	1	3	5	7	8	10	
12	0	2	2	3	6	7	9		
Media	0	1	1,67	2,5	4,33	6,33	8,17	9,67	
Dev.St	0	0,63	0,82	1,05	1,37	1,51	1,47	0,58	

Tabella 4.15 valori della scala di Borg indicati dai soggetti del gruppo di sperimentazione al tempo T_0 , relativi alla fatica muscolare..

Borg muscoli POST (spirotiger)											
	rest	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min
2	0	0	0	2	4	7	9	10	10		
3	0	0	1	1	3	5	7	9	10		
4	0	0	0	2	3	5	7	9	10		
5	0	0	0	0	1	1	4	6	7	9	10
6	0	0	0	1	2	6	8	9	10		
Media	0	0	0,2	1,2	2,6	4,8	7	8,6	9,4	9	10
Dev.St	0	0	0,45	0,84	1,14	2,28	1,87	1,52	1,34		

Tabella 4.17: valori della scala di Borg indicati dai soggetti del gruppo di sperimentazione al tempo T₁, relativi alla fatica muscolare.

Borg muscoli POST (controllo)										
	rest	1	2	3	4	5	6	7	8	
	min	min	min	min	min	min	min	min	min	min
7	0	0	2	4	7	8	10	10		
8	0	1	2	3	5	7	9	10		
9	0	1	3	4	5	6	9			
10	0	0	0	1	3	6	10			
11	0	1	2	4	6	8	9	10	10	
12	0	0	0	2	4	8	10	10		
Media	0	0,5	1,5	3	5	7,17	9,5	10	10	
Dev.St	0	0,55	1,22	1,26	1,41	0,98	0,55			

Tabella 4.18: valori della scala di Borg indicati dai soggetti del gruppo di controllo al tempo T₁, relativi alla fatica muscolare

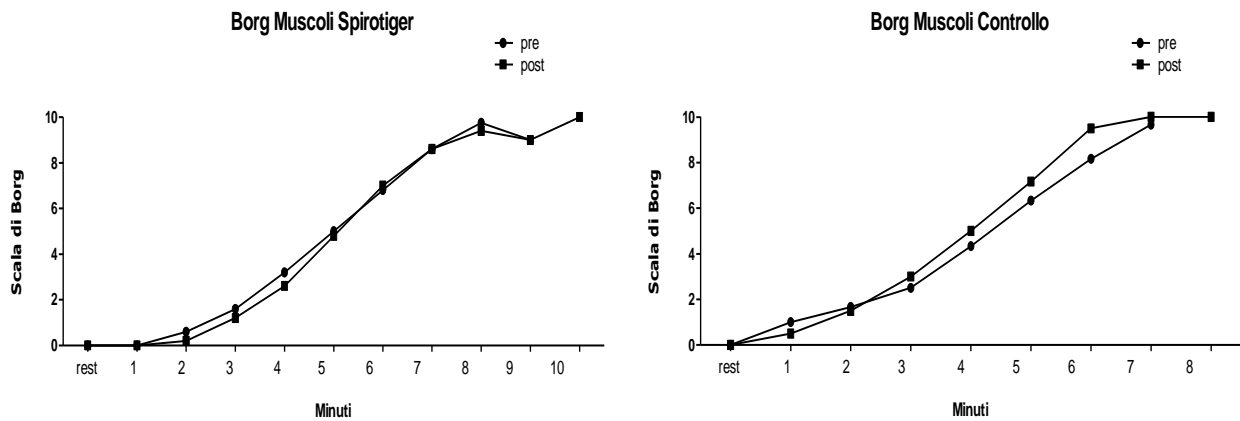


Grafico 4.32 andamento della dispnea avvertita dai soggetti come fatica respiratoria nei primi due grafici e come fatica muscolare nei secondi, all'inizio ed alla fine dello studio. I grafici a sinistra mostrano i risultati del gruppo sperimentale mentre a destra quelli del gruppo di controllo

Nel seguente grafico vediamo meglio il miglioramento della dispnea in quanto è indicato per ogni incremento di watt il grado di fatica percepito dai soggetti. Al secondo, terzo quarto step come vediamo nel grafico, la fatica percepita è diminuita significativamente dopo il periodo dell'allenamento con Spirotiger, cosa che non si è verificata nel gruppo di controllo.

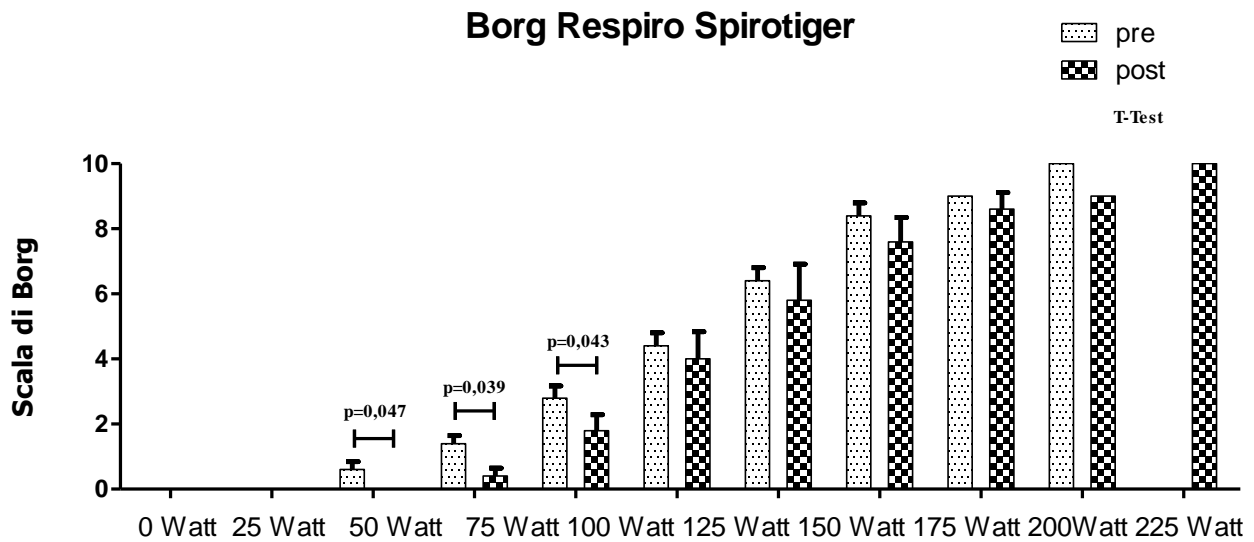


Grafico 4.33 Progressione della dispnea respiratoria percepita dai soggetti del gruppo di sperimentazione. Ad ogni incremento di watt vediamo nella colonna a destra il Borg al tempo T₀ e in quella a sinistra al tempo T₁, e la relativa significatività.

E' interessante notare come la dispnea quindi la fatica respiratoria nei soggetti che hanno effettuato l'allenamento con Spirotiger è diminuita nella fase T₁ rispetto alla fase T₀, mentre la fatica muscolare è rimasta quasi invariata.

4.5 Conclusioni

Analisi statistica

L'analisi dei dati ricavati è stato eseguito tramite analisi della varianza attraverso il sistema Anova, una tecnica statistica che verifica le differenze fra le medie di una variabile dipendente in gruppi diversi, con scopo di misurare l'errore sperimentale. L'estrazione dei dati significativi è stata compiuta attraverso il test di Bonferroni in cui si andavano a confrontare dati appaiati.

Il tutto è stato statisticamente controllato attraverso il metodo T Test in cui si verifica se due variabili hanno medie, varianze o distribuzioni uguali.

Nella discussione verranno analizzati solo i dati relativi al gruppo sperimentale. I soggetti del gruppo di controllo non hanno, infatti, mostrato alcuna differenza significativa per nessun parametro

Osservando i dati ottenuti da questo studio possiamo desumere le seguenti considerazioni.

Per quanto riguarda l'applicabilità del programma di allenamento della muscolatura respiratoria possiamo ritenerci soddisfatti, in quanto nessuno dei soggetti testati ha trovato difficoltà nel compiere e portare a termine il periodo di allenamento. Ciascun soggetto, inoltre ha riferito di non avere avuto particolari problemi nell'utilizzo dello strumento.

Il programma di allenamento è risultato molto efficace per quanto riguarda le prove di funzionalità respiratoria. Infatti, nei soggetti del gruppo sperimentale sono significativamente aumentati i parametri indice di una maggiore efficienza della muscolatura respiratoria: la Capacità Vitale (CV), indice di mobilitazione di una maggiore quantità di aria durante un ciclo respiratorio massimale; la Massima Pressione dei Muscoli Inspiratori (MIP), chiaro indice di efficienza di quest'ultimi; la Massima Ventilazione Volontaria (MVV), indice della capacità di sostenere una ventilazione maggiore nell'unità di tempo.

Possiamo quindi affermare che l'allenamento ha migliorato le prestazioni dei muscoli respiratori permettendo ai soggetti di mobilitare un maggiore volume d'aria.

Il nostro obiettivo era però anche quello di verificare se il miglioramento della prestazione dei muscoli respiratori avesse un effetto positivo anche sulla capacità di esercizio. Innanzitutto abbiamo osservato una significativa riduzione della frequenza cardiaca durante i test, indice di allenamento globale dell'organismo.

Anche il trend del Volume Corrente monitorato durante il test incrementale al cicloergometro ha evidenziato un incremento significativo rispetto al dato basale. I soggetti quindi, all'aumentare dei watt avevano a disposizione un maggior volume d'aria e soprattutto, incrementavano la ventilazione durante esercizio principalmente a carico del Volume Corrente, indice di una ventilazione più efficace.

Per quanto riguarda la durata dell'esercizio ed il carico di lavoro massimo sostenuto, i soggetti dopo l'allenamento sono stati in grado di sostenere un carico di lavoro significativamente maggiore.

Da questo possiamo desumere che i soggetti, grazie all'allenamento dei muscoli respiratori, hanno migliorato oltre che i parametri ventilatori anche la loro capacità di sostenere un esercizio fisico. E' stata effettuata anche l'analisi dei parametri alla soglia anaerobica ma non state riscontrate variazioni significative.

La scala di Borg ha evidenziato una riduzione significativa della fatica respiratoria, è rimasta invariata invece la fatica muscolare; per cui a parità di fatica respiratoria dopo l'allenamento si è raggiunto un carico di lavoro (in watt) superiore. Questo è un dato importante in quanto oltre ad essere migliorate leggermente le prestazioni, anche i soggetti dichiarano una riduzione della dispnea.

Analizzando i dati forniti dalla pletismografia induttiva non vi sono state modificazioni significative tra le prove, né per quanto riguarda la coordinazione toraco-addominale né per quanto riguarda il contributo della gabbia toracica e dell'addome, in quanto l'andamento dell'angolo di fase è apparso altalenante mentre quello della percentuale della gabbia toracica è rimasto pressoché stabile. Questo è probabilmente da attribuire al tipo di esercizio; in questo studio, infatti, i soggetti hanno svolto il test da sforzo al cicloergometro che prevede una posizione del corpo, che non consente modificazioni della postura contrariamente a quanto avviene durante i test da sforzo su treadmill con incremento della pendenza.

