



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN
"SCIENZE BIOMEDICHE ENDOCRINOLOGICHE NEUROFISIOLOGICHE"
CICLO XII

COORDINATORE Prof. Alessandro Martini

EFFETTO DEL RIALLENAMENTO DEI MUSCOLI RESPIRATORI SULL'EFFICIENZA
DELLA VENTILAZIONE, SULLA TOLLERANZA ALLO SFORZO IN SOGGETTI SANI ED
IN SOGGETTI CON BRONCOPNEUMOPATIA CRONICA OSTRUTTIVA (BPCO)

Settore Scientifico Disciplinare _MED_/_10_

Dottorando

Dott.ssa Campigotto Federica

Tutore

Prof.ssa Annalisa Cogo

(firma)

(firma)

Anni 2007/2009

INDICE

1 SCOPO	4
1.1 Progetto dello studio	4
2 INTRODUZIONE	5
2.1 Definizione di BPCO	5
2.2 Epidemiologia	6
2.3 Fattori di rischio	7
2.4 Patogenesi, cenni di anatomia patologica	8
2.5 Clinica: Segni e sintomi	9
2.6 Diagnosi, monitoraggio della progressione, complicanze	10
2.6.1 La Spirometria	10
2.6.2 Classificazione	11
2.7 Prevenzione e Trattamento	12
3 LA MECCANICA RESPIRATORIA	15
3.1 La meccanica respiratoria	15
3.2 L'inspirazione	16
3.3 L'espiazione	17
3.4 L'inspirazione e l'espiazione forzata	17
3.5 Ventilazione ed esercizio fisico	17
3.6 Allenamento della muscolatura respiratoria	19
3.7 Effetto dell'allenamento della muscolatura respiratoria sull'esercizio fisico	21
4 LA RIABILITAZIONE RESPIRATORIA	22
4.1 Definizione	22
4.2. Indicazioni	23
4.3 Modalità terapeutiche	24
4.4 Valutazione dell'outcome	27
4.4.1 Misure di impairment	27

4.4.2 Misure di partecipazione (Handicap)	30
4.4.3 Misure di activity (di disability)	34
4.5 Adattamenti cardio circolatori all'esercizio	43
4.6 Quantificazione dell'attività fisica quotidiana	44
5 STUDIO SOGGETTI SANI	48
5.1 Soggetti	48
5.2 Disegno dello studio	49
5.3 Metodi	50
5.3.1 Prove funzionalità respiratoria	50
5.3.2 Holter metabolico	50
5.3.3 Test da sforzo cardiopolmonare	51
5.3.4 Life Shirt System	51
5.4 Periodo di allenamento	54
5.4.1 Spirotiger	55
6 RISULTATI SOGGETTI SANI	57
6.1 Spirometria	57
6.2 Arm band	62
6.3 Cicloergometro	67
6.4 Pletismografia induttiva	78
6.5 Lattato	80
6.6 Scala della dispnea	
7 CONCLUSIONI STUDIO SOGGETTI SANI	84
7.1 Analisi statistica	84
7.2 Conclusioni	84
8 STUDIO SOGGETTI BPCO	86
8.1 Soggetti	86
8.2 Disegno dello studio	86
8.2.1 Questionario di St. Gorge	89
8.2.2 BODE index	89

9 RISULTATI STUDIO SOGGETTI BPCO	90
9.1 Prove di funzionalità respiratoria	90i
9.2 Test del cammino (6MWT)	93
9.3 Questionario di St Gorge	95
9.4 BODE index	96
9.5 Arm Band	97
9.6 Test al ciclo ergometro	98
10 CONCLUSIONI STUDIO BPCO	
10.1 Conclusioni	106
Bibliografia	108

2 INTRODUZIONE

2.1 Definizione BPCO

Le linee guida sulla BPCO, denominate linee guida GOLD (Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease), definiscono la BPCO come “una condizione morbosa caratterizzata da ostruzione del flusso nelle vie aeree non completamente reversibile, in genere progressiva nel tempo ed associata ad una anomala risposta infiammatoria dei polmoni all’inalazione di gas o sostanze corpuscolate nocive (nella maggior parte dei casi il fumo di sigaretta)”.

Si tratta di una malattia progressiva e invalidante che causa un deterioramento della funzionalità respiratoria, attraverso un’ostruzione delle vie aeree progressiva e scarsamente o per nulla reversibile e una distruzione di aree del parenchima polmonare. Si manifesta clinicamente con tosse e catarro cronici e con una progressiva mancanza di respiro, prima da sforzo poi nei casi gravi anche a riposo.

L’ostruzione al flusso delle vie aeree è causata principalmente dal processo infiammatorio (bronchiolite ostruttiva) che colpisce i bronchi a causa della prolungata esposizione ad agenti irritanti, e riduce il calibro delle vie aeree ostacolando i flussi espiratori. All’infiammazione e ispessimento della parete bronchiale si associa spesso una aumentata produzione di secrezioni che si accumulano nelle vie aeree contribuendo a ridurre ulteriormente i flussi espiratori.

Altro processo implicato nella malattia è il danno anatomico che comporta riduzione della forza di retrazione elastica del parenchima polmonare; l’enfisema polmonare viene definito come una condizione in cui si ha una dilatazione permanente degli spazi aerei distali ai bronchioli terminali, la parte più periferica del polmone, cioè gli acini polmonari, che sono le unità funzionali deputate allo scambio gassoso per rottura dei setti intralveolari e senza evidente presenza di fibrosi. Questa definizione mostra il meccanismo più importante che è alla base dell’enfisema polmonare, cioè la distruzione del parenchima polmonare dovuta principalmente all’esposizione ad alcune sostanze, come quelle contenute nel fumo di sigarette. In alcuni casi, molto rari, la distruzione del parenchima polmonare è facilitata dalla presenza di una carenza su base genetica,

ereditaria della produzione da parte del fegato di una proteina, chiamata alfa-1 antitripsina, che è necessaria per contrastare l'azione di quelle proteine chiamate proteasi che distruggono il tessuto elastico del polmone. Nel caso dell'enfisema polmonare, infatti, l'ostruzione del flusso aereo è causata prevalentemente dalla distruzione del tessuto elastico del polmone che ne riduce la forza di retrazione elastica. Questo determina una precoce collassibilità dei bronchioli durante l'espiazione; ne consegue un incremento del volume residuo, cioè dell'aria che resta nel polmone al termine di un'espiazione massimale (= iperinsufflazione del polmone).

In presenza di BPCO, quindi, le resistenze delle vie aeree aumentano, i flussi espiratori diminuiscono, l'espiazione è prolungata. Nelle fasi avanzate della malattia i flussi espiratori a volume corrente (durante una espiazione tranquilla) sono dello stesso ordine di grandezza di quelli massimali durante espiazione forzata. La difficoltà ad espellere l'aria contenuta nei polmoni, fa sì che questi non si svuotino completamente durante l'espiazione: ne consegue un intrappolamento di aria che determina l'iperinsufflazione. In conseguenza a questo il diaframma si appiattisce e la gabbia toracica si dilata. Tali modificazioni obbligano i muscoli della respirazione ad un superlavoro, che a lungo andare compromette la loro funzionalità.

L'evoluzione della BPCO è dunque lenta, progressiva e soprattutto irreversibile. La perdita di efficacia del lavoro dei muscoli respiratori associata all'ostruzione delle vie aeree diminuisce la tolleranza all'esercizio causando la comparsa di dispnea per sforzi progressivamente più leggeri.

2.2 Epidemiologia

La BPCO secondo i dati dell'Organizzazione Mondiale della Sanità non solo è attualmente la quarta causa di morte ma è pure la malattia che presenta il più rapido incremento della mortalità in tutti i paesi industrializzati, tanto che nel 2020 si prevede sarà la terza causa di morte a livello mondiale.

La BPCO è ancora oggi largamente sottostimata: solo il 25% dei malati viene diagnosticato precocemente; la maggior parte viene diagnosticato quando la malattia è conclamata, riducendo quindi le possibilità di terapia e prevenzione delle complicanze. Nel nostro paese, la BPCO è al quarto posto nella lista delle malattie croniche e provoca circa 18.000 decessi l'anno, pari al 47% dei decessi per malattie respiratorie.

La morbilità per BPCO è maggiore negli uomini che nelle donne ed aumenta rapidamente con l'età. La differenza tra i sessi è spiegata dalla maggiore prevalenza di fumo di sigaretta nel sesso maschile, ma l'aumento dell'abitudine al fumo di sigaretta tra le donne lascia intravedere una forte riduzione di questo divario, anche perché le donne sembrano essere più sensibili allo sviluppo di BPCO quando esposte ai fattori di rischio (tabacco). L'impatto socio-economico della malattia è molto significativo. Senza dubbio la BPCO porta ad una sostanziale invalidità, alla perdita di produttività e ad una peggiore qualità della vita, che aumentano con il progredire della malattia.

Nel nostro paese la BPCO è al quarto posto per i ricoveri; nel 2002 sono stati registrati quasi 130.000 ricoveri ospedalieri per riacutizzazioni da BPCO, con una degenza media di circa 10 giorni. Studi recenti hanno stimato per l'Italia una spesa media annuale per paziente di circa 1.300 euro, che però può arrivare fino a 7.000 euro l'anno negli stadi più severi.

Nel 1990, l'OMS ha stimato che il tasso di mortalità standard nei paesi europei a causa di BPCO era pari a 20 per 100.000 nelle donne e 50 per 100.000 negli uomini. In media i tassi di mortalità per BPCO nei paesi europei sono 20-30 per 100.000 abitanti.

2.3 Fattori di rischio

La BPCO è una malattia multifattoriale, ed il suo più importante fattore di rischio è il fumo di sigaretta; anche l'esposizione professionale a sostanze irritanti come polveri, vapori, fumi o sostanze chimiche, la scarsa qualità dell'aria negli ambienti domestici dovuta al riscaldamento o cottura degli alimenti, e l'inquinamento esterno sono state riconosciute come cause di induzione o aggravamento dei sintomi.

Come già detto, il fumo è il fattore più importante alla base dello sviluppo della malattia. Non soltanto il suo controllo consente di prevenire lo sviluppo della malattia, ma è stato dimostrato che la cessazione del fumo è in grado di modificare la storia naturale della malattia stessa. L'abitudine al fumo è associata ad una maggiore prevalenza di sintomi respiratori, in particolare tosse e catarro cronici, ma anche respiro sibilante, sia negli uomini sia nelle donne ed in maniera proporzionale alla quantità di fumo attuale o pregresso. Il fumo di sigaretta è un fattore importante nel determinare maggiore mortalità per BPCO e ha un effetto diretto sul declino nel tempo della funzione polmonare. Inoltre,

esso interagisce con molti altri fattori di rischio, esterni o dell'ospite, secondo modelli in alcuni casi anche sinergici.

Si pensa che il meccanismo con cui il fumo esplica il suo effetto lesivo sia mediato da reazioni di tipo infiammatorio nel polmone periferico, cui consegue restringimento del lume bronchiale, ispessimento delle pareti, distruzione del supporto alveolare delle vie aeree periferiche. La cessazione del fumo di sigaretta si accompagna ad una riduzione nella prevalenza e nell'incidenza di sintomi respiratori e ad una variazione nella rapidità del declino della funzione polmonare.

L'effetto benefico è tanto maggiore quanto prima i soggetti cessano di fumare, mentre è inversamente legato al numero di sigarette fumate ed alla precocità dell'epoca di inizio.

2.4 Patogenesi, Anatomia patologica

L'infiammazione dell'albero respiratorio nel paziente con BPCO appare un'amplificazione della risposta infiammatoria normale (metaboliti dell'acido arachidonico, linfocine, chemochine) ad agenti irritanti cronici come il fumo di sigaretta. Tali sostanze attirano cellule immunitarie specializzate per la difesa dell'organismo (linfociti T, neutrofili, macrofagi), che infiltrano il tessuto, si moltiplicano e reagiscono attivamente con gli agenti irritanti per eliminarli. L'infiammazione polmonare è ulteriormente amplificata dallo stress ossidativo e da un eccesso di proteasi nel polmone (figura 2.1)

Nella BPCO l'infiammazione dell'epitelio bronchiale ha diversi effetti:

- Stimola la secrezione di muco che riduce ulteriormente il calibro delle vie aeree.
- Distrugge le pareti alveolari, soprattutto in prossimità della congiunzione con i bronchioli terminali.
- Determina il progressivo ispessimento delle pareti bronchiali dando luogo nel tempo a processi di "rimodellamento" del tessuto che alterano la struttura degli alveoli.

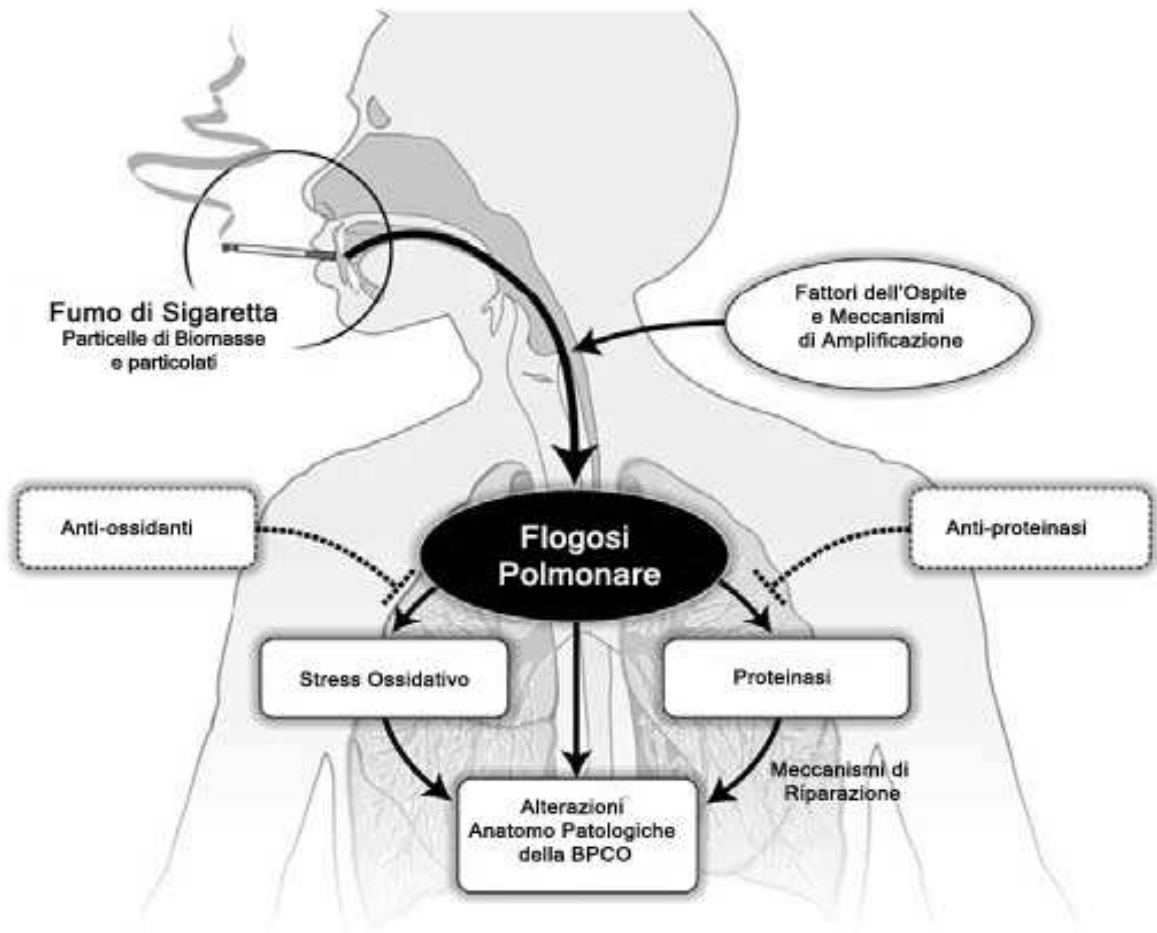


Figura 2.1 patogenesi

2.5 Clinica: segni e sintomi

La BPCO all'esordio è in genere asintomatica: spesso tosse e catarro cronici (per non meno di tre mesi ogni anno e da almeno due anni consecutivi) precedono di molti anni lo sviluppo della broncopneumopatia cronica ostruttiva; alcuni pazienti invece sviluppano significative limitazioni dei flussi espiratori in assenza di sintomi respiratori cronici ma accompagnati da respiro sibilante. Oltre a tosse catarro cronici, che si aggravano nel corso delle frequenti riacutizzazioni, i pazienti lamentano dispnea inizialmente da sforzo e poi anche a riposo. Questo provoca una graduale riduzione della capacità a svolgere le attività quotidiane in casa e al lavoro, determinando un'invalidità cronica.