I miglioramenti ottenuti sono sicuramente da attribuire all'allenamento della muscolatura respiratoria e non ad una modificazione dello stile di vita. Infatti tutte le valutazioni eseguite con l'Armband non hanno mostrato significative variazioni durante il periodo di allenamento respiratorio.

5 STUDIO CON TRIATHLETI AGONISTI

Alla luce dei due studi condotti, abbiamo deciso di proporre questa nuova metodica di allenamento a Triathleti agonisti (age group) per cercare di elevare i già ristretti margini di miglioramento.

In questo studio sono stati valutati 10 triathleti. Il gruppo studio abbinava al normale lavoro atletico e tecnico, il protocollo di allenamento respiratorio. Il protocollo di training respiratorio si è svolto per complessive quattro settimane, con una frequenza di sette sedute a settimana.

Per questo progetto di ricerca ci siamo avvalsi di una serie di test già spiegati in precedenza, svolti a inizio e fine del ciclo di allenamento della muscolatura respiratoria.

Altri 10 soggetti, omogenei per età sesso e prestazione, non sottoposti all'allenamento respiratorio, hanno costituito il gruppo controllo.

5.1 Soggetti

Sono stati studiati 10 soggetti di sesso maschile praticanti il triathlon a livello amatoriale; I dati antropometrici sono riportati in [Tab. 1].

NOME	ETA'	PESO	B.M.I.
1	27	74	22,5
2	21	77	23,5
3	23	85	24,8
4	24	71	23,1
5	33	68	12,00
6	42	67	22,1
7	30	81	21,5
8	25	70	22,8
9	36	79	25,2
10	23	70	21,6
MEDIA	28,4	74,2	22,9
DEV. ST	6,8	6,1	1,3

Tabella 1: *Caratteristiche antropometriche dei 10 soggetti.*

5.2 Disegno dello studio

Lo studio quindi è stato suddiviso in 4 fasi:

1. Valutazione di base ;
2. Periodo di allenamento con lo Spirotiger ;
3. Valutazione di controllo

5.2.1 Valutazione di base

Spirometria

E' stata eseguita la curva di espirazione forzata per l'individuazione della capacità vitale forzata, necessaria per stabilire il volume della sacca di allenamento, come già spiegato dettagliatamente in precedenza.

Test da sforzo

Per la valutazione della capacità di esercizio ci si è avvalsi sia del test al cicloergometro sia del test su treadmill ambedue eseguiti in modalità massimale sia in modalità endurance.

Test da sforzoal cicloergometro

Il Test **Conconi** in bici, è un test incrementale massimale . I soggetti partono da una velocità iniziale relativamente contenuta e, a intervalli regolari, aumentano costantemente il ritmo, sino ad effettuare nelle fasi finali della prova, uno sprint massimale. Gli atleti devono essere ben riposati e non aver svolto lavoro fisico impegnativo nei due giorni precedenti la prova. Il test deve essere eseguito lontano dai pasti principali ed è sconsigliata l'assunzione di sostanze, come la caffeina, che influenzano il ritmo cardiaco e alterano il risultato finale del test. Dopo aver indossato il cardiofrequenzimetro gli atleti effettuano un riscaldamento progressivo di almeno 30' seguiti da brevi variazioni di velocità prossime alla massima intensità. Durante il test gli atleti effettuano degli incrementi di velocità a intervalli regolari, in questo caso specifico partendo da una cadenza di 60 pedalate al minuto si andava aumentando di 1 pedalata ogni 30" fino ad arrivare quasi alla massima velocità, presso la quale l'atleta effettua un sprint massimale fino all'esaurimento totale.



Nella foto uno degli atleti, impegnato nell'esecuzione del test Conconi in bici; si può notare che l'atleta durante il test è impegnato nel controllo della cadenza di pedalata

Test da sforzo su treadmill

Il protocollo del test da sforzo di corsa su treadmill è molto simile a quello del test al cicloergometro. Dopo aver indossato il cardiofrequenzimetro gli atleti effettuano un riscaldamento di circa 15 minuti durante il quale svolgono delle progressioni di circa 40 secondi.

Successivamente, a fine riscaldamento, l'atleta si ferma indossa il flussometro digitale a turbina, che servirà per l'analisi dei gas, e il cardio frequenzimetro; in questo test il soggetto partendo da una velocità di base di 8km/h aumentava la velocità di 0.3km/h ogni 30 secondi.

Come nel test precedente anche qui l'obiettivo è quello di portare il soggetto a una velocità sub massimale, ossia quasi al totale esaurimento muscolare, e di far eseguire uno scatto finale.

Test di endurance su cicloergometro e treadmill

I test di endurance consistevano nelle prove di bici e di corsa che dovevano essere svolti per 10 minuti al 90% della velocità o wattaggio trovati al soglia aerobica, rilevata nei precedenti test massimali.

La prova veniva effettuata sia in bici che di corsa con un tempo di riposo di circa 15 minuti.

I valori poi utilizzati per la valutazione statistica sono elencati di seguito:

-il tempo di esecuzione del test;

-Valutazione respiratoria

FVC-MVV-MIP

-Risposta metabolica:

.VO₂ (ml/min);

.VO₂/kg(ml/min/kg);

.VO₂ endurance;

-Risposta ventilatoria durante lo sforzo:

.Ve basale;

.Ve Start;

.Ve RC;

.Ve massima;

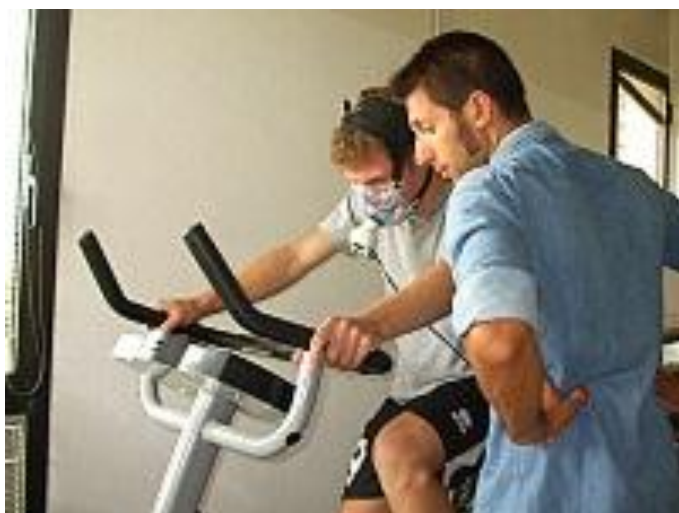
-Risposta cardiovascolare che ha fornito :

.FC max;

.FC alla soglia;

-Velocità espressa in km/h sia a intensità massima che alla soglia;

-watt sia massimali che alla soglia.



4.2.2 Ciclo introduttivo di allenamento

Dopo il ciclo introduttivo analogo a quelli già utilizzati negli altri studi, sono stati decisi il volume della sacca da utilizzare, pari al 60% della Capacità Vitale e la frequenza respiratoria, nella prima settimana è stata fissata a 24 atti respiratori al minuto e

aumentata progressivamente fino ad arrivare alla 4° settimana ad effettuare allenamenti alla ventilazione massimale.

I soggetti hanno effettuato 7 sedute di allenamento alla settimana da 20 minuti ciascuna, per un totale di 4 settimane.

Tale incremento progressivo è stato effettuato affinché all'ultima settimana di allenamento il prodotto del volume per la frequenza risultasse un valore vicino al 60% della MVV. In questo modo gli incrementi della sacca o della frequenza sono stati individualizzati e sono risultati quindi diversi da soggetto a soggetto allo scopo di raggiungere un obiettivo finale uguale per tutti.

Ad ognuno è stato consegnato un diario dove annotare l'allenamento effettuato.

E' stato inoltre richiesto di non variare gli altri programmi di allenamento e di mantenere la dieta abituale.

4.2.3 Valutazione di controllo

In quest'ultima fase del nostro studio abbiamo ripetuto tutte le misurazioni iniziali, secondo gli stessi protocolli.

4.3 Raccolta e analisi dati

Analisi statistica

1. parametri delle prove di funzionalità respiratoria osservati all'inizio (T_0) e dopo l'allenamento (T_1) sono stati confrontati attraverso il Test di Student per dati appaiati. Un valore di $p < 0,05$ è stato considerato significativo;

2. I dati raccolti durante il test da sforzo sono stati analizzati nell'intervallo tra il 20 e il 100% dello sforzo;

3. I valori medi dei test da sforzo di bici e di corsa, sono stati confrontati attraverso il Test di Student per dati appaiati. Un valore di $p < 0,05$ è stato considerato significativo.

Spirometria

I risultati delle prove di funzionalità respiratoria ai tempi T_0 e T_1 sono stati tabulati messi a confronto. [tab 2-3 e grafici1]

NOME	FEV1	%FEV1	FVC	%FVC	MVV	%MVV	MIP
1	4,62	101,4	6,23	114,5	211	134,7	103
2	3,75	114,4	6,43	116	207	129,1	144
3	5,83	122,5	7,9	139,6	201,8	124,4	55
4	5,34	123	6,87	134,4	237,5	157,6	
5	4,93	117,3	6,04	119,6	223,6	152,2	64
6	4,34	116	4,79	105	221,4	165,2	
7	5,03	100,9	7,12	117,6	221,5	131,5	98
8	4,95	114,8	5,76	113,1	223,8	149,3	83
9	5,13	125,9	5,88	119,5	209	145,8	104
10	5	109,1	6,57	121,1	174	110,5	

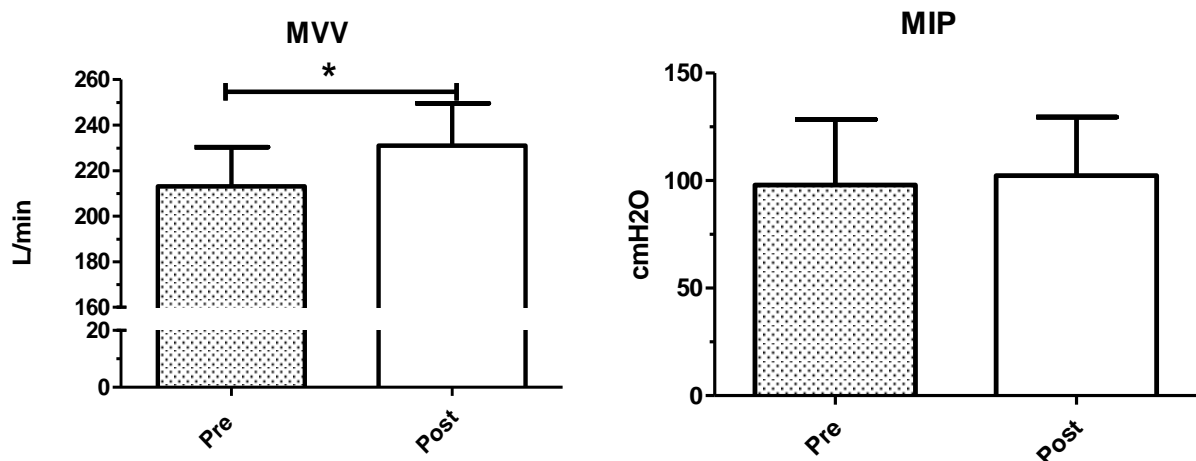
MEDIA 4,9 114,5 6,4 120,0 213,1 140,0 93,0
DEV. ST 0,6 8,6 0,8 10,1 17,2 16,8 29,5

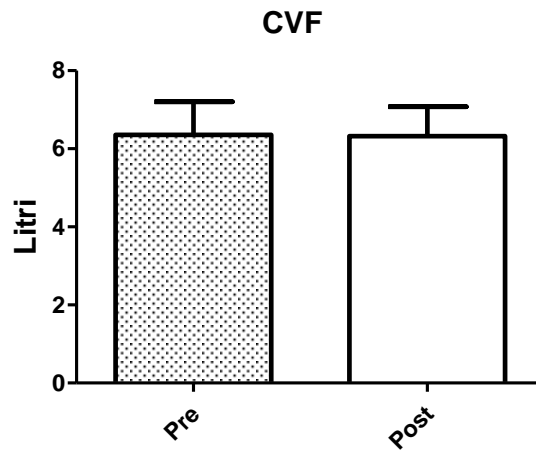
Tabella 2 . valori massimi raggiunti dai soggetti ,nelle prove di funzionalità respiratoria al tempo T0.

NOME	ETA'	PESO	B.M.I.	FEV1	%FEV1	FVC	%FVC	MVV	%MVV	MIP
1	27	72	21,7	4,62	101,5	6,39	117,4	217,8	139,1	105
2	21	76	23,1	3,72	126,5	6,57	119,2	247	155,4	139
3	23	83,5	24,3	5,85	121,9	7,61	133	237,7	145,4	66
4	23	70	22,9	5,32	122,5	7,03	137,5	234,2	155,4	
5	33	67	21,1	5	118,9	6,16	121,8	223,6	152,2	68
6	43	66	21,8	4,41	117,7	4,86	106,6	245,5	183,2	
7	30	80	21,2	4,93	99	6,73	111,1	247,4	146,9	105
8	25	70	22,8	4,87	112,9	5,66	111,2	230,3	153,6	89
9	36	77	24,5	5,3	130,1	6,03	122,5	240,2	167,6	110
10	23	70	21,6	4,71	102,7	6,61	121,8	186,3	118,3	

MEDIA 28,4 73,2 22,5 4,9 115,4 6,4 120,2 231,0 151,7 97,4
DEV. S 7,1 5,7 1,2 0,6 11,0 0,8 9,6 18,6 17,0 25,6

Tabella 3. valori massimi raggiunti dai soggetti ,nelle prove di funzionalità respiratoria al tempo T1.





Grafici 1. Valori relativi Ai test spirometrici (MVV, MIP e CVF) al tempo T0 e T1;

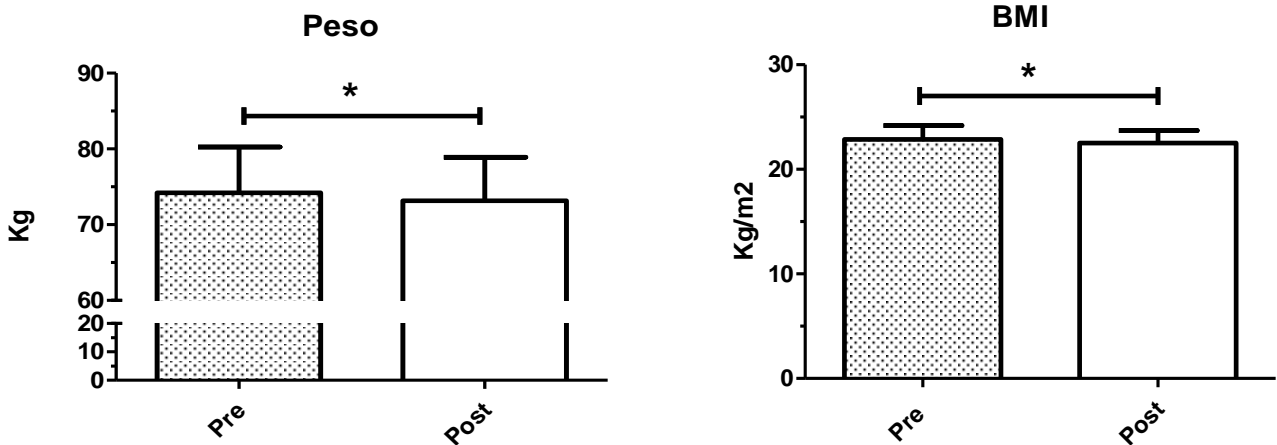


Grafico 2. Valori relativi al peso espresso in Kg e al BMI al tempo T0 e T1;

TABELLE DEI VALORI VENTILATORI OTTENUTI NEI TEST CONCONI AL CICLOERGOMETRO

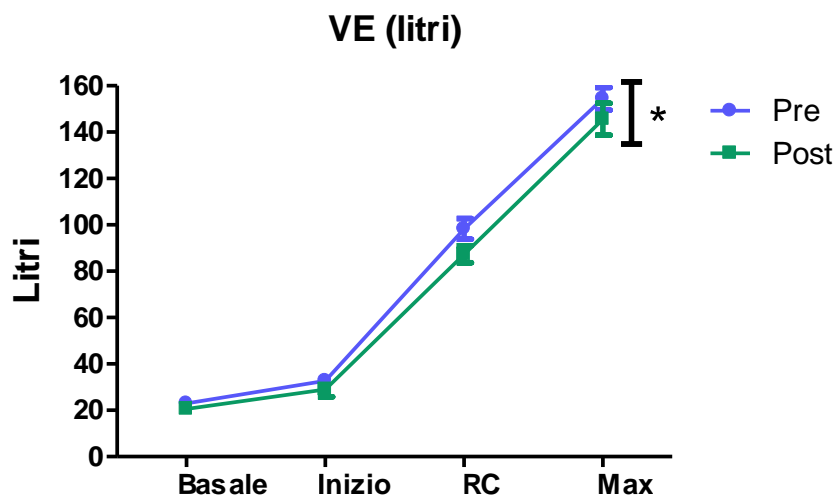


GRAFICO 3 Valori ventilatori rilevati durante il test Conconi della bici al tempo T0-T1 ;

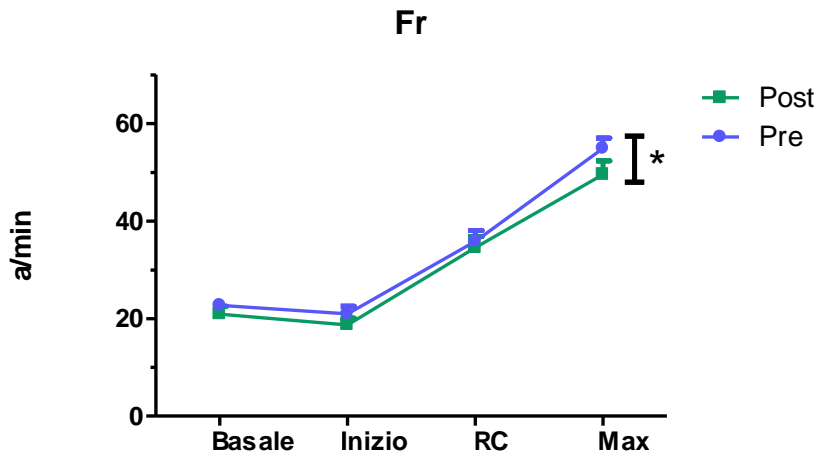


GRAFICO 4 andamento frequenza respiratoria durante le prove in bici al tempo T0-T1

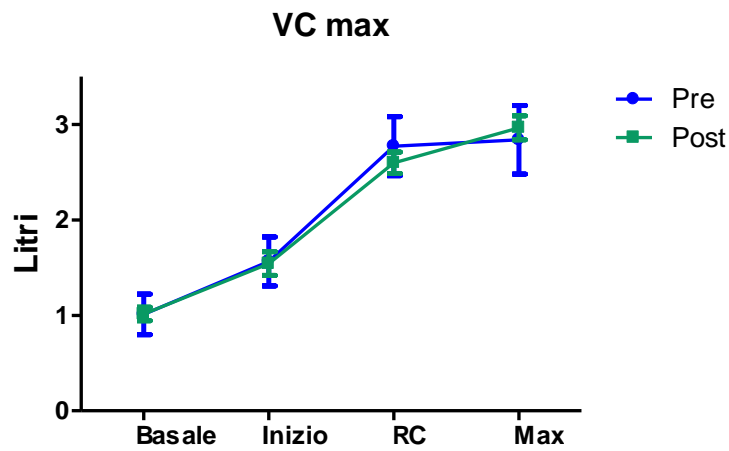
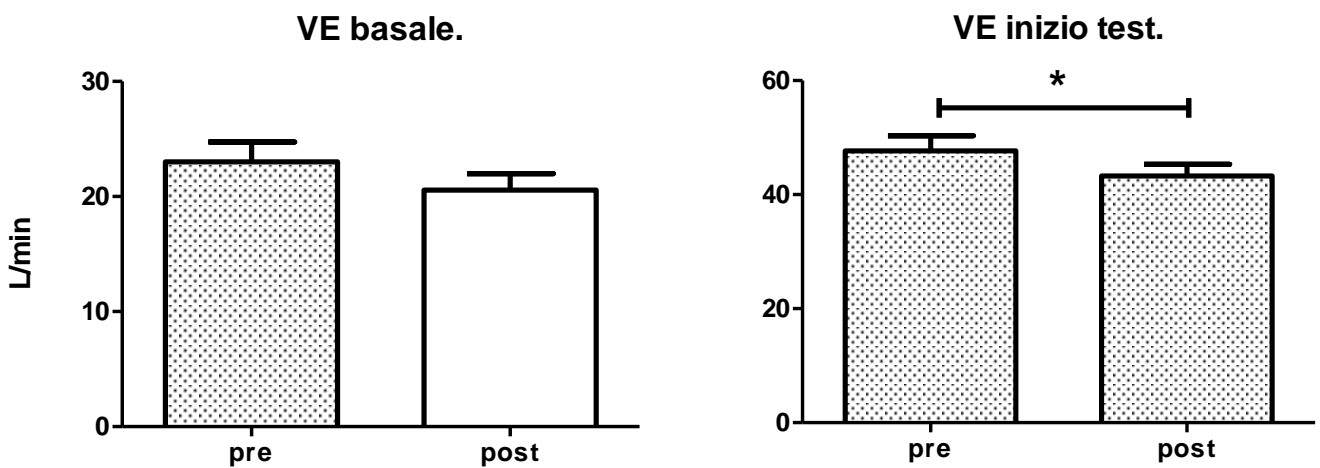
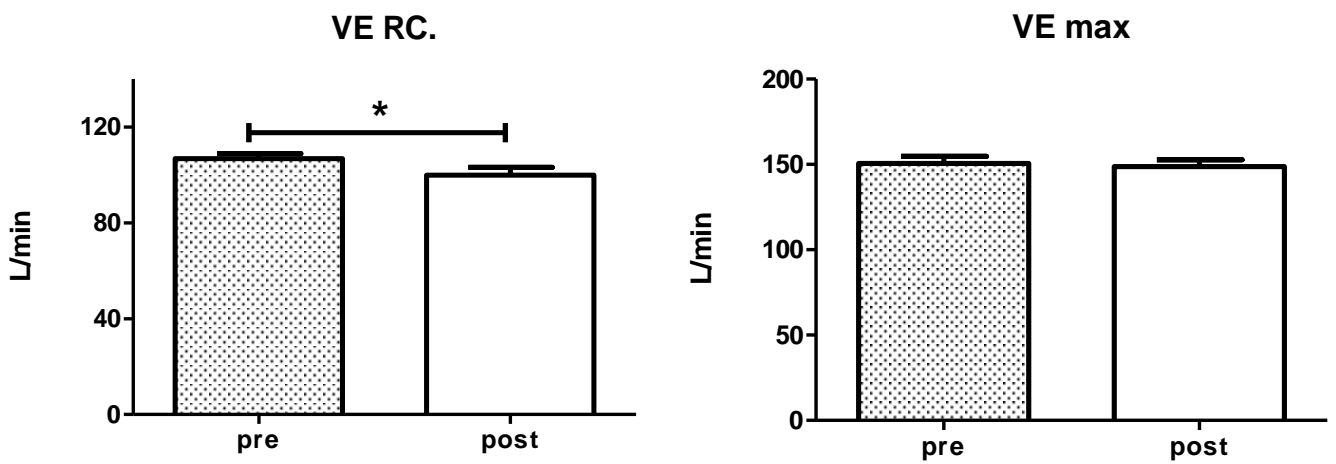