Quando la BPCO si aggrava compaiono i segni dell'insufficienza respiratoria e cioè ipossiemia ed ipercapnia. In queste fasi avanzate della BPCO sono frequenti l'anoressia e la perdita di peso che si associa ad una maggiore compromissione della funzione respiratoria.

A volte poi sono presenti disturbi del sonno; in particolare la sonnolenza diurna e la roncopia marcata, dovrebbero suggerire la possibilità di una concomitante sindrome di apnea ostruttiva, particolarmente frequente negli obesi.

Fra i classici segni fisici, la presenza di sibili durante la respirazione normale e l'allungamento (>5 sec) della fase espiratoria sono utili indicatori di ostruzione al flusso aereo. Questi segni comunque non hanno alcun valore nella valutazione di gravità e la loro assenza non esclude la BPCO.

2.6 Diagnosi, monitoraggio della progressione, complicanze

La diagnosi di BPCO si basa sulla valutazione dei fattori di rischi (es. fumo, esposizione a sostanze inquinanti) e dei sintomi. Deve poi essere confermata dalla spirometria o test della funzionalità respiratoria, che è in grado di individuare la patologia anche prima della comparsa dei sintomi.

Sintomi quali tosse mattutina, espettorazione e dispnea nelle persone oltre i 40 anni sono riconducibili con forte probabilità alla presenza di una BPCO.

Disturbi simili affliggono anche gli asmatici. La BPCO si differenzia però per l'irreversibilità della limitazione del flusso aereo, anche dopo l'assunzione di broncodilatatori.

2.6.1 La Spirometria

La spirometria è l'esame di base per misurare la funzionalità respiratoria ed è spesso alterata nel paziente con BPCO anche prima della comparsa di sintomi importanti per cui è essenziale che sia eseguita nei soggetti a rischio anche in assenza di sintomi, come misura di salute generale.

La spirometria di base consiste nell'eseguire un'inspirazione completa seguita da un'espirazione forzata fino a volume residuo, cioè con svuotamento completo dei polmoni. I due parametri principali sono la Capacità Vitale Forzata (CVF), cioè la quantità di aria mobilizzabile con la manovra, ed il Volume Espiratorio Massimo nel 1° Secondo (VEMS)

Nel paziente con BPCO il valore del VEMS è ridotto rispetto a quello teorico di un soggetto normale della stessa età, sesso, altezza, etnia, poiché le sue vie aeree inferiori (in particolare quelle più periferiche, chiamate anche piccole vie aeree) sono distrutte e/o

ostruite. Nel soggetto normale nel 1° secondo viene espulso più del 70% dell'aria mobilizzabile. Il paziente con BPCO espelle meno del 70% della Capacità Vitale, anche dopo aver inalato dei broncodilatatori.

2.6.2 Classificazione

Le già citate linee guida GOLD classificano la BPCO in 4 stadi di gravità (lieve, moderata, grave, molto grave) in funzione dei sintomi e del grado di ostruzione bronchiale. Viene identificato anche uno stadio "a rischio" che riguarda essenzialmente i fumatori che non sono ancora malati ma accusano già qualche disturbo di tipo bronchitico cronico. (tabella 2.1; tabella 2.2)

Poiché la malattia solitamente si sviluppa in modo graduale e generalmente dopo i 40 anni, i pazienti con BPCO spesso attribuiscono i loro sintomi al normale processo di invecchiamento e di conseguenza arrivano a presentare un quadro sintomatologico grave, conseguente ad una diagnosi tardiva e ad uno stadio più avanzato ed invalidante della malattia.

Le infezioni delle vie respiratorie (soprattutto l'influenza e le infezioni batteriche, ma anche il comune raffreddore) sono frequentemente causa di riacutizzazioni.

La dispnea non solo può limitare considerevolmente l'attività fisica, ma anche incidere sul ruolo professionale e sociale del paziente. La presenza dei sintomi può avere anche risvolti psicologicamente negativi: i pazienti affetti da BPCO possono andare incontro a periodi di ansia e depressione legati sia alla patologia sia alle riacutizzazioni.

Le lesioni determinatesi a livello dell'apparato respiratorio sono generalmente irreversibili; la BPCO è una malattia progressiva, peggiora cioè nel corso del tempo. Normalmente questi cambiamenti sono gradualmente, ma a volte si verificano in maniera imprevedibile e molto rapida; in tal caso si parla di riacutizzazioni.

La riacutizzazione si manifesta con un peggioramento dei sintomi cronici che persiste e va al di là delle normali variazioni quotidiane dei sintomi stessi: aumento della tosse e della dispnea, aumento dell'espettorato, che frequentemente diventa giallo (purulento).

Non si conoscono completamente le cause delle riacutizzazioni di BPCO. Le infezioni batteriche e virali sono senza dubbio tra le cause principali. Spesso alla riacutizzazione segue un peggioramento della gravità della malattia.

A RISCHIO BPCO	BPCO LIEVE	BPCO MODERATA	BPCO GRAVE
tosse frequente con o senza espettorazione	Tosse cronica con o senza catarro Mancanza di fiato durante o dopo uno sforzo moderatamente severo (ad esempio camminare velocem ente)	Tosse cronica quasi sempre accompagnata ad espettorazione del muco; il senso di affanno e di dispnea insorge anche per sforzi fisici blandi come camminare a passo spedito; i tempi di guarigione dopo un raffreddore o infezione delle vie respiratorie spesso si allungano notevolmente	Tosse cronica con presenza di espettorato; difficoltà respiratorie anche a riposo, sia di giorno che di notte che rendono impossibile lo svolgimento delle normali attività quotidiane, come cucinare, fare la spesa o le scale

Tabella 2.1 classificazione

BPCO	ASMA
Compare in età adulta (oltre i 40 anni)	Inizio precoce (spesso da bambini)
Sintomi quotidiani e lentamente progressivi	Sintomatologia variabile a seconda dei giorni
Associata ad una lunga storia di fumo	Spesso associata ad allergia, rinite e/o eczema e storia familiare di asma
Dispnea durante l'esercizio fisico	Sintomatologia più spesso notturna e compare anche a riposo
Riduzione del flusso aereo espiratorio in larga parte irreversibile	Riduzione del flusso aereo espiratorio ampiamente reversibile

Tabella 2.2 differenze tra BPCO ed asma

2.7 Prevenzione e Trattamento

I problemi respiratori causano limiti significativi in molte attività della normale vita quotidiana. In funzione del livello di gravità, la dispnea può interferire con i più semplici gesti giornalieri, come vestirsi, lavarsi, parlare e può causare disturbi del sonno e indurre un progressivo stato di invalidità.

Il limite più importante posto dalla malattia riguarda l'esercizio fisico, che influisce sulle normali attività quotidiane lavorative o di svago, sui rapporti sociali e familiari. Nelle forme gravi la malattia causa notevole inattività e può richiedere la somministrazione di ossigeno.

Il trattamento della patologia si pone tra gli obiettivi anche la prevenzione ed il controllo dell'evoluzione. La sospensione dell'abitudine tabagica dovrebbe essere compresa quale obiettivo facente parte del programma di trattamento.

Questi obiettivi possono essere raggiunti attraverso la realizzazione di un programma di trattamento della BPCO composto da 4 parti (tabella 2.3):

- Valutazione e Monitoraggio della malattia (è importante fare un'accurata anamnesi del paziente, una corretta valutazione della patologia utilizzando spirometria, test con broncodilatatori, radiografia del torace, emogasanalisi.)
- Riduzione dei fattori di rischio (evitare il fumo di sigaretta, sigari, pipe, ridurre al massimo l'esposizione professionale, tenere alta la qualità dell'aria in ambiente domestico)
- Trattamento della BPCO stabilizzata (educazione del paziente, trattamento farmacologico con broncodilatatori, trattamento non farmacologico con riabilitazione respiratoria, ossigenoterapia, ventilazione meccanica, interventi chirurgici)
- Trattamento delle riacutizzazioni (evitare infezioni batteriche e virali, non uscire di casa in caso di nebbia e freddo umido, eseguire il vaccino antinfluenzale ogni anno e il vaccino antipneumococco)
- Programmi di riabilitazione respiratoria

Definizioni:

VEMS= Volume espiratorio forzato all'° secondo.

CVF= Capacità vitale forzata, massima quantità di aria mobilizzabile con una inspirazione profonda seguita da un'espirazione profonda.

VEMS/CVF=, percentuale del VEMS in rapporto alla capacità vitale forzata. È indice di ostruzione.

Insufficienza respiratoria= Pressione parziale dell'ossigeno arterioso (P_{aO_2}) inferiore a 8.0kPa (60 mm Hg) con o senza una pressione parziale della CO_2 (P_{aCO_2}) maggiore di 6,7 kPa (50 mm Hg) mentre il paziente respira aria ambiente al livello del mare.

Legenda tabella 2.3

GLI STADI DI GRAVITA' DELLA B.P.C.O.					
STADIO	SINTOMI	SPIROMETRI A	STATO DI SALUTE	TERAPIA RACCOMANDATA	
Stadio 0: soggetti a rischio	Tosse cronica ed espettorazioni	Normale	Nei limiti della norma	Evitare i fattori di rischio. Vaccinazione antinfluenzale	
Stadio I: BPCO lieve	Spesso tosse ed espettorazioni e cronici, dispnea lieve	VEMS/CVF <70% VEMS ≥80%	Il paziente può non essere consapevole che la sua funzionalità respiratoria è anormale.	Broncodilatatori a rapida azione solamente al bisogno	
Stadio II: BPCO moderata	aggravamento dei sintomi con dispnea durante sforzo intenso	VEMS/CVF <70% VEMS <80% e >50%	Riduzione della qualità della vita e peggioramento della prognosi	Trattamento regolare con 1 o più broncodilatatori Riabilitazione respiratoria	Corticosteroidi inalatori se si osservano sintomi importanti e se si vede una risposta spirometrica

Stadio III BPCO grave	aggravamento dei sintomi con dispnea durante sforzo moderato	VEMS/CVF <70% VEMS <50% e >30%	Frequenti riacutizzazioni della BPCO con ulteriore peggioramento della qualità della vita	Trattamento regolare con 1 o più broncodilatatori. Riabilitazione respiratoria	Corticosteroidi inalatori se si vede una risposta spirometrica o se si hanno ripetute riacutizzazioni
Stadio IV: BPCO molto grave	Insufficienza respiratoria con segni di insufficienza cardiaca destra	VEMS/CVF <70% VEMS <30%	Qualità della vita scadente. Le riacutizzazioni possono essere fatali.	Trattamento regolare con 1 o più broncodilatatori. Corticosteroidi inalatori se si hanno ripetute riacutizzazioni. Trattamento delle complicanze. Riabilitazione respiratoria. Ossigenoterapia a lungo termine.	

Tabella 2.3 classificazione BPCO e terapia raccomandata: si osserva come l' indicazione alla riabilitazione respiratoria compaia solo negli stadi avanzati

3 LA MECCANICA RESPIRATORIA

3.1 La meccanica respiratoria

La parete toracica è composta da strutture che proteggono i polmoni: la gabbia toracica, lo sterno, le vertebre, i muscoli ed 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 le cavità toracica da quella addominale (1). L'inspirazione e l'espirazione 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'espirazione invece avviene quando la pressione atmosferica è minore di quella alveolare (1). 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 data una certa quantità di gas all'interno di un contenitore, la pressione è inversamente proporzionale al volume del contenitore. Per cui se il volume del polmone aumenta, la pressione dell'aria diminuisce (2).

Quando i polmoni sono a riposo, tutti 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'espirazione 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 negli alveoli avvengono grazie alla variazione di volume nella cavità toracica, per mezzo dei muscoli respiratori(1).

3.2 L'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 (3).

Il processo inspiratorio ha inizio con la stimolazione nervosa dei muscoli inspiratori. I muscoli scheletrici vengono stimolati a contrarsi dal rilascio dell'acetilcolina da parte dei motoneuroni nella giunzione neuromuscolare (1). Il diaframma ed i muscoli intercostali esterni sono i muscoli inspiratori primari (Figura 3.1; Tabella 3.1). 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 coste verso l'alto e verso l'esterno, espandendo la parete toracica. Queste azioni combinate aumentano il volume della gabbia toracica (3). 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 finché la pressione negli alveoli non raggiunge il livello della pressione-atmosferica(1).

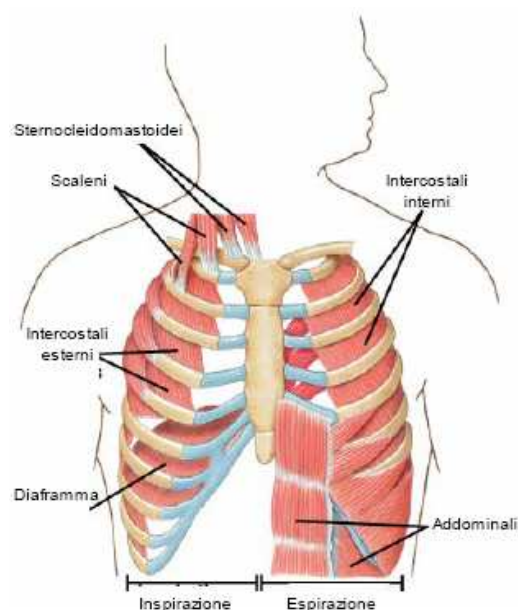


Figura 3.1: i muscoli della respirazione.

3.3 L'espiazione

L'espiazione 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 nella loro posizione (1). 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 ed 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 (3). L'aria quindi fluisce verso l'esterno.

3.4 L'inspirazione ed espiazione forzata

A differenza di tutti gli altri processi essenziali per la vita, la respirazione è una 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 (4). Essa, attraverso la ventilazione forzata, può essere esaltata ulteriormente reclutando volontariamente altri muscoli. In questa fase di iperventilazione viene evidenziato maggiormente anche il lavoro dei muscoli intercostali interni ed esterni, aiutati comunque da altri gruppi muscolari indicati nella tabella 1. Durante questo lavoro 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.

3.5 Ventilazione ed esercizio fisico

Il polmone ha un ruolo primario nelle capacità di svolgere esercizio fisico. Infatti, l'apparato respiratorio costituisce, insieme a quello cardiovascolare ed a quello muscolo-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 ed all'eliminazione dell'anidride carbonica (5).

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 oltre 20 volte. L'aumento della richiesta di ossigeno da parte dei muscoli scheletrici porta ad un incremento progressivo della ventilazione. Questo incremento, nel soggetto sano, è ottenuto inizialmente con un aumento della profondità degli atti respiratori (quindi del Volume Corrente), in seguito anche della frequenza respiratoria.

Un soggetto sano durante respirazione tranquilla (a livello di Volume Corrente a riposo) ha un'ampia riserva ventilatoria (vedi sotto); 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 ventilazione non può però aumentare in maniera indefinita. La massima ventilazione che un soggetto può produrre si definisce Massima Ventilazione Volontaria (MVV); per misurarla si chiede al soggetto di ventilare alla massima velocità e profondità 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 fisico 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 15L/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, maggiore è l'efficienza ventilatoria(5-8).

	INSPIRAZIONE	ESPIRAZIONE
	Contrazione di:	Rilassamento di:
RESPIRAZIONE NORMA	- Intercostali esterni	- Intercostali esterni
	- Diaframma	- Diaframma
	- Sopra e Sottoioideo	- Trasverso dell'addome
	- Scaleno anteriore, medio e superiori	- Obliquo esterno
	- Sternocleidomastoideo	- Obliquo interno
	- Succlavio	- Retto dell'addome
	- Elevatori delle coste	- Triangolare dello sterno
	- Piccolo pettorale	- Dentato posteriore inferiore
	- Gran pettorale	- Quadrato dei lombi
RESPIRAZIONE FORZA	- Illeocostale del collo	
	- Elevatore della scapola	
	- Trapezio	
	- Dentato posteriore superiore	
	- Gran dentato	
	- Gran dorsale	

Tabella 3.1 : Muscoli della respirazione.

3.6 Allenamento della 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 (9). Questo affaticamento, in particolare del diaframma, si verifica per esercizi sostenuti ad intensità >80% del VO₂max. Questo sembra dovuto al fatto che durante un esercizio intenso e protratto si verifica una redistribuzione della Portata Cardiaca con incremento del flusso agli arti, il che priverebbe il diaframma di un adeguato flusso di sangue nel momento in cui le sue richieste metaboliche sono molto elevate. Il conseguente 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 (10). I risultati hanno evidenziato che la percezione della fatica respiratoria e degli arti inferiori si riduce significativamente nel primo caso e viceversa accade nel secondo. Contemporaneamente si ha un incremento o un decremento della capacità di sostenere un esercizio fisico submassimale. Gli effetti del lavoro dei muscoli respiratori, quindi, sono in stretta correlazione con l'effetto negativo della loro fatica sulla performance. Alcuni studi hanno inoltre dimostrato che l'aumento della richiesta di ossigeno (e quindi di flusso ematico) da parte dei muscoli respiratori, provoca una vasocostrizione periferica con conseguente riduzione del flusso ematico agli arti inferiori (11-12).

In un articolo recentemente pubblicato (13), 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; contemporaneamente si è verificato un aumento nell'attività simpatica del nervo, con effetto vasocostrittore, che era indipendente dal centro motore del respiro, indicando un'origine riflessa. Inoltre, la natura temporale della risposta era caratteristica di un chemoriflesso del muscolo, piuttosto che di un meccanoriflesso stimolato tramite sviluppo della forza. Un altro articolo (14) 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 fornirebbe la prova dell'esistenza di un riflesso metabolico di vasocostrizione, con relativa origine nei 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 scaturito un ulteriore filone di ricerca teso a verificare l'eventuale effetto positivo di un riallenamento della muscolatura respiratoria sulla capacità di sostenere un esercizio fisico.

3.7 Effetto dell'allenamento della muscolatura respiratoria sull'esercizio fisico

Alcuni ricercatori hanno infatti 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 (9), quindi, ha messo a punto uno strumento in grado di allenare la muscolatura respiratoria senza sovraccaricare l'apparato muscolare scheletrico e l'apparato cardiocircolatorio ed evitando l'ipocapnia, utilizzando la metodologia dell'iperpnea isocapnica.

4 LA RIABILITAZIONE RESPIRATORIA

4.1 Definizione

La riabilitazione respiratoria è stata definita come un “insieme multidimensionale di servizi diretti a persone con malattie polmonari e alle loro famiglie, di solito da parte di un team di specialisti, con lo scopo di raggiungere e mantenere il massimo livello di indipendenza e di attività nella comunità (15).

Questo concetto di riabilitazione in medicina respiratoria è relativamente recente (risale agli anni '70); fino agli anni '90 si pensava infatti che i pazienti con BPCO non fossero in grado di raggiungere intensità di esercizio sufficientemente elevata da poter determinare un riallenamento della muscolatura soprattutto degli arti inferiori in quegli anni la riabilitazione respiratoria era quasi esclusivamente mirata alla rieducazione respiratoria, soprattutto diaframmatica.

Questa definizione sottolinea alcuni aspetti fondamentali caratterizzanti l'attività riabilitativa in campo respiratorio, in particolare l'individualizzazione, la multidisciplinarietà del programma terapeutico, il reinserimento del paziente nel suo ambiente e l'aspetto educativo per promuovere la gestione della malattia da parte del paziente e della sua famiglia.

La riabilitazione respiratoria dovrebbe essere considerata imprescindibile per tutti i pazienti BPCO sintomatici e deve avere lo scopo di riportare questi pazienti ad uno stile di vita soddisfacente ed indipendente oltre che: alleviare i sintomi (dispnea), ridurre la compromissione fisica e psicologica, incrementare la performance fisica e mentale, facilitare il reinserimento sociale, incrementare la capacità di esercizio, migliorare la qualità della vita, ridurre il numero riacutizzazioni e della loro gravità, quindi ridurre anche il numero di ospedalizzazioni per patologie respiratorie.

Casaburi nel 1991 ha chiaramente dimostrato che nei pazienti BPCO anche di grado severo si possono osservare significativi risultati con un programma globale di riallenamento allo sforzo. Tali programmi sono da considerare parte integrante del trattamento delle malattie polmonari croniche e progressive, in quanto possono ridurre parte della disabilità. Il cardine della riabilitazione respiratoria è il riallenamento fisico.

4.2 Indicazioni

Scopo della riabilitazione è il recupero dei pazienti ad uno stile di vita indipendente e oltre che: alleviare i sintomi (dispnea), ridurre la compromissione fisica e psicologica, incrementare la performance fisica e mentale, facilitare il reinserimento sociale, incrementare la capacità di compiere esercizio, migliorare la qualità della vita, ridurre il numero di riacutizzazioni e la loro gravità, ridurre il numero di ospedalizzazioni per patologie respiratorie (16,17); vedi tabella 4.1.

Principali indicazioni al programma di riabilitazione polmonare (17)
<ul style="list-style-type: none"> • BPCO • Asma bronchiale • Bronchiectasie • Insufficienza respiratoria cronica, da qualsiasi causa • Insufficienza respiratoria acuta su cronica • Malattie neuromuscolari e della gabbia toracica • Malattie interstiziali del polmone • Pre e post chirurgia (toracica e addominale) con particolare riferimento alla resezione volume polmonare • Trapianto polmonare • Pazienti in UTIR

Tabella 4.1

L'American Thoracic Society (ATS) ha fissato dei criteri utili a definire le condizioni nell'ambito delle quali agisce la riabilitazione respiratoria, in cui si definiscono concetti quali l'impairment, l'activity e la participation.

Per *impairment* si intende la perdita o anormalità di una struttura corporea o di una funzione fisiologica o psicologica che deriva dalla malattia respiratoria. Secondo Ambrosino e collaboratori in ambito polmonare l'impairment può considerarsi come la riduzione del flusso per ostruzione bronchiale, riduzione dell'elasticità secondario a fibrosi (polmonare o pleurica) o alterazione degli scambi gassosi per distribuzione anomala di ventilazione-perfusione; riduzione della capacità diffusiva e si basa soprattutto sulla spirometria: (riduzione del VEMS e dell'indice di Tiffenau (VEMS/CVF)).

Una valutazione del grado di impairment non si limita alla sola valutazione polmonare, ma si estende alle problematiche cardiache e muscolari associate; questa valutazione polmonare completa è rappresentata dalla misura del massimo consumo di ossigeno (VO₂) ottenibile durante test da sforzo.

Per *activity* (o *Disability*) si intende la natura e l'entità del funzionamento per una persona, in termini di esecuzione di un compito o di un'azione da parte di un individuo. Le limitazioni dell'attività possono essere tali per natura, durata e qualità a causa della malattia respiratoria (18). Il grado di dispnea indotta dallo sforzo, sintomo cardine della disabilità respiratoria e della BPCO, è un sintomo soggettivo ed è da misurare in ogni persona. Può essere valutato direttamente, attraverso metodi come la Scala di Borg e la Scala analogica visiva (VAS), o indirettamente tramite scale multidimensionali come la Modified Medical Research Council

Infine per *participation* si intende la natura e l'entità del coinvolgimento della persona nelle situazioni della vita in relazione alle menomazioni, alle attività, alle condizioni di salute e ai fattori ambientali (l'ambiente fisico, sociale e degli atteggiamenti in cui le persone vivono e conducono la loro esistenza)" [47].

Unica controindicazione assoluta ai Programmi di Riabilitazione è la non volontà a parteciparvi o la cattiva compliance. Alcuni studi riportano qualche criterio di esclusione: comorbidità *maggiori* quali pneumotorace spontaneo non drenato, emottisi recente, scompenso acuto di cuore, embolia polmonare, edema polmonare, TBC polmonare attiva, avvelenamento da CO e *minori* quali aritmie cardiache, traumi cranici recenti, ipertensione grave, ernia jatale, persistenza dell'abitudine al fumo, eccessiva lontananza dall'ospedale, barriere linguistiche, compromissioni cognitive, problemi socioeconomici o eccessiva compromissione psicomotoria (19).

4.3 Modalità terapeutiche

La chiave del successo della riabilitazione respiratoria è l'individualizzazione del programma. I risultati globali derivanti dagli elementi individuali di un programma sono a loro volta di difficile valutazione a causa della multidisciplinarietà del programma riabilitativo e dell'uso di diverse modalità terapeutiche.

Secondo i criteri adottati dall'American College of Chest Physician (ACCP), i componenti dei programmi di riabilitazione, con evidenza scientifica di efficacia sono (20):

- ottimizzazione della terapia medica A
- cessazione dal fumo A
- educazione C
- fisioterapia toracica B
- allenamento all'esercizio fisico generale A
- allenamento dei muscoli respiratori B
- allenamento dei gruppi muscolari degli arti superiori B
- coordinazione respiratoria C
- terapia occupazionale C
- ossigenoterapia a lungo termine A
- riposo dei muscoli respiratori (ventilazione meccanica) B
- supporto psico-sociale C
- nutrizione B

Cessazione dal fumo:

I pazienti che entrano in un programma riabilitativo devono essere invitati a smettere di fumare o comunque avviati a un programma parallelo di disassuefazione dal fumo [58].

Componenti educazionali e psicosociali:

L'obiettivo della componente educazionale è incoraggiare la partecipazione attiva e la collaborazione al programma riabilitativo, anche attraverso una migliore conoscenza delle alterazioni fisiche e psicologiche caratteristiche della malattia cronica. Per quanto riguarda la componente psicosociale, lo scopo di questo intervento sono la riduzione della depressione e dell'ansia, peraltro patologie frequenti nel paziente affetto da BPCO, l'insegnamento di tecniche di rilassamento, l'educazione ad affrontare tematiche come quelle sessuali, i rapporti familiari e lavorativi (21). L'evidenza scientifica non sostiene benefici a breve termine di entrambe le componenti come singola modalità terapeutica, ma rileva un beneficio a lungo termine e giustifica quindi l'inclusione tra le componenti del PRP.

Allenamento degli arti inferiori:

Vi è l'evidenza sostanziale che l'allenamento degli arti inferiori dovrebbe essere sempre incluso nei programmi di riabilitazione per pazienti con malattie respiratorie croniche. I benefici possono essere sia fisiologici che psicologici. La funzione polmonare non migliora in seguito a questo tipo di allenamento; migliora la disabilità. In generale queste metodiche consentono di ottenere una riduzione della dispnea e una maggiore tollerabilità all'esercizio. La tolleranza per un dato carico sottomassimale coinvolgente i muscoli della deambulazione generalmente migliora (22).

Allenamento degli arti superiori:

l'allenamento alla forza e l'endurance degli arti superiori migliora la funzione delle braccia nei pazienti con BPCO, aumentandone la capacità di esercizio (20).

Allenamento specifico dei muscoli respiratori:

La principale indicazione di tale metodica è la preparazione all'intervento chirurgico. Il miglioramento della dispnea e/o della tolleranza all'esercizio fisico, quali indici del beneficio clinico funzionale sono in relazione all'intensità del training ($P_{im} > 30\% P_{I \max}$) (23). Questo tipo di allenamento non dovrebbe essere usato in pazienti con fibre muscolari danneggiate o in adattamento fisiologico (24).

Coordinazione respiratoria:

Comprende tecniche di "respirazione a labbra socchiuse" e "la respirazione diaframmatica". È utilizzata in pazienti BPCO di grado lieve e senza insufficienza respiratoria. Deve essere usata con cautela in pazienti stabili con BPCO di grado severo o in fase di riacutizzazione per interazione con aumento del carico di lavoro resistivo polmonare (25). Segni di efficacia, supposti ma non dimostrati, sono un aumento dei flussi espiratori, una migliore coordinazione del pattern respiratorio, miglioramento della dispnea e miglior senso di benessere.

Nutrizione

Tale modalità di trattamento volta ad ottimizzare lo stato nutrizionale nella BPCO è basata sia sui fattori correlati con lo stato nutrizionale influenzano in maniera indipendente la storia naturale della malattia sia con il peso corporeo ed ha un effetto indipendente sulla sopravvivenza dei pazienti con BPCO (26).

4.4 Valutazione dell'outcome

I programmi riabilitativi vengono valutati mediante indici di efficacia fondamentali per verificare l'aderenza del programma terapeutico in maniera oggettiva, che comprendono misure di impairment , misure di activity (tolleranza all'asercizio), prove di funzionalità respiratoria, misure di activity (scala della dispnea), indici di qualità della vita.

4.4.1 Misure di impairment:

Valutazione clinica: per conferma diagnostica, la caratterizzazione della gravità dei sintomi principali e l'identificazione dell'impatto della malattia sullo stile di vita del paziente (27).

Prove di funzionalità respiratoria: spirometria e emogasanalisi. La misura di forza dei muscoli respiratori per valutare i risultati di un programma riabilitativo che coinvolga i muscoli della respirazione.

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 ed oggettivo (28). 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 valutare 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. Si possono eseguire due tipi di spirometrie: lenta o forzata.

La spirometria lenta ci informa sui volumi statici, (figura 4.1) ovvero:

- Volume corrente (VC): volume di aria inspirato ed espirato ad ogni atto respiratorio che, in condizioni di riposo, corrisponde a circa 600 ml negli uomini e 500 ml nelle donne;
- Capacità inspiratoria (CI): massimo volume inspirato partendo dal volume di fine espirazione normale;
- Ventilazione minuto (VE): numero di atti respiratori al minuto, $VC \times$ Frequenza Respiratoria;
- Volume di Riserva Inspiratoria (VRI): massima quantità di aria inalata con un'inspirazione massimale;
- Volume di Riserva Espiratoria (VRE): massima quantità di aria espirata con un'espirazione di tipo massimale;
- Volume Residuo (VR): quantità di aria che rimane nel polmone al termine di un'espirazione massimale;
- Capacità Funzionale Residua (CFR): data da VRE e volume residuo (VR), che non è misurabile con una spirometria, e rappresenta il volume di aria nel polmone al termine di un'espirazione tranquilla;
- Capacità Vitale (CV): volume d'aria massimo che un soggetto è in grado di mobilitare in un ciclo respiratorio massimale;
- Capacità Polmonare Totale (CPT): massima quantità di aria contenuta nei polmoni.

Con una manovra respiratoria forzata (Figura 4.2), si rilevano i parametri dinamici, volumi e flussi polmonari:

- Capacità Vitale Forzata (CVF): volume totale di aria espulsa con un'espirazione forzata partendo da un'inspirazione completa;
- Volume Espiratorio Massimo nel primo secondo (VEMS): il volume di aria espulsa nel primo secondo di un'espirazione forzata partendo da un'inspirazione completa.
- Picco di Flusso Espiratorio (PEF);
- Picco di Flusso Inspiratorio (PIF);

Utilizzando lo spirometro si può ricavare anche la MVV, la Massima Ventilazione Volontaria. Si misura inducendo il soggetto a respirare con la massima profondità e frequenza possibili per 12 secondi, il volume di aria espirata viene misurato in L/ min.

La MVV predetta può essere ricavata indirettamente anche moltiplicando il VEMS per 0,35-0,40 (28-30).