GRAFICO 5 andamento volume corrente durante le prove in bici al tempo T0-T1





GRAFICI 6 andamento ventilazione nelle prove al cicloergometro, i risultati mostrano un miglioramento significativo (T.Test) allo start e alla soglia RC.

VALORI VENTILATORI OTTENUTI NELLE PROVE SU TREADMILL

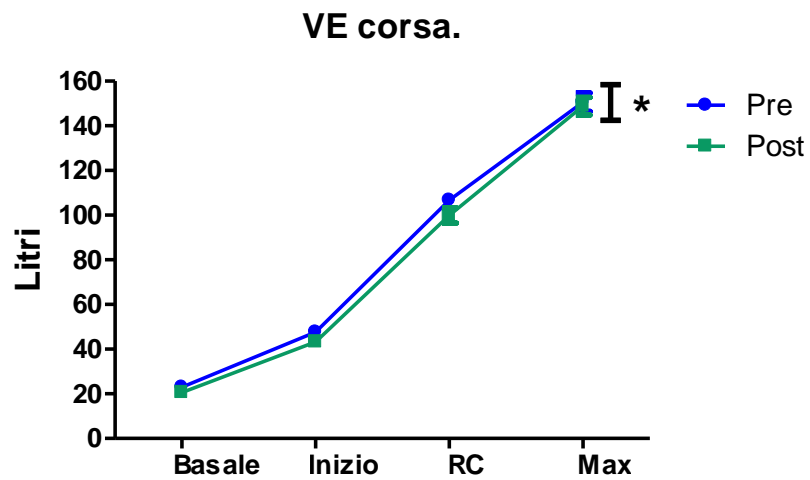


GRAFICO 7 Ventilazioni significative nella corsa al tempo T0 e T1;

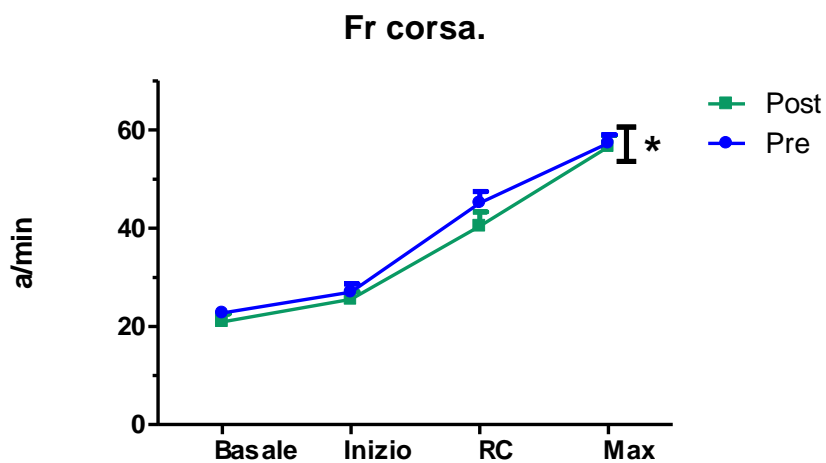


GRAFICO 8 andamento frequenza respiratoria durante la prova di corsa al tempo T0 e T1

VC corsa.

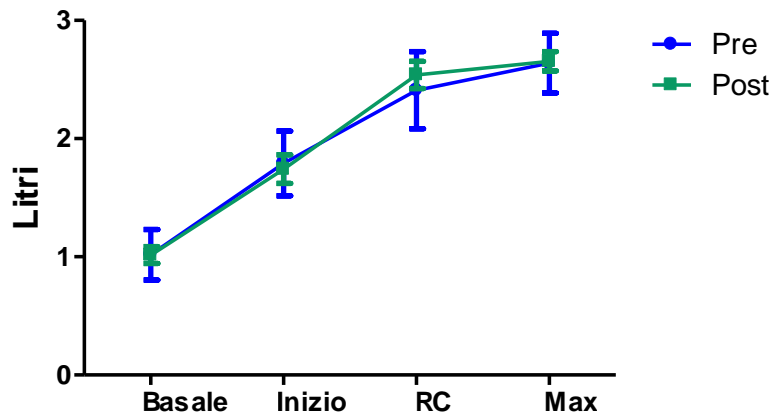
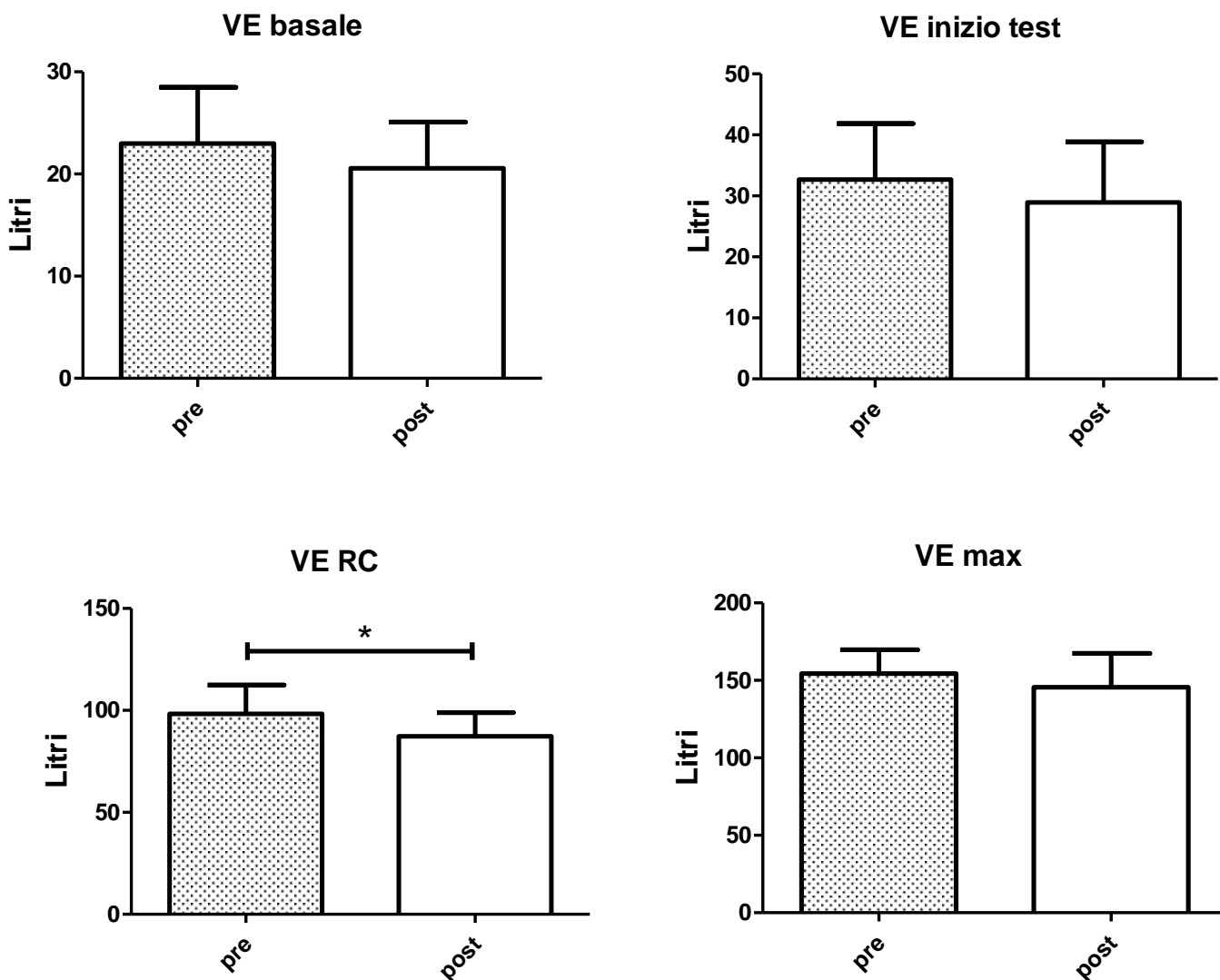


GRAFICO 9 andamento volume corrente durante la prova di corsa al tempo T0 e T1



GRAFICI 10 riportanti i valori di della ventilazione durante i test di corsa a piedi, notiamo che i valori sono tutti migliorati e in modo significativo (T.Test) al punto di soglia RC.

PERFORMANCE OTTENUTE

Analizzeremo ora tramite grafici a istogrammi, quali siano stati i risultati maggiormente rilevanti che i soggetti hanno fatto registrare in termini di prestazioni.