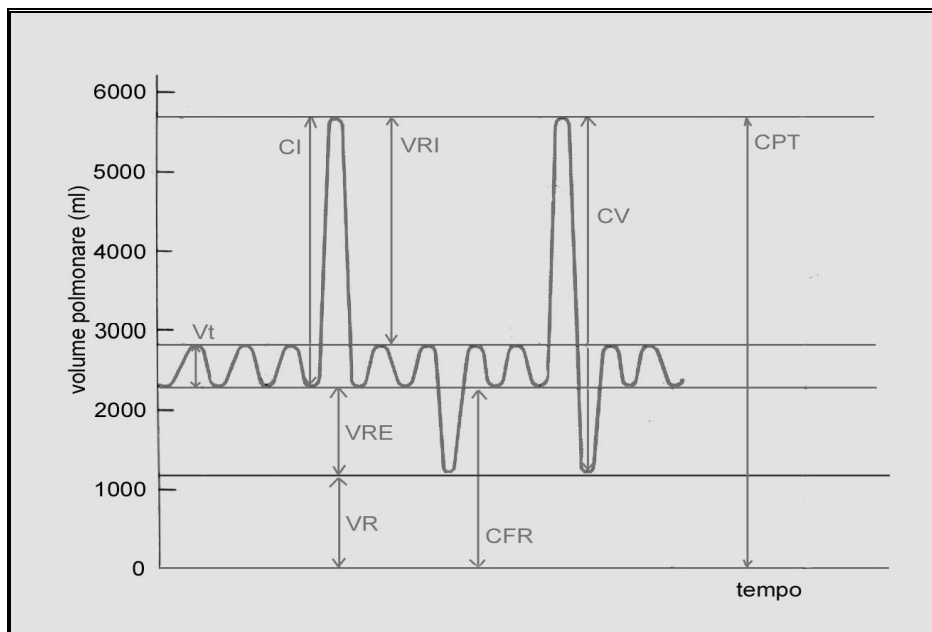


Figura 4.1: Tracciato spirometrico con volumi polmonari statici.

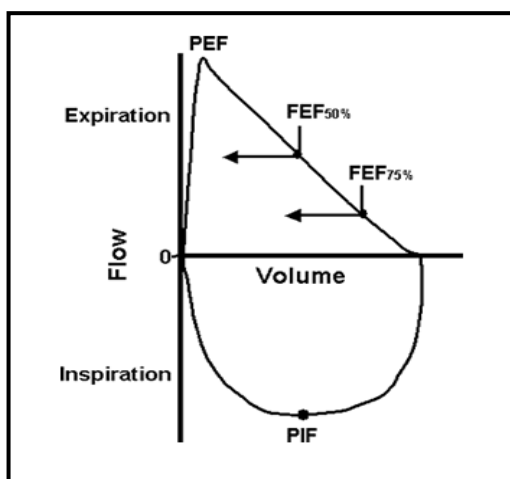


Figura 4.2 : manovra respiratoria forzata

Misura della forza dei muscoli respiratori

La MIP è il valore della miglior pressione negativa generata da un soggetto che inspira contro una via aerea occlusa e rappresenta la misura di forza ottenuta dai muscoli inspiratori, invece la MEP è il valore della miglior misura di pressione positiva che un soggetto riesce a sviluppare soffiando con forza contro le vie aeree occluse. Generalmente è misurata partendo da Capacità Polmonare Totale. Entrambe le misure vengono valutate in cmH₂O, mmHg oppure in kPa.

Il normale valore di MIP in un adulto è $\geq 10,6$ kPa.

offre un approccio quantitativo per stimare la dispnea ad un dato carico di lavoro: le modificazioni nella sensazione di dispnea corrispondenti al picco di esercizio possono essere apprezzate obiettivamente (35), (tabella 42). .

Sono considerati metodi indiretti: Modified Medical Research Council (MMRC): Scala clinica di 5 punti che correla il sintomo dispnea con l'esecuzione di attività di diversa intensità (tabella 4.3).

	SFORZO
1	Nulla
2	Molto lieve
3	Moderato
4	Impegnativo
5	Abbastanza pesante
6	Pesante
7	Particolarmente pesante
8	Molto pesante
9	Gravoso
10	Estremamente gravoso

Tabella 4.2: Scala di Borg

0	Non riferita dispnea, se non per sforzi intensi
1	Dispnea camminando in fretta o in una salita dolce
2	Necessità di camminare più lentamente degli altri in piano a causa di dispnea o di fermarsi quando si cammina
3	Necessità di fermarsi per riprendere fiato dopo aver camminato per circa 1 m o per pochi minuti in piano
4	Dispnea tale da non uscire di casa o da non vestirsi/svestirsi

Tabella 4.3: scala della dispnea MMRC

Nei pazienti con impairment più moderato, la valutazione della disability richiede test più oggettivi, che valutino la capacità di esercizio, come: il test del cammino (6MWT), lo shuttle test ed test da sforzo cardiorespiratorio.

TEST DEL CAMMINO: è un test d'esercizio submassimale che ha come scopo la determinazione della massima distanza percorribile in un dato periodo di tempo (6 o 12 minuti). Il test a 6 minuti è oggi il preferito in quanto più semplice e meno dispendioso in termini di tempo e risorse. Prima di iniziare la prova vengono fornite al paziente tutte le indicazioni riguardanti le procedure di sicurezza, come l'interruzione del test al momento della comparsa di sintomi o malessere tali da renderne impossibile il proseguimento. Il paziente viene inoltre istruito a rispondere alle domande degli operatori, a riposo e durante l'esecuzione del test, riguardanti eventuali sintomi e la sensazione di dispnea e sforzo percepita (scala di Borg). Viene fatto loro indossare al polso un saturimetro per il monitoraggio della saturazione di ossigeno (SpO₂%) e la frequenza cardiaca (FC) a riposo, durante e nel recupero dopo il test. Il valore di SpO₂%, indica se il sangue del paziente è più o meno ossigenato; un valore di SpO₂% a livello del mare nel range 100%-94% e' reputato normale, un valore minore di 90% testimonia uno stato ipossico. La pressione arteriosa (PA), invece, viene misurata a riposo e a fine test.

La marcia viene interrotta se il paziente non è più in grado di continuare il cammino a causa di dispnea severa o dolore muscolare agli arti inferiori (valori della scala di Borg pari a 9-10/10) o l'80-90% della FC max, desaturazione (valori di SpO₂ < 90% o una riduzione >4% del valore di base), deambulazione scoordinata, comparsa di altri sintomi quali vertigine, angina ecc., o per qualsiasi motivo ritenuto idoneo dall'operatore.

Per l'esecuzione del test bisogna tenere presenti le eventuali controindicazioni:

- Frequenza Cardiaca > 120 bpm,
- Pressione Arteriosa Diastolica (PAD) > 100 mmHg,
- Pressione Arteriosa Sistolica (PAS) > 150 mmHg.

SHUTTLE TEST: misura la tolleranza all'esercizio fisico durante camminata in piano. Il paziente cammina avanti ed indietro in un corridoio lungo 10 metri; la velocità ed il ritmo vengono scandite da un segnale sonoro. Il test termina quando il paziente non riesce a mantenere la velocità richiesta. Nota: lo shuttle test è una prova facilmente riproducibile con una significativa correlazione con il VO₂ max.

TEST DA SFORZO CARDIO-RESPIRATORIO: è una delle principali misure per valutare la tolleranza all'esercizio fisico e per valutare possibili desaturazioni imprevedibili dai

test di funzione polmonare basale (36). Il test da sforzo incrementale su cicloergometro o pedana mobile è generalmente usato per graduare l'intensità dell'allenamento (36), è indubbiamente il metodo più completo per valutare la capacità di esercizio. E' eseguibile al cicloergometro o al treadmill e consente di determinare con precisione il massimo carico di lavoro tollerabile (watt) e il VO₂ a esso corrispondente (VO₂ picco). Questo parametro indica la massima potenza del metabolismo aerobico dei muscoli ed è in funzione sia della capacità di apporto di O₂ ai tessuti, sia dalla capacità di estrazione di O₂ da parte dei tessuti stessi (Figura 4.4; figura 4.5) Il test da sforzo cardio-respiratorio può essere eseguito in 2 modi:

Test a carico incrementale: 2 minuti di riscaldamento senza carico seguito da un progressivo incremento del carico; nei pazienti con dispnea da sforzo si utilizzano incrementi di 5-15 W/minuto; la durata ottimale del test deve essere intorno a 8-12 minuti e il recupero avviene in un tempo variabile tra 2 e 6 minuti. Al termine si valutano i sintomi che hanno determinato la fine dell'esercizio (scala di Borg).

Test a carico costante: la durata dell'esercizio è di soli 6 minuti; in genere si utilizzano carichi tra il 50% e il 70% del massimo carico sostenuto durante il test incrementale.

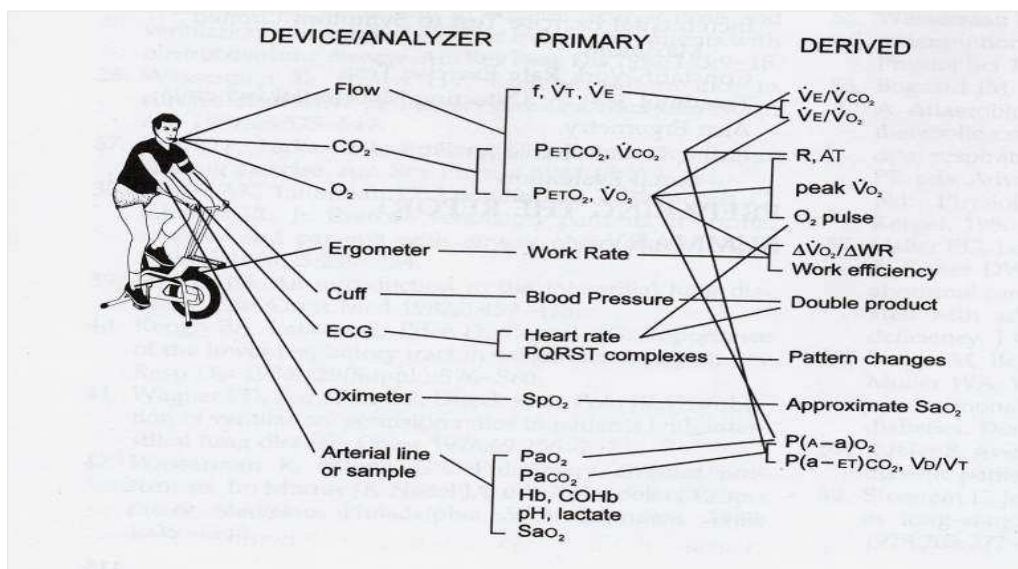


Figura 4.4. parametri valutati durante test da sforzo cardiopolmonare

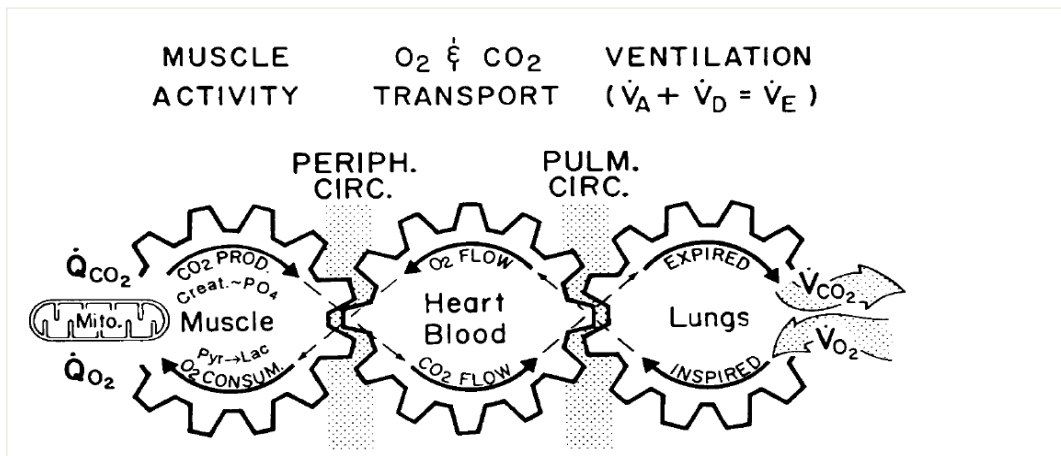


Figura 4.5: estrazione, uso di O₂ durante test da sforzo

4.4.3 Misure di partecipazione (Handicap)

Per ciò che riguarda la misura della Qualità della vita (QOL) si somministrano dei questionari di QOL misurano l'impatto della salute di un paziente, sulla sua capacità di eseguire le attività della vita quotidiana. Gli strumenti per la valutazione di QOL variano da misure malattia-specifiche per un singolo sintomo (per esempio dispnea) a valutazione generica di molti aspetti che includono quelli emozionali, il ruolo sociale, le attività quotidiane della vita. Questi questionari hanno buona riproducibilità anche se la funzione polmonare e la tolleranza allo sforzo non si correlano fortemente (37).

Saint George's respiratory questionnaire (SGRQ) è un questionario specifico per disturbi respiratori, utilizzato per la valutazione della qualità della vita di pazienti affetti da asma e BPCO. Il questionario è composto di 76 quesiti, riguardanti i sintomi respiratori, il grado di disabilità o limitazione delle attività quotidiane, legate ai disturbi respiratori e l'impatto psicosociale della malattia.

Questionario di Saint. George	
I parte	
1) Nelle ultime 4 settimane hai avuto tosse?	1. quasi tutti i giorni della settimana (80.6) 2. per più giorni della settimana

	<p>(63.2)</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. qualche giorno nell'arco del mese (29.3) 4. soltanto in caso di infezioni respiratorie (28.1) 5. mai (0)
2) Nelle ultime 4 settimane hai sputato catarro?	<ol style="list-style-type: none"> 1. quasi tutti i giorni della settimana (76.8) 2. per più giorni della settimana (60.0) 3. qualche giorno nell'arco del mese (34.0) 4. soltanto in caso di infezioni respiratorie (30.2) 5. mai (0)
3) Nelle ultime 4 settimane hai avuto il fiato corto?	<ol style="list-style-type: none"> 1. quasi tutti i giorni della settimana (87.2) 2. per più giorni della settimana (71.4) 3. qualche giorno nell'arco del mese (43.7) 4. soltanto in caso di infezioni respiratorie (35.7) 5. mai (0)
4) Nelle ultime 4 settimane hai avuto il respiro con sibili e fischi?	<ol style="list-style-type: none"> 1. quasi tutti i giorni della settimana (86.2) 2. per più giorni della settimana (71.0) 3. qualche giorno nell'arco del mese (45.6) 4. soltanto in caso di infezioni

	<p>respiratorie (36.4)</p> <p>5. mai (0)</p>
5) Nelle ultime 4 settimane quanti attacchi o crisi respiratorie gravi o molto fastidiose hai avuto?	<p>1. più di 3 attacchi o crisi (86.7)</p> <p>2. 3 attacchi o crisi (73.5)</p> <p>3. 2 attacchi o crisi (60.3)</p> <p>4. 1 attacco o crisi (44.2)</p> <p>5. nessun attacco o crisi (0)</p>
6) Nelle ultime 4 settimane quanto tempo è durato l'attacco o la crisi respiratoria peggiore che hai avuto (se non ne hai avute passa alla domanda 7)?	<p>1. una settimana o più (89.7)</p> <p>2. 3 giorni o più (73.5)</p> <p>3. 1 o 2 giorni (58.8)</p> <p>4. meno di un giorno (41.9)</p>
7) Nelle ultime 4 settimane , in una settimana normale, quanti giorni "buoni" (ovvero con pochi disturbi respiratori) hai avuto?	<p>1. alcuni giorni (93.3)</p> <p>2. 1 o 2 giorni (76.6)</p> <p>3. 3 o 4 giorni (61.5)</p> <p>4. quasi tutti i giorni (15.4)</p> <p>5. tutti i giorni (0)</p>
8) quando ha il respiro con i fischi e i sibili è peggiore la mattina?	<p>1. no (62.0)</p> <p>2. sì (0)</p>
Il parte	
sezione 1	
1) come descriveresti i tuoi disturbi respiratori (scegliere una sola casella)?	<p>1. sono il problema più grave che ho (83.2)</p> <p>2. mi creano parecchi problemi (82.5)</p> <p>3. mi creano qualche problema (34.6)</p> <p>4. non mi creano problemi (0)</p>
2) se hai o hai avuto un'attività	<p>1. i disturbi respiratori mi hanno</p>

professionale, scegli una delle seguenti risposte	<p>costretto a smettere di lavorare (88.9)</p> <p>2. i disturbi respiratori mi ostacolano nel lavoro o mi hanno costretto a cambiarlo (77.6)</p> <p>3. i disturbi respiratori non mi danno problemi sul lavoro (0)</p>
---	--

sezione 2

1) quali delle seguenti attività generalmente ti causano il fiato corto in questi giorni?

stare seduto o sdraiato senza muovermi	<table border="1"> <tr> <td>vero (90.6)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (90.6)	falso (0)
vero (90.6)	falso (0)		
lavarmi o vestirmi da solo	<table border="1"> <tr> <td>vero (82.8)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (82.8)	falso (0)
vero (82.8)	falso (0)		
camminare per casa	<table border="1"> <tr> <td>vero (80.2)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (80.2)	falso (0)
vero (80.2)	falso (0)		
camminare all'aperto in piano	<table border="1"> <tr> <td>vero (81.4)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (81.4)	falso (0)
vero (81.4)	falso (0)		
salire una rampa di scale	<table border="1"> <tr> <td>vero (76.1)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (76.1)	falso (0)
vero (76.1)	falso (0)		
camminare in salita	<table border="1"> <tr> <td>vero (75.1)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (75.1)	falso (0)
vero (75.1)	falso (0)		
fare sport o giochi in movimento	<table border="1"> <tr> <td>vero (72.1)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (72.1)	falso (0)
vero (72.1)	falso (0)		

sezione 3

Questa sezione si riferisce alla tosse e al fiato corto in questi giorni. Barra la risposta vero o falso relativamente alle seguenti affermazioni.

mi fa male quando tossisco	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> <tr> <td>(81.1)</td> <td>(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(81.1)	(0)
vero	falso				
(81.1)	(0)				
tossire mi stanca fisicamente	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> <tr> <td>(79.1)</td> <td>(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(79.1)	(0)
vero	falso				
(79.1)	(0)				
quando parlo ho il fiato corto	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> <tr> <td>(84.5)</td> <td>(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(84.5)	(0)
vero	falso				
(84.5)	(0)				
quando mi chino ho il fiato corto	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> <tr> <td>(76.8)</td> <td>(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(76.8)	(0)
vero	falso				
(76.8)	(0)				
la tosse o il respiro mi disturbano durante il sonno	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> <tr> <td>(87.9)</td> <td>(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(87.9)	(0)
vero	falso				
(87.9)	(0)				
mi sento facilmente esausto	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> <tr> <td>(84.0)</td> <td>(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(84.0)	(0)
vero	falso				
(84.0)	(0)				
sezione 4					
Questa sezione si riferisce al altri effetti che i disturbi respiratori possono avere su di te in questi giorni					
la tosse o il respiro mi mettono a disagio quando sono con altre persone	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> <tr> <td>(74.1)</td> <td>(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(74.1)	(0)
vero	falso				
(74.1)	(0)				
i miei disturbi respiratori sono un fastidio per il parenti, gli amici, o i vicini di casa	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> <tr> <td>(79.1)</td> <td>(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(79.1)	(0)
vero	falso				
(79.1)	(0)				
mi spavento o mi faccio prendere dal panico quando non riesco a respirare	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> <tr> <td>(87.7)</td> <td>(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(87.7)	(0)
vero	falso				
(87.7)	(0)				
ho l'impressione di non poter tenere sotto controllo i miei problemi respiratori	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> <tr> <td>(90.1)</td> <td>(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(90.1)	(0)
vero	falso				
(90.1)	(0)				
credo che i miei disturbi non	<table border="1"> <tr> <td>vero</td> <td>falso</td> </tr> </table>	vero	falso		
vero	falso				

miglioreranno	(82.3)	(0)
a causa dei miei disturbi respiratori sono diventato debole o invalido	vero (89.9)	falso (0)
l'esercizio fisico per me è rischioso	vero (75.7)	falso (0)
tutto mi sembra troppo faticoso	vero (84.5)	falso (0)
sezione 5		
Questa sezione è dedicata alla cura che stai seguendo. Se non segui cure passa direttamente alla sezione 6		
la cura che seguo mi serve poco	vero (88.2)	falso (0)
mi sento a disagio quando sono costretto a seguire le prescrizioni mediche quando sono con altre persone	vero (53.9)	falso (0)
la cura che seguo mi causa effetti collaterali sgradevoli	vero (81.1)	falso (0)
la cura che seguo influisce molto sulla mia vita	vero (70.3)	falso (0)
sezione 6		
Questa sezione riguarda il modo in cui le tue attività potrebbero essere influenzate dalla tua respirazione (barra le caselle vero o falso relativamente alle seguenti affermazioni)		
per lavarmi e vestirmi impiego molto tempo	vero (74.2)	falso (0)

<p>non sono in grado di fare il bagno o la doccia, o per farlo impiego molto tempo</p>	<table border="1"> <tr> <td>vero (81.0)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (81.0)	falso (0)
vero (81.0)	falso (0)		
<p>cammino più lentamente degli altri, oppure devo fermarmi per riposare</p>	<table border="1"> <tr> <td>vero (71.7)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (71.7)	falso (0)
vero (71.7)	falso (0)		
<p>se salgo un piano di scale mi devo fermare a riposare</p>	<table border="1"> <tr> <td>vero (70.6)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (70.6)	falso (0)
vero (70.6)	falso (0)		
<p>nelle attività come i lavori di casa impiego molto tempo, oppure devo fermarmi per riposare</p>	<table border="1"> <tr> <td>vero (71.6)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (71.6)	falso (0)
vero (71.6)	falso (0)		
<p>se cammino velocemente, devo fermarmi o rallentare il passo</p>	<table border="1"> <tr> <td>vero (72.3)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (72.3)	falso (0)
vero (72.3)	falso (0)		
<p>a causa della mia respirazione ho difficoltà a fare cose com, ad esempio, camminare in salita, portare gli oggetti salendo le scale, fare piccoli lavori in giardino (come togliere le erbacce), ballare, giocare a bocce</p>	<table border="1"> <tr> <td>vero (74.5)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (74.5)	falso (0)
vero (74.5)	falso (0)		
<p>a causa della mia respirazione ho difficoltà a fare cose come, ad esempio, portare carichi pesanti, zappare il giardino o spalare la neve, correre per fare esercizio o camminare velocemente (8 km/h), giocare a tennis o</p>	<table border="1"> <tr> <td>vero (71.4)</td> <td>falso (0)</td> </tr> </table>	vero (71.4)	falso (0)
vero (71.4)	falso (0)		

nuotare					
<p>a causa della mia respirazione ho difficoltà a fare cose come, ad esempio, lavori manuali molto pesanti, andare in bicicletta, correre, nuotare velocemente o praticare sport faticosi</p>	<table border="1" data-bbox="965 421 1241 548"> <tr> <td data-bbox="965 421 1117 481">vero</td> <td data-bbox="1117 421 1241 481">falso</td> </tr> <tr> <td data-bbox="965 481 1117 548">(63.5)</td> <td data-bbox="1117 481 1241 548">(0)</td> </tr> </table>	vero	falso	(63.5)	(0)
vero	falso				
(63.5)	(0)				
sezione 7					
<p>Vorremmo ora sapere in che modo i tuoi disturbi influenzano di solito la tua vita di tutti i giorni.</p> <p>Barra le caselle vero o falso relativamente alle affermazioni seguenti (barra vero se i disturbi respiratori ti impediscono di fare una certa cosa)</p>					
<p>non sono in grado di praticare sport o fare giochi in movimento</p>	<table border="1" data-bbox="965 1064 1241 1131"> <tr> <td data-bbox="965 1064 1061 1131">vero</td> <td data-bbox="1061 1064 1241 1131">falso (0)</td> </tr> </table>	vero	falso (0)		
vero	falso (0)				
<p>non sono in grado di uscire per svago o divertimento</p>	<table border="1" data-bbox="965 1209 1241 1276"> <tr> <td data-bbox="965 1209 1061 1276">vero</td> <td data-bbox="1061 1209 1241 1276">falso (0)</td> </tr> </table>	vero	falso (0)		
vero	falso (0)				
<p>non sono in grado di uscire di casa per fare la spesa</p>	<table border="1" data-bbox="965 1332 1241 1400"> <tr> <td data-bbox="965 1332 1061 1400">vero</td> <td data-bbox="1061 1332 1241 1400">falso (0)</td> </tr> </table>	vero	falso (0)		
vero	falso (0)				
<p>non sono in grado di allontanarmi dal letto o dalla poltrona</p>	<table border="1" data-bbox="965 1478 1241 1545"> <tr> <td data-bbox="965 1478 1061 1545">vero</td> <td data-bbox="1061 1478 1241 1545">falso (0)</td> </tr> </table>	vero	falso (0)		
vero	falso (0)				
<p>E' riportato di seguito un elenco di attività che i tuoi disturbi, forse, ti impediscono di svolgere (questo elenco serve semplicemente come esempio per ricordarti come la mancanza di fiato può limitarti in alcune attività. Non devi rispondere a nessuna domanda.</p> <ul data-bbox="263 1870 933 2027" style="list-style-type: none"> • fare passeggiate o portare a spasso il cane • fare lavori in casa o in giardino • avere rapporti sessuali 					

- andare in chiesa, andare al bar, al circolo, a vedere uno spettacolo ecc.
- uscire quando fa brutto tempo o stare in locali pieni di fumo
- andare a trovare parenti, amici o giocare con i bambini

Per piacere, scrivi in questo spazio qualsiasi altra attività importante che i tuoi disturbi respiratori ti impediscono di svolgere:

Ora ti preghiamo di barrare l'affermazione che secondo te descrive meglio il modo in cui i tuoi disturbi respiratori limitano la tua attività quotidiana

1. non mi impediscono di fare quello che vorrei fare
2. mi impediscono di fare alcune cose che vorrei fare
3. mi impediscono di fare la maggior parte delle cose che vorrei fare
4. mi impediscono di fare tutto quello che vorrei fare

Sopravvivenza: età e FEV1 basale dei pazienti, sono i migliori predittori di sopravvivenza di pazienti affetti da BPCO; tuttavia anche fattori potenzialmente controllabili dai PRP come il peso corporeo, la sospensione dal fumo di sigaretta, la capacità all'esercizio, o ad affrontare le attività quotidiane, la influenzano (38-39)

La risposta all'esercizio

Un soggetto normale durante un test da sforzo incrementale raggiunge la sua soglia anaerobica, dimostrata dalla dissociazione delle curve dei gas (ventilazione e consumo di O₂) e solitamente interrompe il test per affaticamento periferico prima di arrivare alla sua massima ventilazione volontaria. La ventilazione aumenta, in un esercizio non ancora ad intensità elevata, inizialmente a carico del volume corrente (VC), cioè i respiri diventano più profondi poi, in seguito aumenterà anche la frequenza respiratoria. Quindi, nel soggetto normale che respira tranquillamente, a riposo vi è un'ampia riserva di VC e di flusso espiratorio ed inspiratorio. Se diventa necessario, infatti, il VC può aumentare utilizzando sia il volume di riserva espiratoria (VRE), sia soprattutto il volume di riserva inspiratoria (VRI).

Analogamente, grazie all'attività maggiore dei muscoli inspiratori ed al reclutamento dei muscoli espiratori, anche il flusso rispettivamente espiratorio ed inspiratorio può aumentare notevolmente considerando per un dato VC, l'incremento della frequenza. Questo si traduce in un marcato aumento della ventilazione al minuto senza però nessun aumento del volume polmonare a fine espirazione (cioè della capacità funzionale residua, CFR). Come si vede in figura 3.6, un soggetto normale che fa attività fisica ha la possibilità di aumentare il suo volume corrente in 4 direzioni, su 4 piani di libertà (flussi, volume e frequenza fino a livelli massimali).

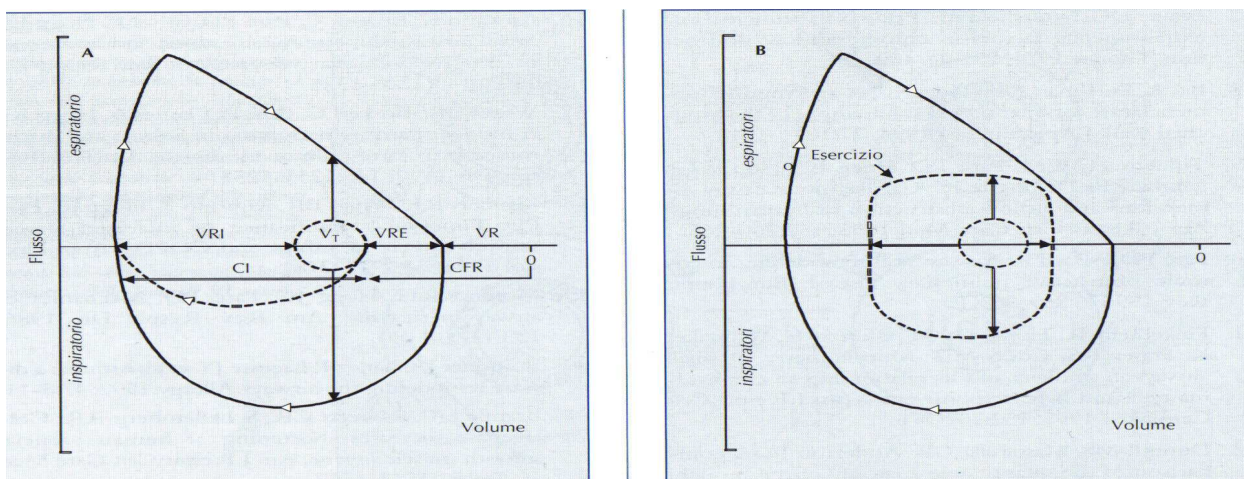


Figura (4.6): Linea tratteggiata: respirazione corrente. Linea continua: respirazione massimale

Nel soggetto BPCO, in cui la connotazione funzionale maggiore è l'ostruzione al flusso aereo, si ha una riduzione del VRE. In concomitanza di un'augmentata richiesta ventilatoria non si osserverà, almeno inizialmente, un aumento della CFR in quanto la limitazione al flusso definisce quella particolare condizione in cui i flussi utilizzati sono già massimali e non più modificabili dall'attività muscolare. A differenza dell'ostruzione, la limitazione si osserva solo durante l'espirazione a causa della minore riserva di flusso espiratorio.

Ed in conseguenza all'ostruzione al flusso si osserva un aumento delle resistenze delle vie aeree, diminuzione dei flussi espiratori, aumento del tempo di espirazione e quindi ad un aumento del volume residuo e della CPT ed una conseguente iperinsufflazione.

L'iperinsufflazione è l'incremento oltre i limiti di norma della capacità funzionale residua, cioè del volume di riposo del polmone. Nelle fasi avanzate della malattia si traduce in limitazione al flusso, ed i flussi espiratori a volume corrente sono dello stesso ordine di grandezza di quelli massimali durante espirazione forzata. Nel polmone iperinsufflato si manifesta appiattimento del diaframma e dilatazione della gabbia toracica, portando così ad una configurazione geometrica corporea alterata e svantaggiosa per i muscoli respiratori compromettendo la loro capacità di generare forza (cioè di produrre ventilazione). Questo

porta ad un aumento del lavoro della respirazione, e ad un'ulteriore ridotta tolleranza all'esercizio fisico con comparsa di dispnea per minimi sforzi. Si manifesta una disarmonica rottura del rapporto di equilibrio tra stimolo nervoso (motorio) e la capacità di risposta ventilatoria.