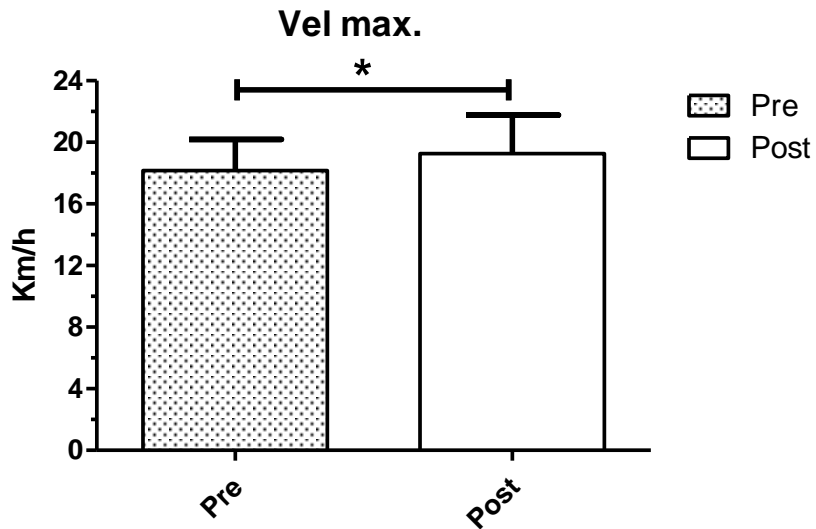


Grafico 11 Valori significativi (T. Test) raggiunti dai soggetti nella corsa a piedi al tempo T0-T1

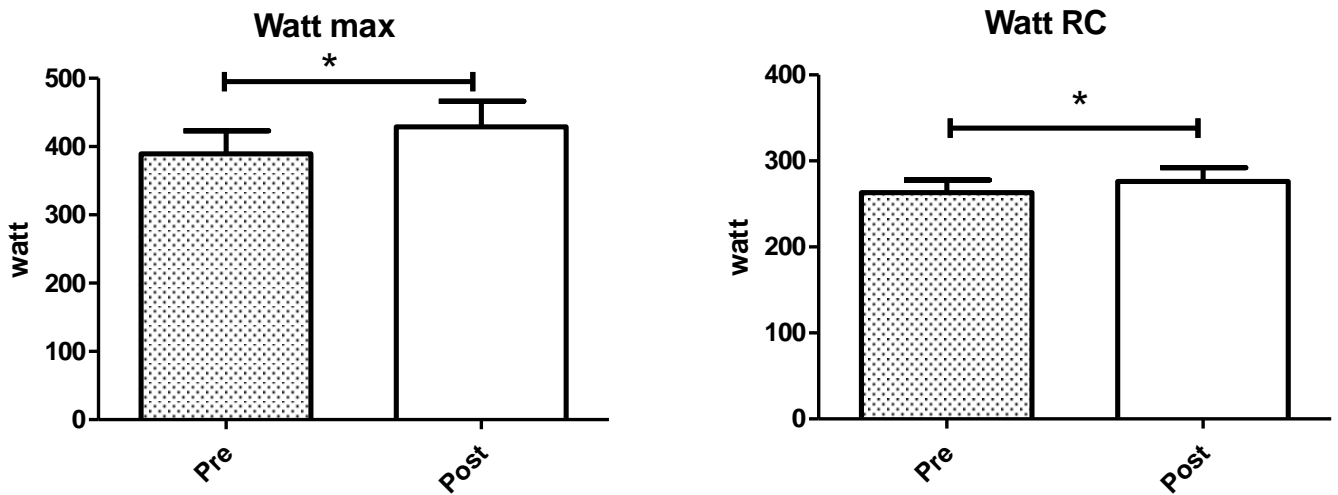


Grafico 12 esprime quali siano stati i valori maggiormente significativi (T. Test), nelle prove al cicloergometro al tempo T0-T1

ANDAMENTO DEL CONSUMO DI OSSIGENO DURANTE I TEST CONCONI

Per giustificare e aver un ulteriore riscontro del miglioramento ottenuto nella performance atletica, analizziamo anche l'andamento del consumo d'ossigeno riscontrato nei test prima e dopo l'allenamento dei muscoli respiratori.

CORSA

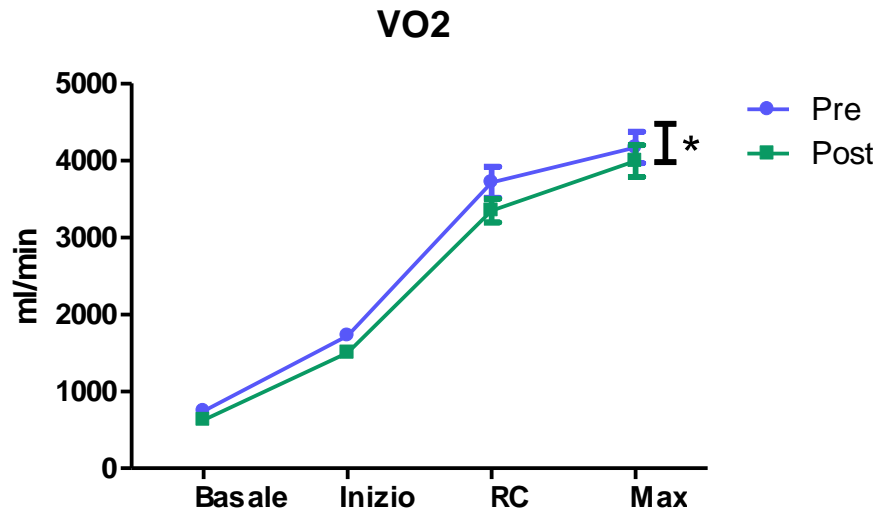


Grafico 13 andamento del VO2 in funzione della velocità Km/H raggiunti nella corsa.

In questo grafico sono stati rapportati il VO2 (espresso in L/MIN) con i Km/h raggiunti durante il test; per il confronto tra il test T0 e T1 sono stati individuati 4 punti (basale,allo start, il punto di soglia e il massimale).

Dalle due linee si può facilmente notare come dopo l'allenamento con lo spirotiger all'aumentare dei Km/h ci sia una significativa diminuzione del consumo di ossigeno.

BICI

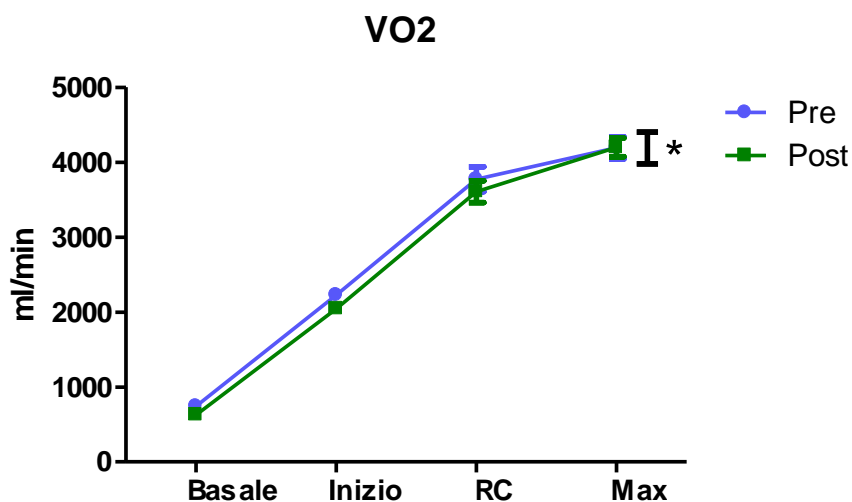


Grafico 14. Andamento della VO₂ in funzione dei WATT erogati.

In questa tabella sono stati rapportati il VO₂ (espresso in L/MIN) con i WATT erogati durante il test; per il confronto tra i test T0e T1 sono stati individuati 4 punti (basale, allo start, il punto di soglia e il massimale).

Dalle due linee si può notare come dopo l'allenamento con lo spirotiger all'aumentare dei watt corrisponda una significativa diminuzione del consumo di ossigeno.

CORSA

Variabili	PRE MEDIA ± DEV. ST	POST MEDIA ± DEV. ST	TEST T (p<0,05)
VO2 8Km/h	2236±240	2005±280	0.001
VO2 Basale	741±250	623±146	0.041
Km/h MAX	18.1±2	19.1±2	0.015
VO2 RC	3773±523	3691±500	0.018
VE START	47±8.1	41±6.4	0.0081
VE RC	109.3±8	111±19.3	0.006
RF RC	46.8±7.7	45.2±9.9	0.015

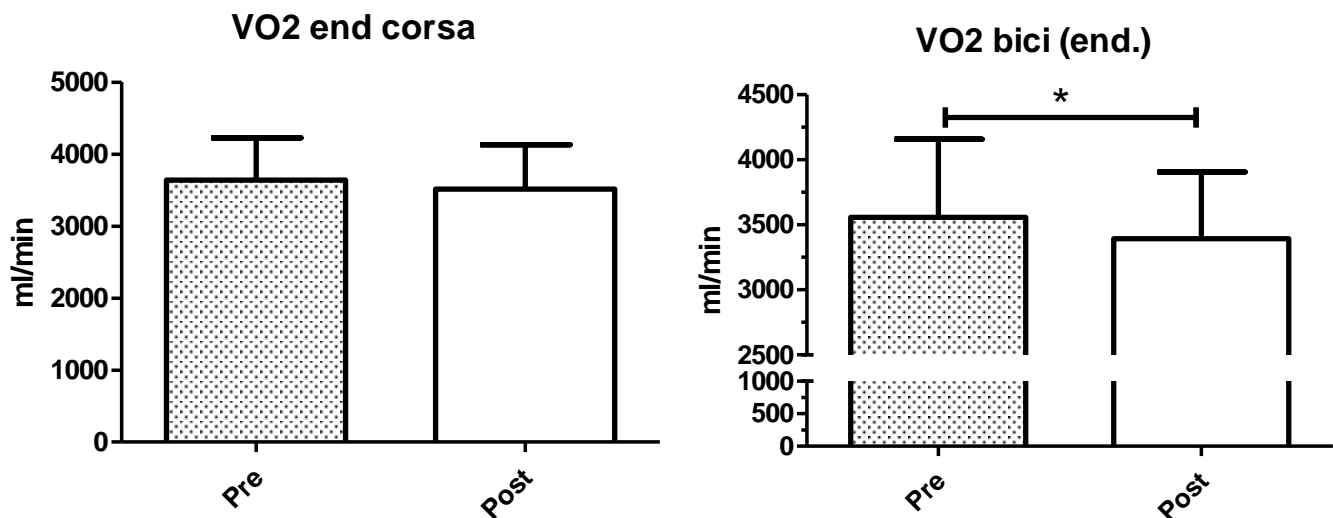
BICI

Variabili	PRE MEDIA ± DEV. ST	POST MEDIA ± DEV. ST	TEST T (p<0,05)
VO2 90WATT.	16391±94	1434±109	0.025
VO2 RC	3733±640	3588±636	0.011
Watt RC	268±43	282±47	0.045
Watt max	4041±05	440±113	0.056
VE START.	31.2±6.6	26.7±8.2	0.056
VE RC	99.4±14	99.2±14.6	0.009
VT RC	2.714±0.4	2.729±0.4	0.034

I valori medi delle prove di funzionalità: respiratoria, dei test Conconi e dei test di endurance di bici e corsa, sono stati confrontati attraverso il Test di Student per dati appaiati. Un valore di $p < 0,05$ è stato considerato significativo.