Il paziente BPCO interrompe precocemente il test per la comparsa di dispnea, spesso prima del raggiungimento della soglia anaerobica (il punto, cioè, al quale si passa dal metabolismo aerobico a quello anaerobico); il paziente non riesce a mantenere il carico lavorativo richiesto sufficientemente a lungo per compiere l'obiettivo prefissato; l'incremento ventilatorio non è più sostenibile. La causa più comune di intolleranza allo sforzo è la richiesta di ossigeno che eccede la massima capacità di conduttanza dei meccanismi di trasporto e di utilizzazione; si genera così la sensazione di fatica agli arti, la dispnea e l'affanno. La capacità di generare flussi è notevolmente ridotta sia nel soggetto con deficit ostruttivo moderato sia nel soggetto con deficit grave.

Di seguito vengono riportate 2 curve flusso/volume registrate a riposo e a 40-80 watt durante test da sforzo massimale in paziente affetto da BPCO moderato-severo(figura4.7-4.8).

Figura 4.7

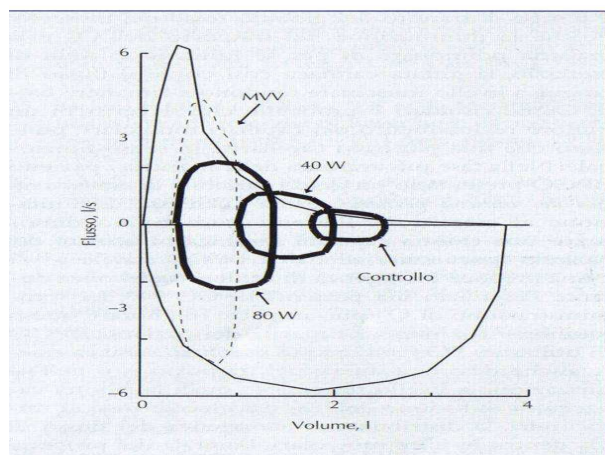
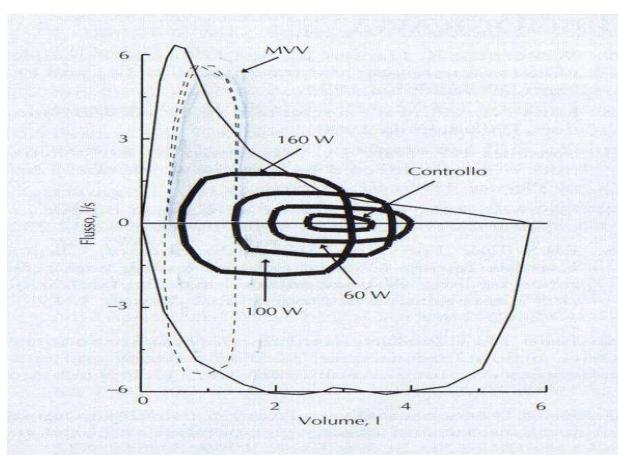


Figura 4.8



Nel primo caso (figura 4.7) il soggetto parte da un VC che gli consente di incrementare di un po' il lavoro prima di arrivare a toccare la sua massima capacità di generare flussi, ma diventa dispnoico molto velocemente. Nel secondo caso (figura 4.8), il soggetto parte già dalla sua massima capacità di generare flussi e quindi il VC non si muove più su 4 gradi di libertà, ma su uno soltanto, cioè si muove sempre verso la capacità polmonare totale senza mai tornare al volume residuo: in questo modo la muscolatura non raggiunge i valori di riposo ma resta sempre in tensione e si affatica precocemente. La CFR aumenta fin dalle prime fasi dell'esercizio, limitando così la normale espansione volumetrica del polmone che raggiunge

velocemente il plateau. L'unico modo per aumentare la ventilazione è quello di aumentare la frequenza respiratoria, di conseguenza, l'esercizio fisico massimale in caso di grave BPCO, termina per la comparsa di dispnea intensa.

4.5 Adattamenti cardio circolatori all'esercizio

Durante esercizio la portata cardiaca passa da 5L/min a circa 20L/min. All'inizio dello sforzo incrementano sia la gittata sia la frequenza poi solo la frequenza cardiaca. La ventilazione aumenta da 5-10L/min a 200L/min. Inizialmente solo il volume corrente; quando questo raggiunge circa il 65% della Capacità Vitale, anche la frequenza respiratoria fino a circa 60/min. e La pressione arteriosa: da 120mmHg a 200 e>; la pressione diastolica di circa 10-15mmg.

Il test da sforzo cardio-respiratorio consente di misurare con precisione il massimo carico di lavoro sopportabile dal soggetto (VO₂max). Questo parametro, chiamato massimo consumo di ossigeno, indica la massima potenzialità del metabolismo aerobico ed è funzione sia della capacità di apporto di ossigeno ai tessuti da parte del sistema respiratorio e cardiovascolare, sia della capacità di estrazione di ossigeno da parte dei tessuti (Massimo Consumo di Ossigeno = Frequenza Cardiaca x Gittata Sistolica x differenza Artero-Venosa di Ossigeno). (VO₂max=FCxGSxD(a-v)O₂)

La conoscenza del VO₂max del paziente affetto da BPCO consente di programmare l'allenamento impostando i vari parametri del programma di riabilitazione respiratoria: intensità, durata e frequenza.

Esistono diversi tipi di allenamento:

- Allenamento di resistenza degli arti superiori.
- Allenamento di resistenza degli arti inferiori.
- Allenamento della forza.
- Allenamento specifico dei muscoli respiratori.

I pazienti possono seguire diverse modalità di esercizio:

- Treadmill
- Cyclette
- Cammino libero
- Scale
- Combinazioni di più esercizi

Nei soggetti normali l'allenamento aerobico si svolge in genere tra il 60% ed il 90% della frequenza cardiaca massimale o tra il 50% e l'80% del VO₂ max. In genere questi livelli si mantengono per 20-45 minuti per 3-4 volte la settimana. Allenare i pazienti BPCO ad un livello corrispondente al 60%-70% del massimo carico di lavoro produce: un aumento della capacità di esercizio (minor dispnea a parità di sforzo), un aumento del numero di enzimi ossidativi nella muscolatura periferica (aumento del numero e della dimensione dei mitocondri), una riduzione dei livelli ematici di acido lattico e di ventilazione per uno stesso carico

Un simile programma può essere seguito dalla maggior parte dei pazienti BPCO, mentre altri soggetti con ostruzione severa delle vie aeree potrebbero non tollerare un allenamento a tale intensità. In alternativa è possibile adottare un metodo di lavoro intervallato, lavorando al 60%-80% della massima capacità di esercizio per periodi di 2 o 3 minuti intervallati da 2 o 3 minuti di riposo (interval training). La durata complessiva del programma di riabilitazione respiratoria è di 8-12 settimane, al termine delle quali il soggetto va stimolato a mantenersi attivo in modo tale da non perdere i benefici acquisiti.

E' molto importante che il paziente rispetti i vari parametri di allenamento (intensità, durata e frequenza). Infatti, così come accade nei soggetti sani, anche nei pazienti BPCO l'effetto positivo dell'esercizio fisico si mantiene per il tempo di durata dell'allenamento. Al contrario una riduzione dell'intensità, della durata o della frequenza del programma di riabilitazione respiratoria ne riduce sensibilmente gli effetti benefici.

4.6 Quantificazione dell'attività fisica quotidiana

Un'accurata valutazione della quantità e dell'intensità dell'attività fisica nella vita quotidiana è considerata molto importante vista la stretta relazione che esiste tra il livello di attività fisica, la salute, la disability e la mortalità. Per questa ragione, la valutazione dall'attività fisica nella vita di tutti i giorni ha guadagnato negli ultimi anni notevole interesse. Se per attività fisica si intende ogni movimento del corpo prodotto dai muscoli scheletrici da cui risulta un dispendio energetico, l'attività fisica quotidiana è "la totalità dei movimenti volontari prodotti dai muscoli scheletrici durante le azioni di tutti i giorni". I metodi più comunemente utilizzati per quantificare l'ammontare dell'attività fisica svolta dai pazienti BPCO sono i metodi soggettivi e i sensori di movimento.

I metodi soggettivi hanno valenza pratica essenzialmente nell'accertare la visione che i pazienti hanno della loro prestazione nelle attività quotidiane e del loro stato funzionale. Tuttavia bisogna porre attenzione quando questi metodi vengono usati per quantificare accuratamente l'ammontare dell'attività fisica svolta. Informazioni più accurate possono invece essere ricavate con i sensori di movimento.

I risultati dei questionari sono convertiti in una stima della spesa energetica grazie alla tabella dei costi energetici delle varie attività che variano sostanzialmente tra i diversi soggetti poiché dipendono da più fattori quali la massa corporea e l'efficienza del movimento; inoltre non si conosce il costo energetico di tutte le attività svolte quotidianamente.

Possono essere ottenuti risultati differenti se gli operatori che sottopongono il questionario sono diversi. Per quanto riguarda i diari, in cui viene richiesto al paziente di riportare il tempo speso nelle differenti attività, si è visto che i soggetti BPCO sovrastimano significativamente il tempo passato a camminare mentre sottostimano quello passato stando in piedi. Quindi l'uso di metodi soggettivi per la stima dell'attività fisica soggetti anziani e con BPCO non è raccomandato.

Nella pratica clinica ci sono però situazioni in cui i questionari sono l'unico metodo utilizzabile per valutare il grado di disabilità nei pazienti con BPCO. Nonostante le loro limitazioni, i metodi soggettivi hanno una valenza pratica, specialmente nel valutare il punto di vista dei pazienti per quanto riguarda il loro rendimento nelle attività quotidiane, la loro indipendenza e il loro stato funzionale.

Sensori di movimento (metodo elettronico o meccanico): I sensori di movimento sono strumenti in grado di percepire i movimenti del corpo e vengono utilizzati per quantificare oggettivamente l'attività fisica quotidiana in un periodo di tempo. tali strumenti includono i *pedometri* (misuratori di passi) e gli accelerometri (rivelatori dell'accelerazione del corpo). I pedometri sono strumenti piccoli, semplici ed economici. Di solito sono portati alla vita e contengono un braccio di leva orizzontale che deflette con l'accelerazione verticale dell'anca durante la camminata (il movimento di "su e giù" della deambulazione): in questo modo misurano il numero dei passi. Tuttavia, ogni movimento sul piano verticale, come alzarsi da una sedia, può essere percepito e risultare quindi nel calcolo finale. Gli *accelerometri* sono dispositivi tecnologicamente più avanzati che permettono di determinare la quantità e l'intensità del movimento. Questi apparecchi sono in grado di memorizzare continuamente i dati nel lungo periodo. I dispositivi devono essere portati senza che interferiscano sulle normali attività del soggetto.

Gli accelerometri sono di due tipi: uniassiali, che registrano i movimenti in un solo piano corporeo, e i multiassiali, in più di un piano di movimento. Entrambi hanno il vantaggio, rispetto ai pedometri, di valutare l'intensità di movimento e di permettere un'analisi più dettagliata di differenti intervalli di tempo. Lo svantaggio degli accelerometri sta nel costo elevato, se paragonato a quello dei pedometri e nel fatto che richiedano competenza tecnica e un hardware/software per analizzare i dati. Inoltre questi strumenti possono essere sensibili a movimenti vibratorii registrando, per esempio, la vibrazione relativa all'essere in un veicolo. Una limitazione dei sensori di movimento indossati in vita, sui fianchi o alla cavaglia è che le attività delle estremità superiori del corpo non sono misurate. Per quanto riguarda la compliance del soggetto si può affermare che le misurazioni richiedono una scarsa attenzione da parte del paziente. Per quanto riguarda la capacità di distinguere i differenti livelli di attività fisica, i sensori di movimento sono in grado di discriminare un basso, moderato o alto livello di attività oppure di catalogare gli individui come sedentari, moderatamente attivi o attivi.

Uno speciale sensore di movimento è un sistema di monitoraggio corporeo (Arm Band) 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 (40).

Il SenseWear Armband è un monitor multi-sensore, indossabile a "fascia" sul tricipite posteriore in posizione molto comoda 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) calcolati grazie ad un esclusivo e brevettato algoritmo, così come livelli di attività, stati di sonno e veglia ed altri parametri, in condizioni assolutamente fisiologiche durante normali attività fisiche, in qualsiasi ambiente (40).

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 (40)

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, interrompendo quindi temporaneamente la registrazione: 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 (40). Attraverso 4 sensori posti nella parte inferiore della piastra, Armband

misura direttamente 4 parametri fisiologici (figura 4.9).

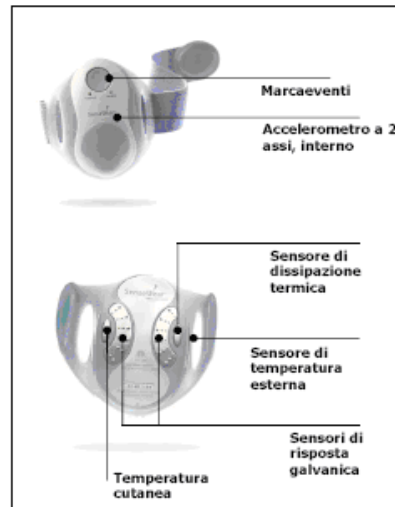


Figura 4.9.: sensewear Armband.

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.

5 STUDIO1: SOGGETTI SANI

5.1 Soggetti

In questo studio sono stati analizzati 12 soggetti di sesso femminile; 6 hanno costituito il gruppo di sperimentazione e le altre 6 il gruppo di controllo.

I soggetti sono stati reclutati all'interno dell'Università degli Studi di Ferrara, hanno un'età compresa tra i 21 e i 28 anni, altezza media di 163,4 cm, e peso medio di 57,58 kg. Non c'è nessuna differenza significativa tra i due gruppi (tabella 5.1; tabella 5.2)

	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	59,17	166,67	21,28	2402,83
		±0,82	±3,19	±4,23	±1,5	±230,76

Tabella 5.1: Caratteristiche dei soggetti che hanno effettuato il protocollo di studio.

Gli obiettivi e le modalità dello studio sono stati adeguatamente spiegati a tutti i soggetti prima di iniziare qualsiasi attività affinché potessero decidere di dare la loro disponibilità per tutta la durata del protocollo.

	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 5.2: Caratteristiche dei soggetti del gruppo di controllo.

5.2 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)

5.3 Metodi

5.3.1 Prove di funzionalità respiratoria

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.

5.3.2 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 è stato tenuto anche durante il sonno anche se nei risultati dello studio il periodo notturno non è stato preso in considerazione.

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.

5.3.3 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'espriato 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)

5.3.4. 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 similare e presenza di picchi respiratori evidenti nel tracciato.

Life Shirt System

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, confortevole, facile da usare e lavabile, nella quale vengono fissati dei sensori e degli elettrodi. Questi sensori sono intrecciati nella maglietta e sono 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.
- **DISPOSITIVI PERIFERICI OPZIONALI:** misurano la pressione del sangue, la percentuale di saturazione dell'ossigeno, EEG, i movimenti periodici delle gambe, EOG, la temperatura corporea, il volume finale di CO₂, e la tosse.

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. 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.

5.4 Periodo di allenamento

Ai 6 soggetti del gruppo di sperimentazione è stata spiegata subito la modalità dell'allenamento, per accertarne anche l'effettiva disponibilità. Inoltre è stato chiarito 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 i soggetti sono stati sottoposti ad alcune sedute supervisionate di apprendimento al fine di verificare se la sacca e le frequenze scelte fossero appropriate. Ai fini di un corretto allenamento con lo Spirotiger, è necessario calcolare per ogni soggetto il volume della sacca con cui ci si allenerà e la frequenza respiratoria che si dovrà mantenere, cercando di definire e spiegare oltre al funzionamento del macchinario anche la progressione degli allenamenti. Dopo aver preso visione dei referti spirometrici per ognuno dei soggetti del gruppo di sperimentazione è stato calcolato il volume iniziale della sacca da utilizzare, pari al 50% della Capacità Vitale; la frequenza respiratoria, partendo nella prima settimana da 29 atti respiratori al minuto e aumentando progressivamente fino ad arrivare alla 4° settimana ad effettuare allenamenti di 36 atti respiratori al minuto.