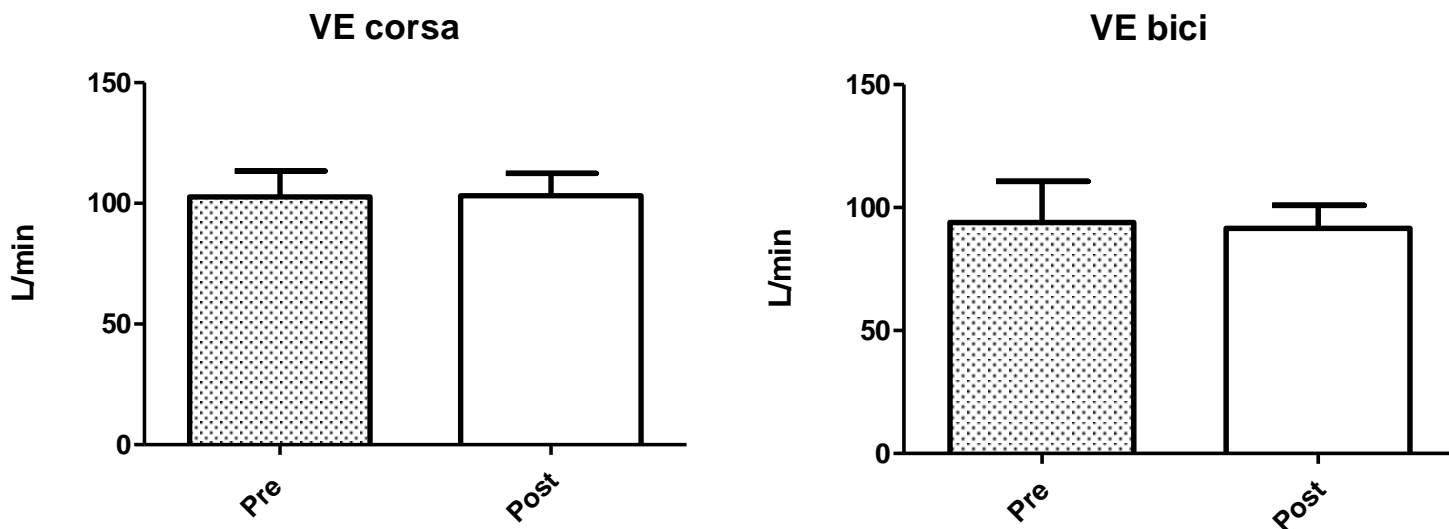
In queste tabelle abbiamo elencato gli unici dati che sono risultati significativi .

VALORI CONSUMO DI OSSIGENO TEST ENDURANCE BICI E CORSA



Grafici 15 consumo d'ossigeno prove di endurance corsa e bici al tempo T0-T1, valore significativo (T. Test) per la prova in bici.

VALORI VENTILAZIONE PROVE DI ENDURANCE



GRAFICI 16 ventilazione nelle prove di corsa a piedi e in bici al tempo T0-T1

Scala di Borg

Durante i test di endurance, al cicloergometro e su treadmill, è stato valutato anche il grado di dispnea e di affaticamento muscolare attraverso la scala di Borg.

Nelle tabelle sottostanti sono stati indicati i valori relativi alla scala di Borg indicati dai soggetti durante i Test, il grado di dispnea risulta diminuito in modo significativo sia nella corsa che nella bici.

BORG ENDURANCE			
CORSA PRE	CORSA POST	BICI PRE	BICI POST
8	7	8	7
7	7	7	6
7	7	6	6
8	7	7	7
6	6	8	7
7	6	8	7
8	7	7	7
7	6	7	7
7	6	8	7
7	6	7	6
Media 7,2	6,5	7,3	6,7
Dev. St 0,6	0,5	0,7	0,5

Tabella 4 Scala di Borg al tempo T0 e T1 nei test su treadmill e cicloergometro;

È interessante notare come la dispnea relativa alla fatica respiratoria nei soggetti che hanno effettuato l'allenamento con lo Spirotiger è diminuita nella fase T1 rispetto alla fase T0 (t. test <0,05), mentre la fatica muscolare è rimasta quasi invariata.

5.4 Gruppo di controllo

10 soggetti omogenei per età, sesso ed attività sportiva hanno costituito il gruppo di controllo. Questi soggetti sono stati sottoposti agli stessi protocolli di studio (non hanno svolto i test in bici), ma non hanno effettuato l'allenamento con lo Spirotiger. E' stato loro richiesto di non modificare i livelli di allenamento e sono stati rivalutati a distanza di 1 mese.

Di seguito abbiamo le tabelle con i valori antropometrici e di spirometria del gruppo di controllo [tab 5-6]

T0

ETA'	PESO	B.M.I.	FEV1	%FEV1	FVC	%FVC	MVV	%MVV	MIP
31	78	21,8	6,09	128,5	7,02	122,3	227,9	141	96
25	63	20,8	4,18	97,9	4,67	92,9	217,7	146,4	152
33	72	24,60	5,4	138,4	6,29	135,3	194,4	140,3	151
33	70	20,9	4,41	99,8	6,13	114,8	184,9	120,9	83
24	69	22,7	5,34	123	6,67	130,4	237	157	98
26	72	24	4,44	105,7	5,6	113,1	180	122,7	80
45	84	26,8	3,76	98,6	5,52	117,9	154	113,3	134
43	62	20,7	5,01	135,3	5,62	124,7	219,4	165,2	108
40	76	22,2	5,03	116,7	6,24	118,2	240,4	160,7	132
33	71	21,4	4,9	111,9	5,95	112,5	143,8	94,8	95
33,3	71,7	22,6	4,9	115,6	6,0	118,2	200,0	136,2	112,9
7,4	6,6	2,0	0,7	15,3	0,7	11,6	34,0	22,8	27,1

Tab 5

T1

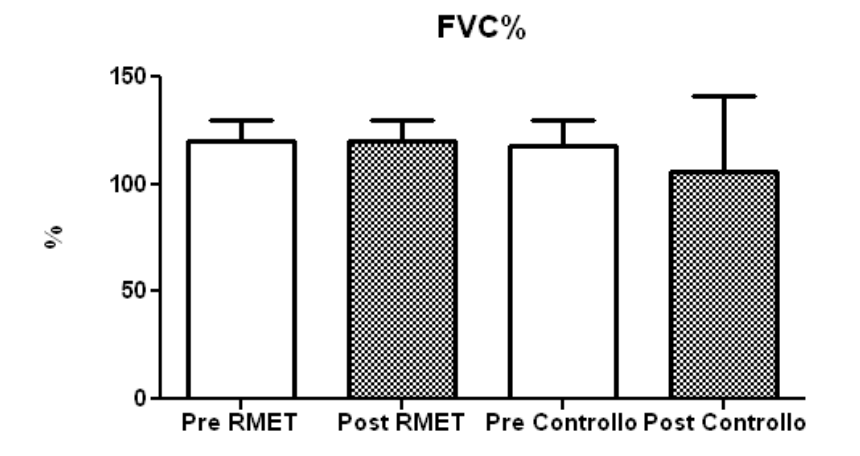
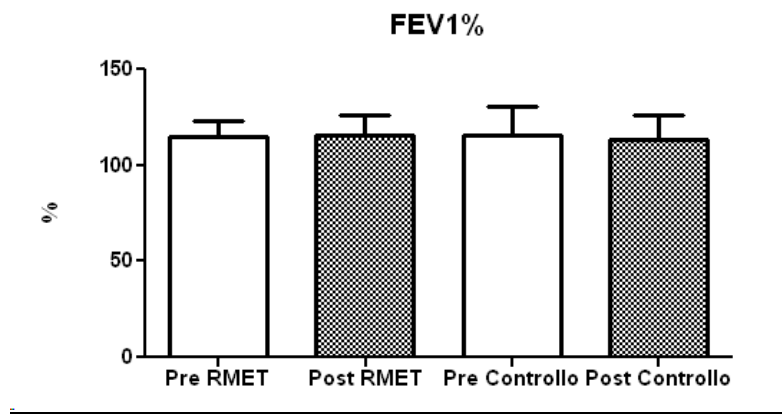
ETA'	PESO	B.M.I.	FEV1	%FEV1	FVC	%FVC	MVV	%MVV	MIP
31	77	21,8	5,95	125,5	7,01	12,2	224,6	138,9	97
25	63	20,8	4,35	102	4,85	96,4	216,1	145,3	143
33	73	25,3	5,23	135,4	6,09	132,5	201	146	146
33	70	20,9	4,38	99,1	6,27	117,3	190	124,3	83
24	71	23,2	5,32	112,5	7,03	137,5	234	155	97
26	70	23,1	4,3	101,4	5,24	104,6	182,1	123,1	82
45	83	26,5	4,03	105,6	5,37	114,7	117,3	130,4	140
43	62	20,7	4,79	129,3	5,28	117,1	219,3	165,3	114
40	77	22,5	4,78	111,1	6,18	117,2	238,3	159	136
34	70	21,1	4,84	111,3	5,93	112,7	146,7	97,2	102
33,4	71,6	22,6	4,8	113,3	5,9	106,2	196,9	138,5	114,0
7,4	6,4	2,0	0,6	12,6	0,7	35,1	39,3	20,3	25,2

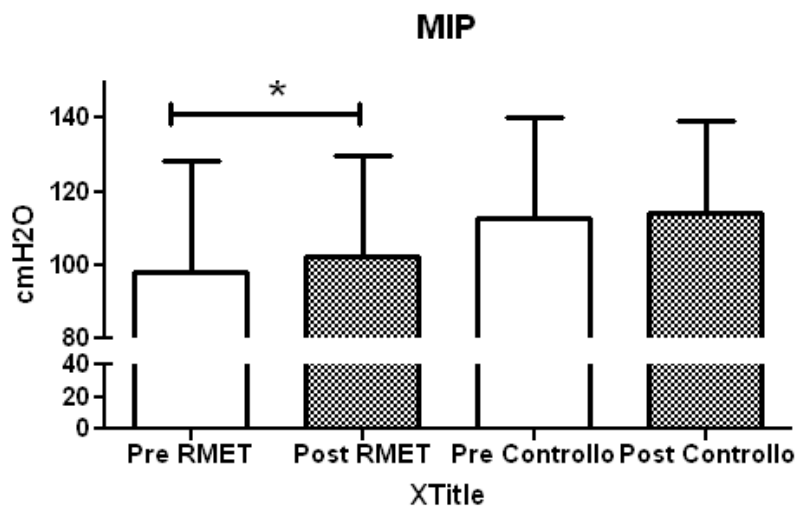
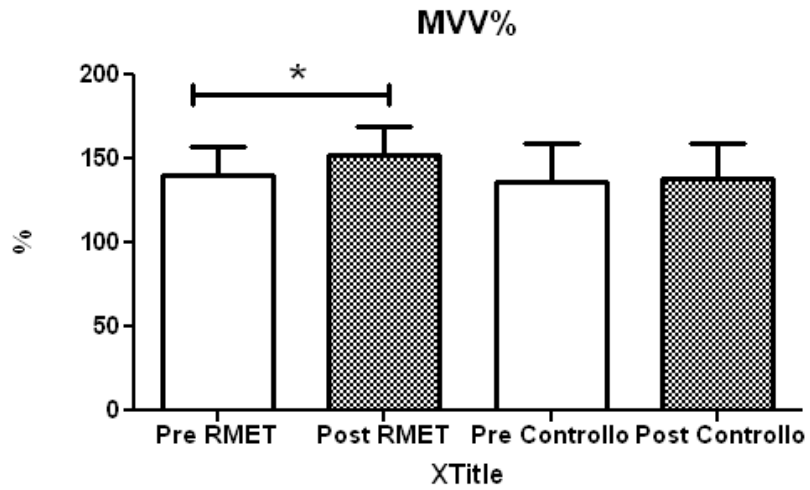
Tab 6

I valori rilevati, dimostrano che nel gruppo di controllo, il quale ha mantenuto costante il suo allenamento per 1 mese, i dati antropometrici (in particolare il peso e B.M.I.) ed i valori spirometrici non hanno subito variazioni significative.