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 le ragazze hanno subito incrementi diversi della sacca o della

frequenza ma per raggiungere un obiettivo finale uguale per tutte. Dopo la prima settimana di allenamento, le ragazze sono state riconvocate 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.

5.4.1 Spirotiger

Lo Spirotiger è uno strumento che permette un allenamento intenso e specifico della muscolatura respiratoria, senza sovraccaricare il sistema cardiovascolare e l'apparato locomotore, e che permette di realizzare l'iperpnea isocapnica (Figura 5.1)

Per spiegare il significato di questo termine, basta pensare 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. Questo aumento della ventilazione, giustificato da una esigenza fisiologica, è detto iperpnea. Se invece si volesse 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. Questo aumento della ventilazione non giustificato da un'esigenza fisiologica è detto iperventilazione. 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). Nell'allenamento della muscolatura respiratoria, attraverso l'utilizzo dello Spirotiger, è possibile compiere atti respiratori profondi e veloci senza incorrere negli effetti dell'iperventilazione (cioè l'ipocapnia), grazie alla possibilità data dallo strumento di realizzare l'isocapnia senza alterare il fisiologico rapporto ossigeno/anidride carbonica.

In respirazioni di grande ampiezza come quelle eseguite col metodo Spirotiger vengono reclutati i muscoli inspiratori principali ed accessori atti a compiere il gesto, e tali muscoli vengono sollecitati al massimo delle loro capacità di contrazione. Successivamente, per permettere il massimo del risultato da parte della muscolatura antagonista, si rilasciano completamente, in modo da non interferire con la parte successiva del ciclo respiratorio.

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 (inspirazione ed 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 e la frequenza respiratoria, 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 a quattro venga effettuato al di fuori dei giusti parametri. Una base elettronica infine registra ogni singolo allenamento.

1. La tecnologia usata nella unità centrale, la valvola elettronica e la sacca in silicone prevengono l'iperventilazione (iperpnea isocapnica);
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 Spirotiger 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.



Figura 5.1 lo spirotiger

6 RISULTATI STUDIO SOGGETTI SANI

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.

6.1 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 6.1; tabella 6.1; tabella 6.3, tabella 6.4; grafico 6.1, grafico 6.2)

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 6.1: 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 6.2: 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 6.3: 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 6.4: misure spirometriche ottenute dai soggetti del gruppo controllo al tempo T₁.

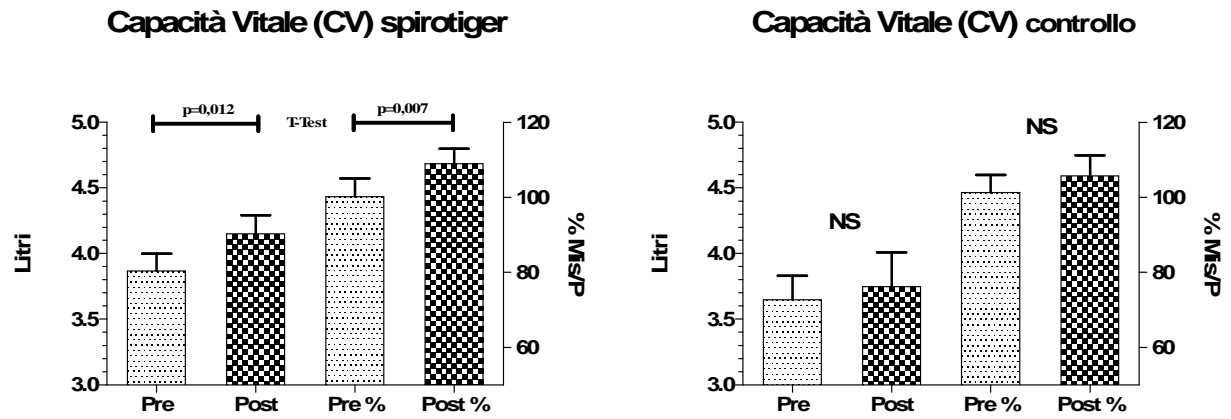


Grafico 6.1; Capacità Vitale dei soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio. Nei due grafici le colonne a sinistra indicano la CV in litri, quelle a destra i valori sono inseriti in percentuale rispetto al teorico.

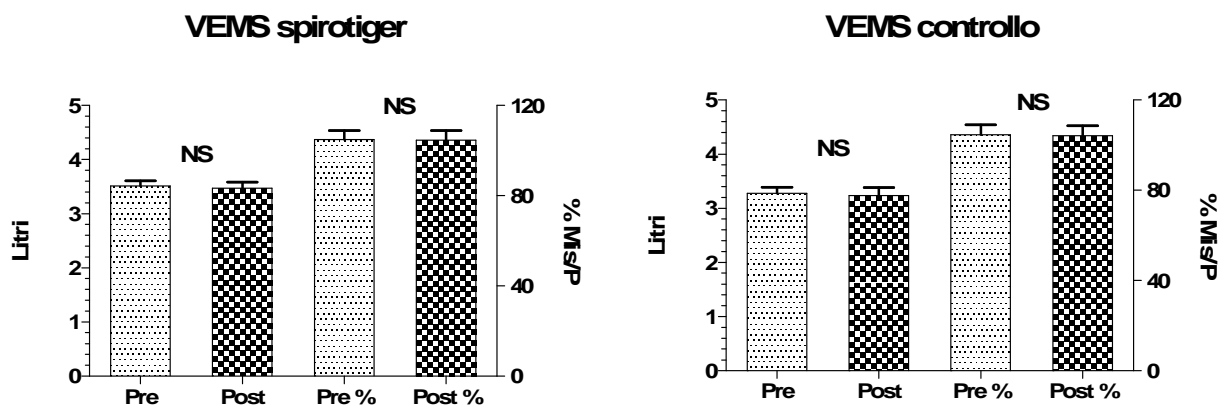


Grafico 6.2 VEMS dei soggetti, del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio. Nei due grafici le colonne a sinistra indicano il VEMS in litri, quelle a destra i valori sono inseriti in percentuale rispetto al teorico.

Nel grafico sopra si può notare come nelle ragazze 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.

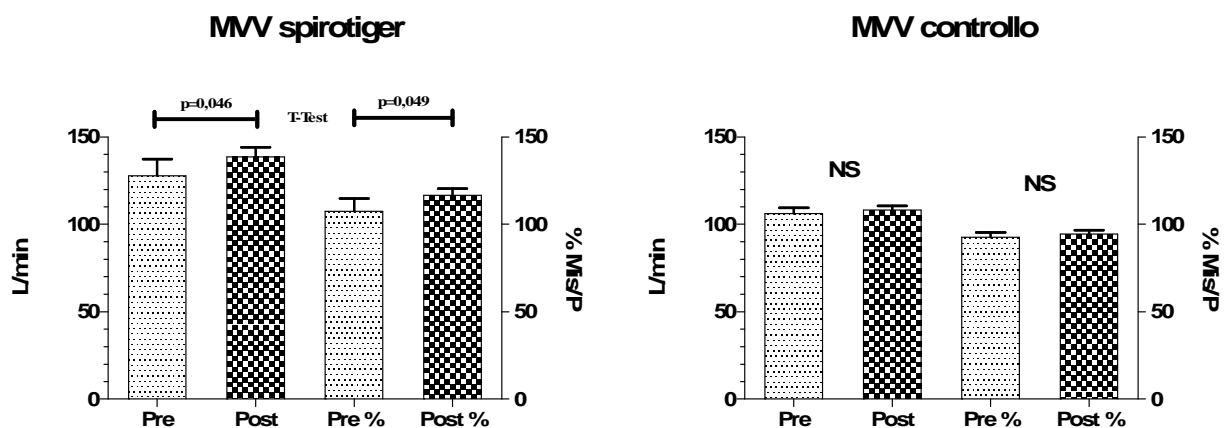
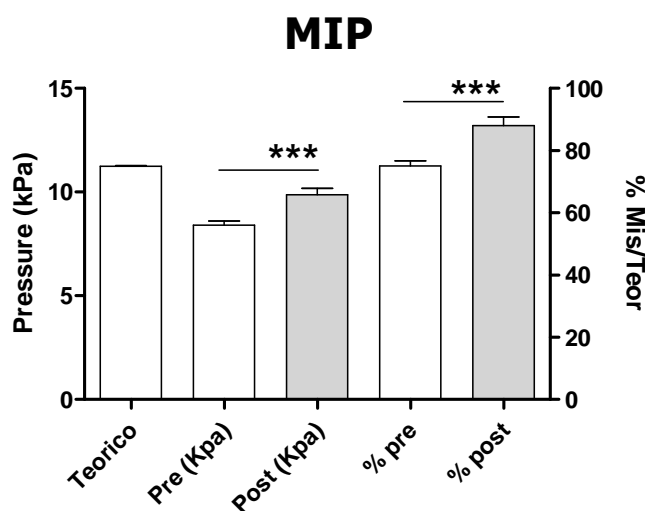


Grafico 6.3 MVV dei soggetti, del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio. Nei due grafici le colonne a sinistra indicano il MVV in litri al minuto, quelle a destra i valori sono inseriti in percentuale rispetto al teorico.



	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 6.4: 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.

Si nota che nel primo grafico che i valori misurati della PI max sono risultati nettamente superiori dopo l'allenamento con Spirotiger, a significare 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 T_0 .

6.2 Armaband

Nelle tabelle seguenti sono elencati i risultati scaricati dall'apparecchio dopo il monitoraggio ai tempi T_0 e T_1 sia per le 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 6.4 risultati Armband relativi ai soggetti del gruppo di sperimentazione nel tempo T_0 .

	Spesa en tot	npassi Passi	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	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 6.5 risultati Armband relativi ai soggetti del gruppo di sperimentazione nel tempo T₁.

	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	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 6.6 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 6.7 risultati Armband relativi ai soggetti del gruppo di controllo nel tempo T₁.

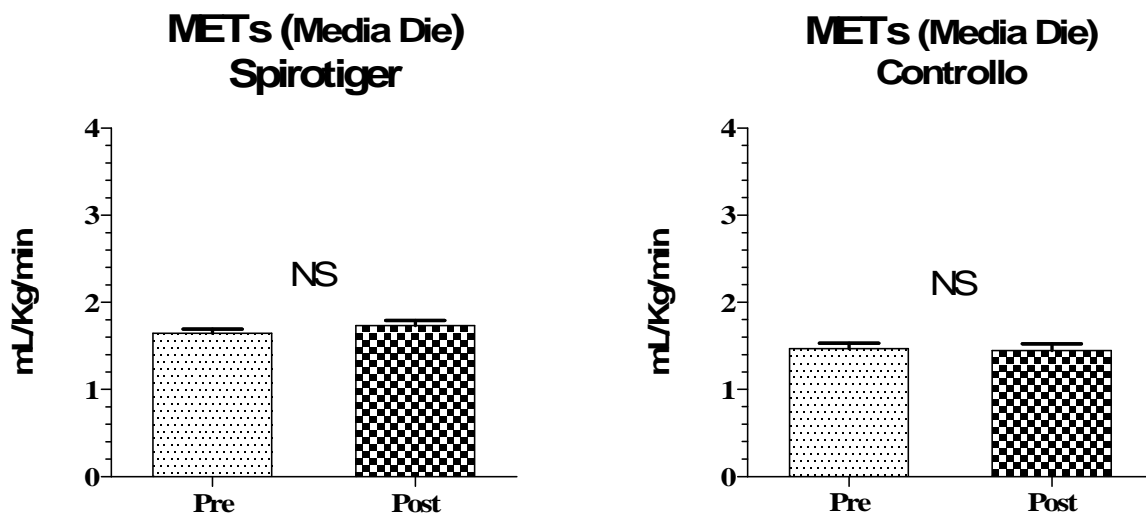


Grafico 6.5: media Mets giornaliera dei soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

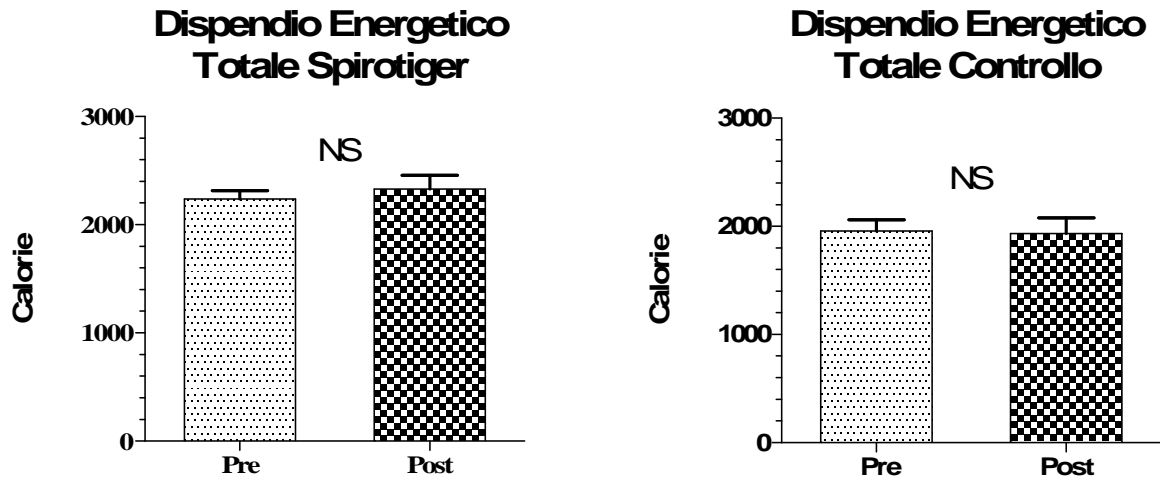


Grafico 6.6: media del dispendio energetico totale giornaliero dei soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

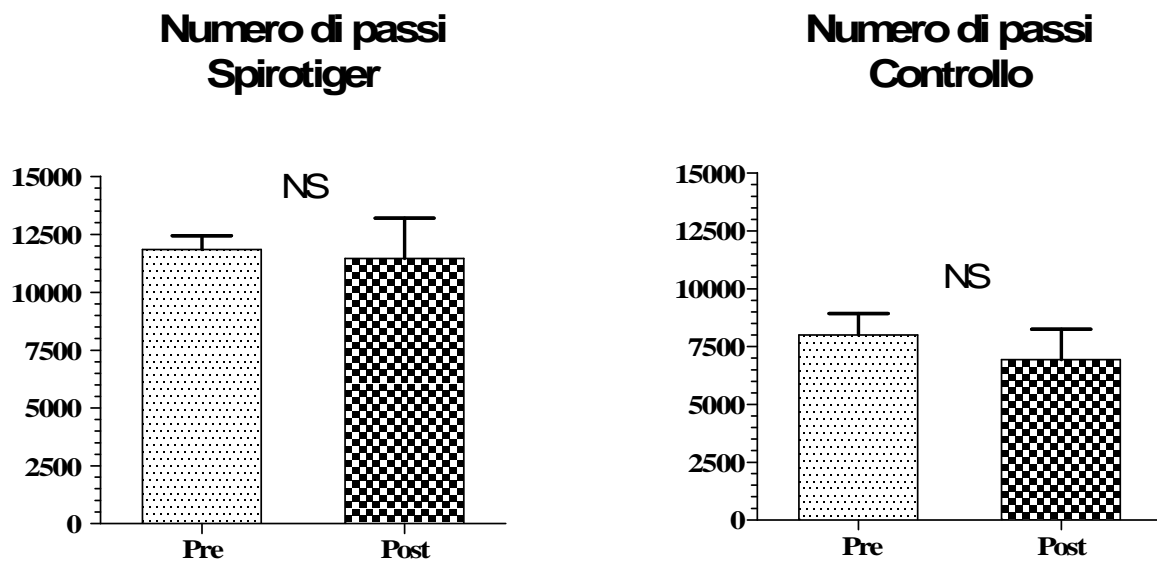


Grafico 6.7: media del numero di passi giornalieri dei soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

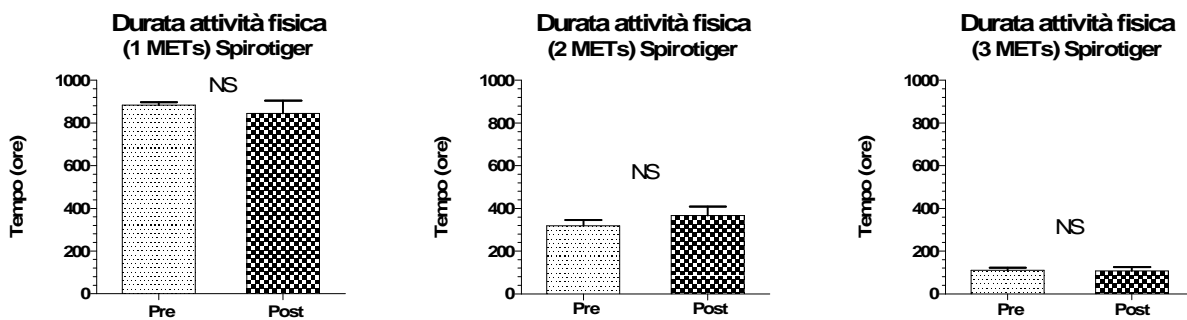


Grafico 6.8: durata dell'attività fisica giornaliera dei soggetti del gruppo di sperimentazione. Nel primo grafico la durata è riferita a 1 Mets di consumo energetico, nel secondo grafico a 2 Mets e nel terzo a 3 Mets. Nella prima colonna i risultati si riferiscono alla fase T_0 e nella seconda alla fase T_1 .