Di seguito, sono riportati i grafici di confronto dei valori spirometrici nel gruppo trattato e nel gruppo di controllo a T0 e T1.

COMPARAZIONE VALORI GRUPPO SPIROTIGER-GRUPPO CONTROLLO





GRAFICI 17 valori delle spirometrie nei 2 gruppi analizzati.

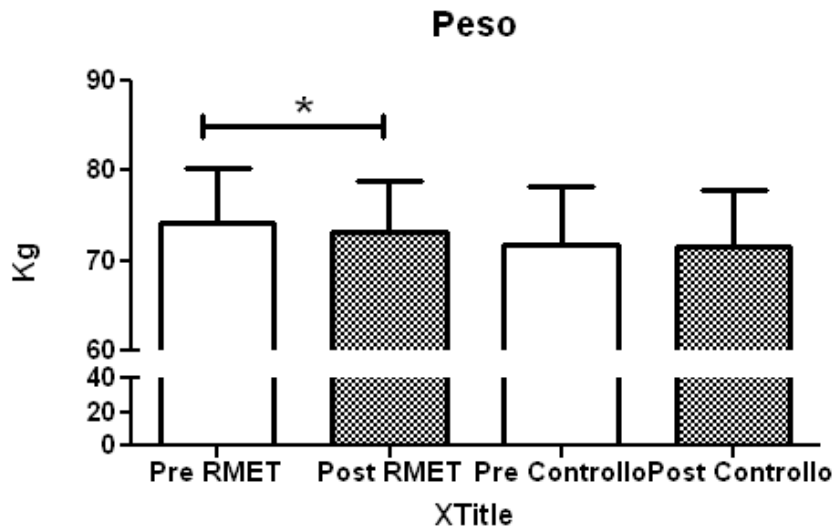


GRAFICO 18 valori del peso nei 2 gruppi analizzati

VALORI VENTILATORI DURANTE ESERCIZIO NEL GRUPPO CONTROLLO A T0 E T1

Nel grafico si può vedere l'andamento della ventilazione durante il test dal basale fino al massimo, come si nota i test risultano sovrapponibili.

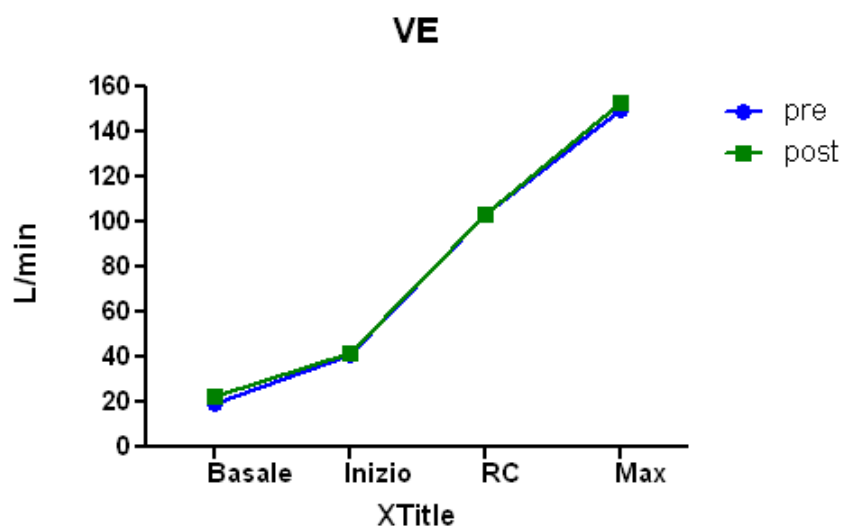


GRAFICO 19 andamento ventilazione nel gruppo di controllo al tempo T0-T1

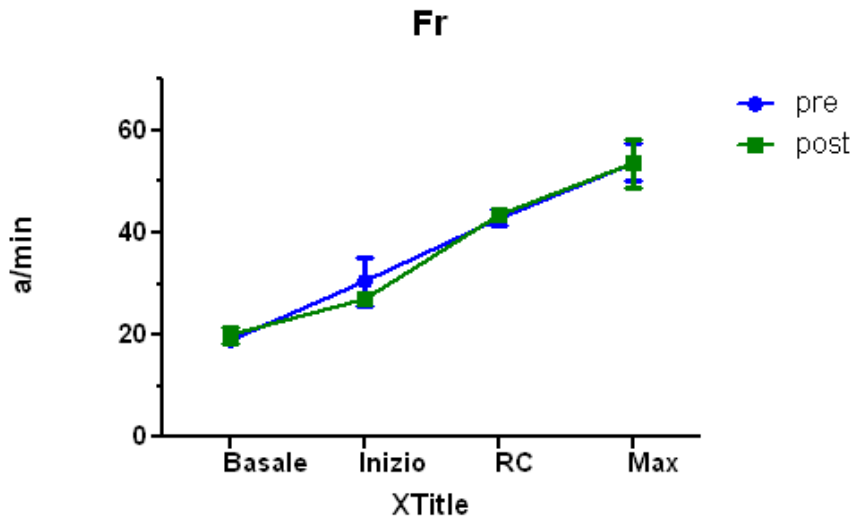


GRAFICO 20 andamento frequenza respiratoria nel gruppo di controllo al tempo T0-T1

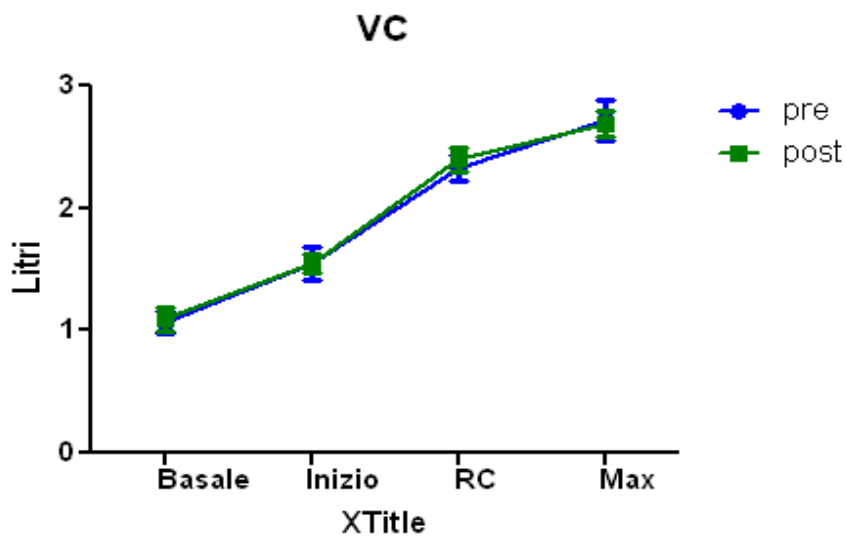


GRAFICO 21 andamento volume corrente nel gruppo di controllo al tempo T0-T1

CONSUMO D'OSSIGENO DURANTE ESERCIZIO NEL GRUPPO DI CONTROLLO A T0E T1

Anche per quanto riguarda il consumo d'ossigeno in entrambi i test i valori sono sovrapponibili i, come del resto le velocità di soglia e massime raggiunte dagli atleti.

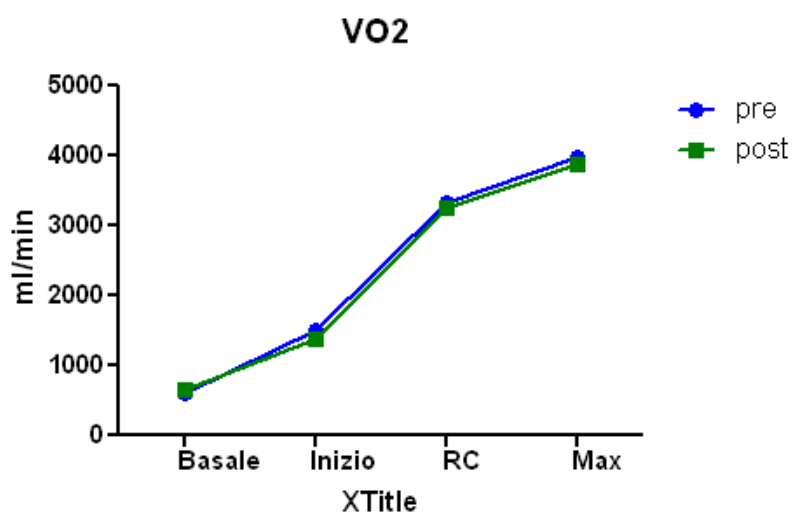


Grafico 22 andamento VO2 dal basale al max, al tempo T0 e T1

PERFORMANCE

Anche per quanto riguarda le performance ottenute nel gruppo di controllo nel primo test e successivamente nella seconda prova a distanza di 1 mese non abbiamo avuto modificazioni soglia e nei valori massimi, come anche nelle prova di endurance. Ricordiamo che questi valori avevano subito modificazioni nel gruppo allenato con Spirotiger.

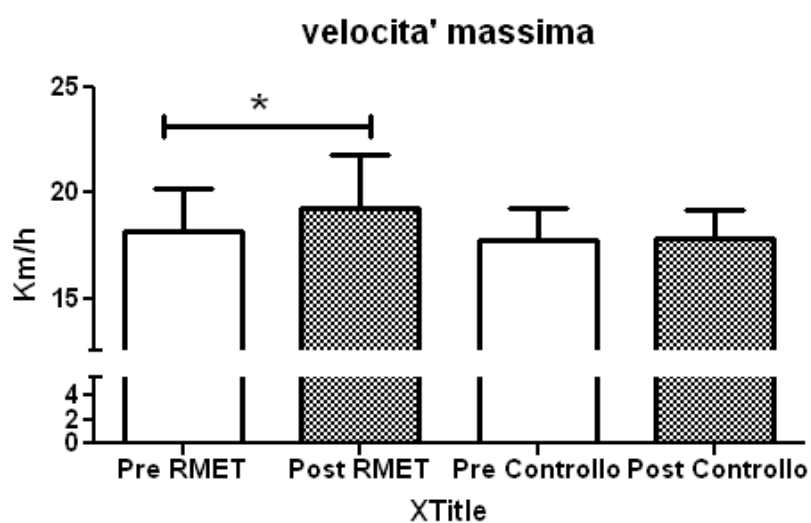


GRAFICO 23 velocità massime registrate nei 2 gruppi studiati

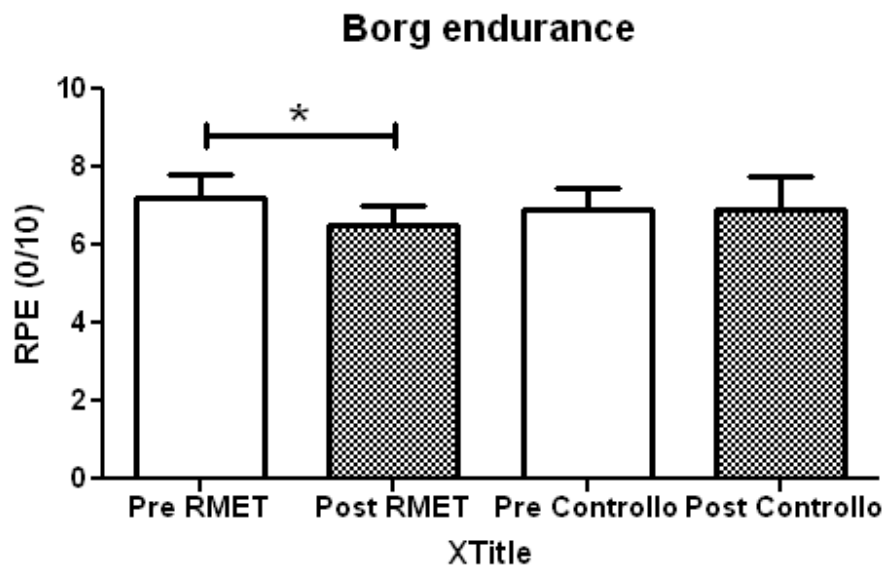


GRAFICO 24 scala percezione della fatica ottenuta nella prova di endurance dei 2 gruppi

5.5 Conclusioni

Relativamente agli obiettivi che ci eravamo proposti, possiamo trarre le seguenti conclusioni.

Per quanto riguarda l'applicabilità del programma di allenamento della muscolatura respiratoria ci possiamo ritenere soddisfatti, in quanto nessuno dei soggetti testati ha trovato difficoltà nel compiere e portare a termine il periodo di allenamento.

Ciascun soggetto, inoltre ci ha riferito di non avere avuto particolari problemi nell'utilizzo dello strumento;

Il programma di allenamento è risultato, inoltre, molto efficiente per quanto riguarda la capacità di esercizio, in quanto è sembrato migliorare il rendimento durante il test incrementale; i soggetti, nel test a T_1 hanno raggiunto carichi di lavoro significativamente maggiori a quelle che erano stati in grado di raggiungere nei test a T_0 , prolungando così il loro sforzo; sono aumentati sia i valori dei Km/h massimali che dei watt massimali e alla soglia. Nell'endurance dove i soggetti mantenevano un'intensità di esercizio costante sia nel T_0 che nel T_1 la loro percezione della fatica risultava inferiore, questo risulta essere un buon indice di riscontro sul miglioramento ottenuto.

Se si guardano invece i grafici del consumo di ossigeno si può notare come i soggetti, a parità di carico, abbiano un valore di VO_2 inferiore nel test incrementale a T_1 sia per quanto riguarda la ventilazione a inizio test che quella di soglia.

Per quanto riguarda il pattern respiratorio c'è stato un aumento significativo del volume corrente e una diminuzione della frequenza respiratoria, con il risultato di una ventilazione più efficiente e meno faticosa. Il fatto, infine, che i parametri spirometrici siano leggermente aumentati ma che non tutti abbiano raggiunto la significatività, può essere imputabile al periodo di allenamento forse non sufficientemente prolungato per soggetti già allenati, oppure al fatto che i volumi polmonari ed i flussi di questi soggetti fossero già verso valori massimali.

Possiamo affermare che l'allenamento dei muscoli respiratori ha migliorato la forza dei muscoli stessi il pattern ventilatorio aumentandone la profondità e riducendone la frequenza degli atti; inoltre è migliorata la capacità di esercizio di tutti i soggetti studiati.

Nel complesso abbiamo infatti notato un miglioramento di efficienza nella fase aerobica.

Restano ancora aperti molti interrogativi che riguardano soprattutto i tipi di attività sportiva che possono beneficiare di questa metodica di allenamento.

Nella nostra esperienza, gli atleti di triathlon hanno avuto un miglioramento più marcato nel ciclismo rispetto la corsa a piedi, ma questo non potrebbe essere applicabile a tutti gli

sport. Un altro aspetto interessante e che meriterebbe altri approfondimenti riguarda la coordinazione toracoaddominale durante corsa in salita. Questo è un aspetto che potrebbe interessare altre discipline sportive.

Resta aperta una questione la durata del miglioramento acquisito. Nessuno studio infatti ha finora indagato l'eventuale declino del miglioramento ottenuto e questo ci sembra un aspetto di particolare rilevanza soprattutto se l'allenamento della muscolatura respiratoria viene consigliato e prescritto ad atleti agonisti.

Bibliografia

1. W. J. Germann, C. L. Stanfield, *Fisiologia Umana*, EdiSES, 2003, pp. 537-560
2. W. D. McArdle, F. I. Katch, V. L. Katch, *Fisiologia applicata allo sport*, Casa Editrice Ambrosiana, 2002, pp. 540
3. S. Beraldo, G. Papa, *Educazione respiratoria*, Sporttraining, 2001
4. D. Meloni, P. Anele, *Anatomia e fisiologia della respirazione*, Sport e Fitness, 2000
5. Goldman MD, Grimby G, Mead J. Mechanical work of breathing derived from rib cage and abdominal V-P partitioning. *J Appl Physiol*. 1976 Nov; 41(5 Pt. 1): 752-63
6. Chapman KR, Perl A, Zamel N, Rebeck AS, Thoracoabdominal motion during hypercapnia, hypoxia, and exercise, *Can J Physiol Pharmacol*. 1985 Mar; 63 (3): 188-92
7. Hussain SN, Rabinovitch B, Macklem PT, Pardy RL, Effects of separate rib cage and abdominal restriction on exercise performance in normal humans, *J Appl Physiol*. 1985 Jun; 58(6):2020-6
8. Wells JA, Smyth RJ, Rebeck AS, Thoracoabdominal motion in response to treadmill and cycle exercise, *Am Rev Respir Dis*. 1986 Dec; 134(6):1125-8
9. Verges S, Boutellier U, Spengler CM, Effect of muscle endurance training on respiratory sensations, respiratory control and exercise performance, A 15-year experience, *Respiratory Physiology & Neurobiology* 161 (2008) 16-22
10. Sliwiński P, Yan S, Gauthier AP, Macklem PT, Influence of global inspiratory muscle fatigue on breathing during exercise, *J Appl Physiol*. 1996 Apr; 80(4):1270-8
11. Harms CA, Babcock MA, McClaran SR, Pegelow DF, Nিকেle GA, Nelson WB, Dempsey JA, Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise, *Journal of Applied Physiology*, 1997, 82, 1573-1583
12. Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, Pegelow DF, Nিকেle GA, Nelson WB, Hanson P, Dempsey JA, Effects of Respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise, *Journal of Applied Physiology*, 1998, 85, 609-618
13. St Croix C, Morgan B, Wetter T, Dempsey J, Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans, *Journal of Applied Physiology*, 2000, 529, 493-504

14. Sheel AW, Derchak PA, Morgan BJ, Pegelow DF, Jacques AJ, Dempsey JA, Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans, *Journal of Applied Physiology*, 2001, 537, 277-289
15. NIH Workshop Summary- Pulmonary Rehabilitation Research, *Am. J. Resp. Crit. Care Med* 1994; 149: 825-833
16. ERS selection criteria and programmes for pulmonary disease with COPD, *Eur. Resp. J.* 1997; 10: 744-757
17. AIPO Gruppo di Studio Riabilitazione Respiratoria "Luciano Pesce" Ed. AIPO 2000 N
18. Ambrosino, R. Corsico, C. Fracchia, C. Rampulla: Riabilitazione delle malattie respiratorie UTET, 1996
19. Goldstein RS, Gort EH, Stubbing D, Avendano HA, Guyott GH. Randomized controlled trial of respiratory rehabilitation, *Lancet* 1994; 344:1394
20. ACCP/AACVPR, Pulmonary Rehabilitation Joint ACCP/AACVPR evidence based guidelines, *Chest* 1997; 112:1363-1396
21. Buchi S, Villiger B, Sensky T. Schwarz F., Wolf C, Buddeberg C, Psychosocial predictors of long-term success of in patient polmonari rehabilitation of patients with COPD, *Eur Resp J* 1997; 10: 1272-1277
22. N. Ambrosino, Monaldi Arch. *Chest* 2000; 55: 242-2
23. Belman Mj; *Am. J. Resp. Crit. Care Med* 1994;149: 925-92946
24. Ambrosino N., *Thorax* 1999, 54: 191-193
25. Weiner J; *Thorac Cardiovasc Surg* 1997; 113-557
26. Tschols MWJ, Slangen J, Valavisc L, Weight loss in a reversible factor in the prognosis of chronic obstructive pulmonary disease, *Am. J. Resp. Crit. Care Med* 1998; 157: 1791-1797
27. Ambrosino N, Clini E, Evaluation in pulmonary rehabilitation. *Resp Med* 1996, 90: 395-400
28. American Thoracic Society. Standardization of spirometry. *Am J Respir Crit Care Med* Vol 152. Pp 1107-1136, 1995
29. NM Siafakes, P.Vermeire, NB Pride, et al. Optimal assesment and management of chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Eur Respir J* 1995; 8: 1398-1420
30. Aaron SD, Dales RE, Cardinal P. How accurate is spirometry at predicting restrictive pulmonary impairment?. *Chest* 1999 Mar; 115(3): 869-73
31. Ambrosino N, *Thorax* 1999, 54: 191-193

32. Carrieri- Kohlmann V, Douglas MK, Grouley JM, Stulbarg MS, Heart Img 1993; 22: 226-234
33. Foglio K, Carone M, Pagani M, Bianchi L, Jones PW, Ambrosino N, Resp Med 2000; 94: 256-263
34. Wedricha JA, Bestall JC, Gonard R, Garvhamm R, Paul EA, Jones PW, Eur. Resp. J. 1998; 12: 363-369
35. ACCP/AACVPR, Chest 1997; 112: 1363-1396
36. Gosselink r, Trooster T, Verschumeren M, Evees G, Eur. Resp. J. 1997; 10: 417-423
37. Moher D, Guyatt GH, Jones PW "Mahler D. ed Dyspnea" New York: Marcel Dekker Pub 1998; 149-198
38. Anthonisen NR, Wright CE, Hodgkin JE, and the IPPP trial Group, Am Rev Respir Dis 1996; 133: 14-20
39. Gerardi DA, Lovett ML, Benoit-cormors JZ, Zu Waldeck RL, Eur Respir J 1996; 9: 431-435
40. Black LF HYATT RE, Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. Am Rev. ùRespir Dis 1969, 99. 696-702