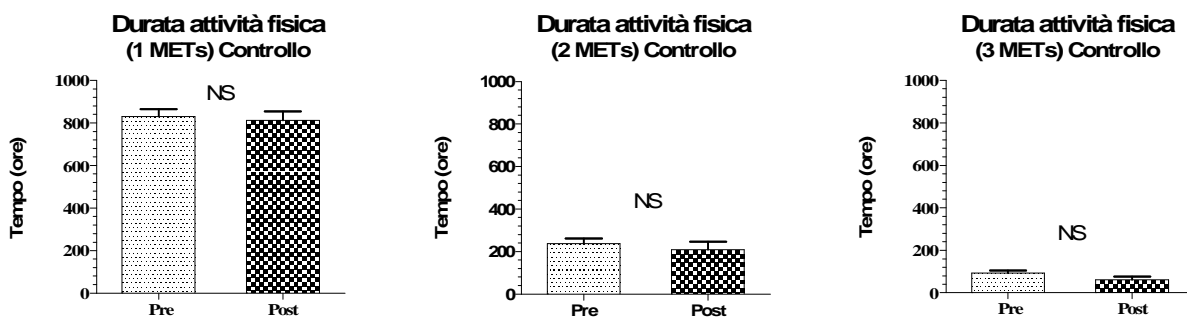


Grafico 6.9: durata dell'attività fisica giornaliera dei soggetti del gruppo di controllo. Nel primo grafico la durata è riferita a 1 Mets di consumo energetico, nel secondo grafico a 2 Mets e nel terzo a 3 Mets. Nella prima colonna i risultati si riferiscono alla fase T_0 e nella seconda alla fase T_1 .

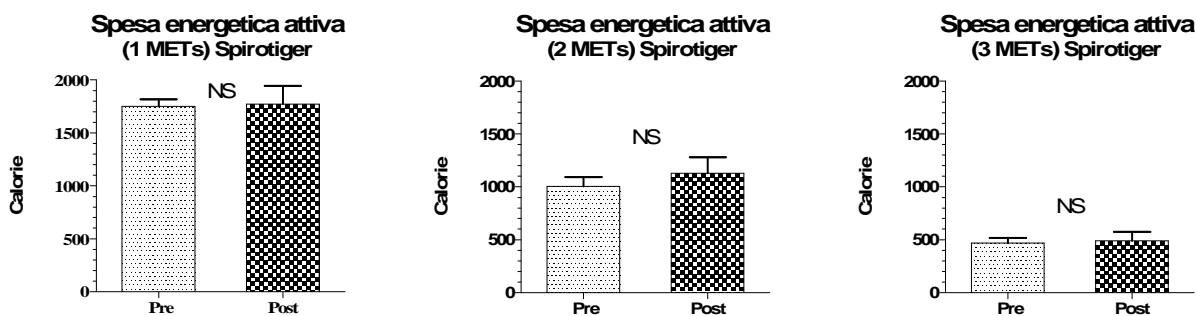


Grafico 6.10 spesa energetica attiva giornaliera dei soggetti del gruppo di sperimentazione. Nel primo grafico la durata è riferita a 1 Mets di consumo energetico, nel secondo grafico a 2 Mets e nel terzo a 3 Mets. Nella prima colonna i risultati si riferiscono alla fase T_0 e nella seconda alla fase T_1 .

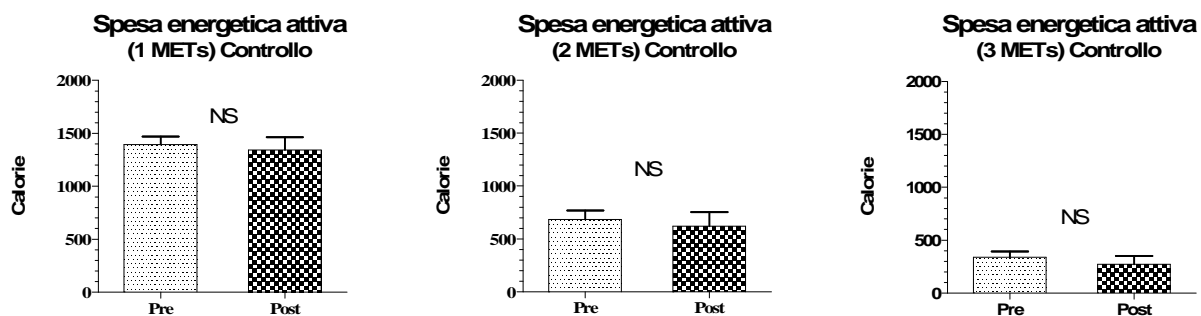


Grafico 6.11 spesa energetica attiva giornaliera dei soggetti del gruppo di controllo. Nel primo grafico la durata è riferita a 1 Mets di consumo energetico, nel secondo grafico a 2 Mets e nel terzo a 3 Mets. Nella prima colonna i risultati si riferiscono alla fase T_0 e nella seconda alla fase T_1 .

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.

6.3 Cicloergometro

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

Sogg.	Durata sforzo	Watt max	VO ₂ max (ml/min)	Ve max (L/min)	Vt Max (L)	Rf max (b/min)	FC max (bpm)
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 6.8: valori massimi raggiunti dai soggetti del gruppo di sperimentazione nel tempo T_0 .

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 6.9 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 6.10 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 6.11 valori massimi raggiunti dai soggetti del gruppo di controllo nel tempo T₁.

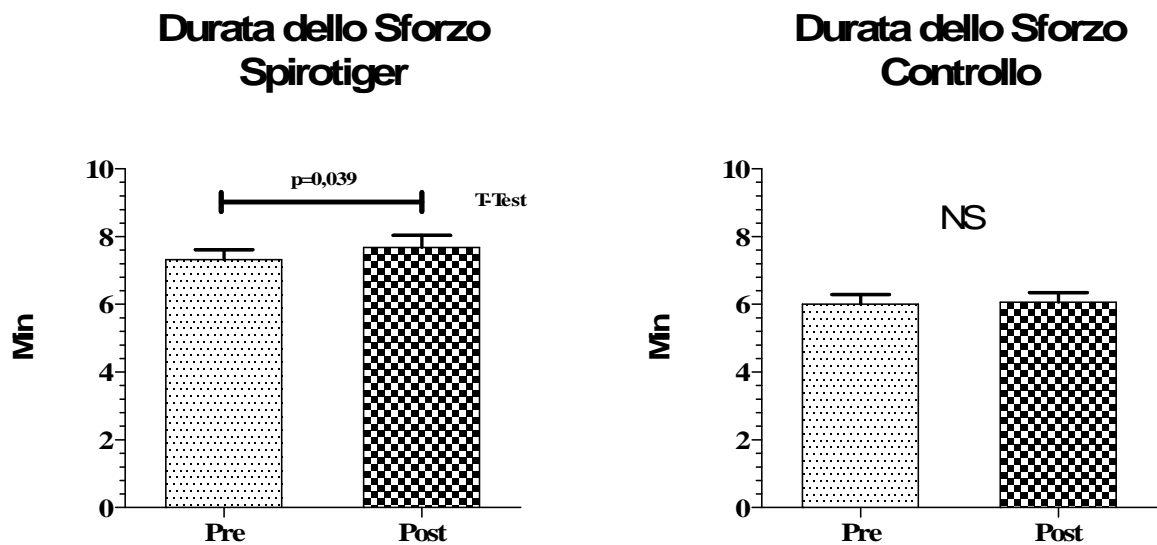


Grafico 6.12: durata massima raggiunta nel test al cicloergometro, espressa in minuti, dai soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

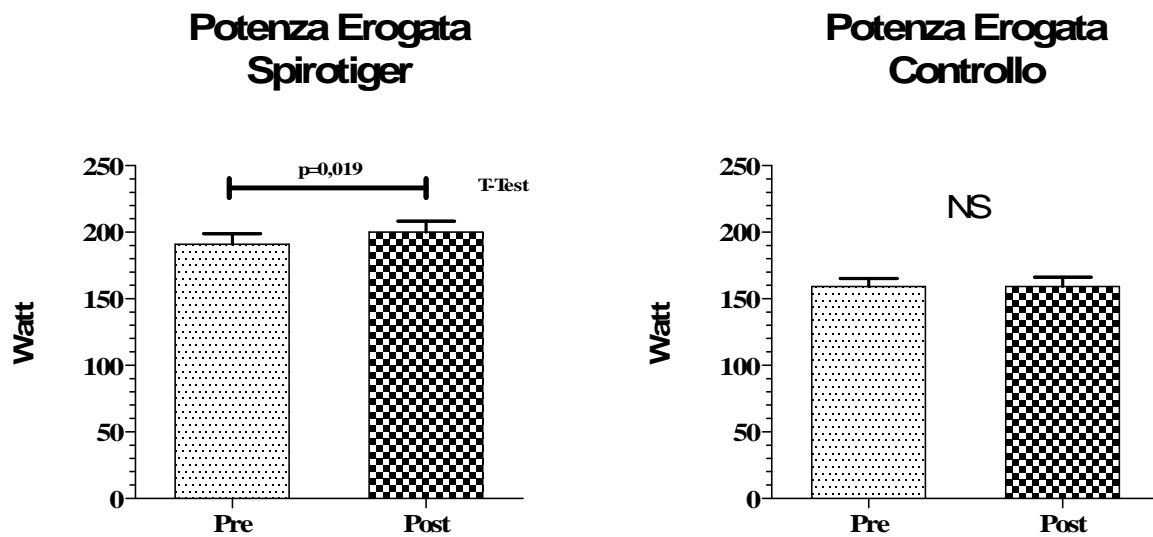


Grafico 6.13: potenza massima erogata nel test al cicloergometro, espressa in watt, dai soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

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.

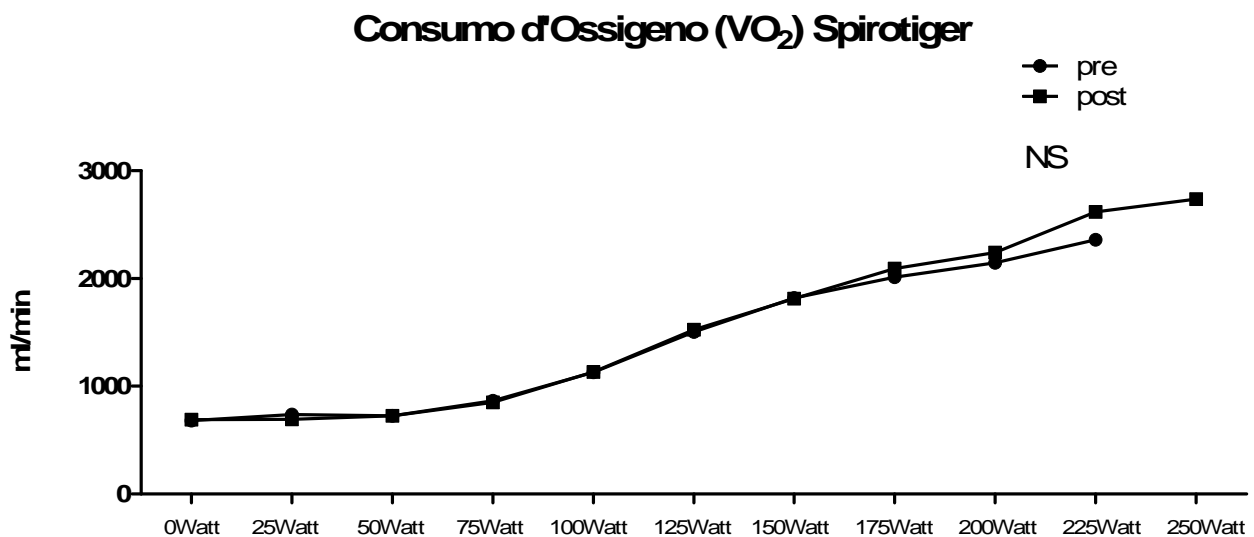


Grafico 6.14: andamento del VO₂ dei soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test, prima e dopo l'allenamento con Spirotiger.

Consumo d'Ossigeno (VO₂) Controllo

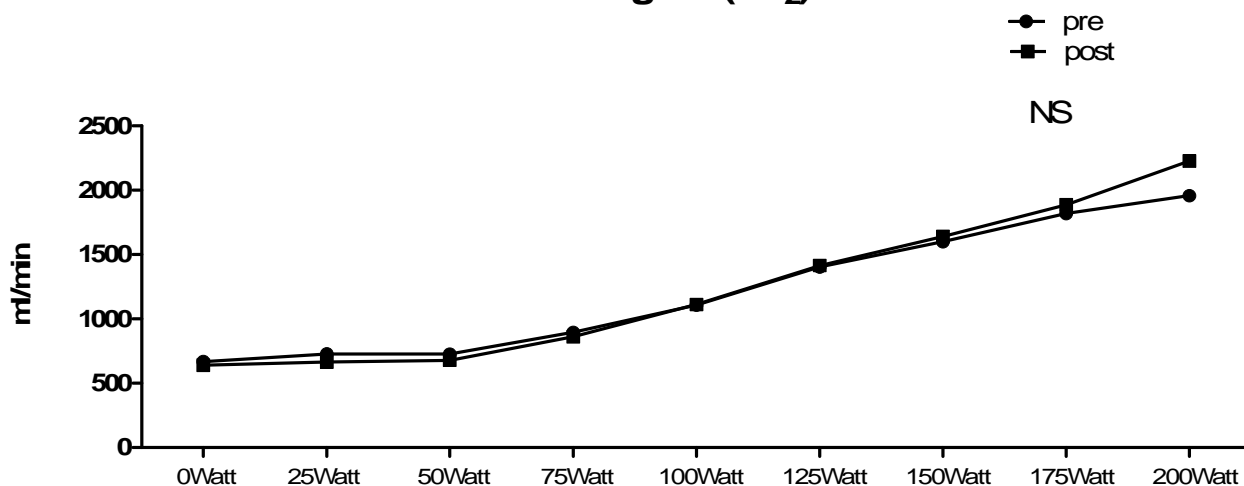


Grafico 6.15 andamento del VO₂ dei soggetti del gruppo di controllo durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test a T₀ e T₁.

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

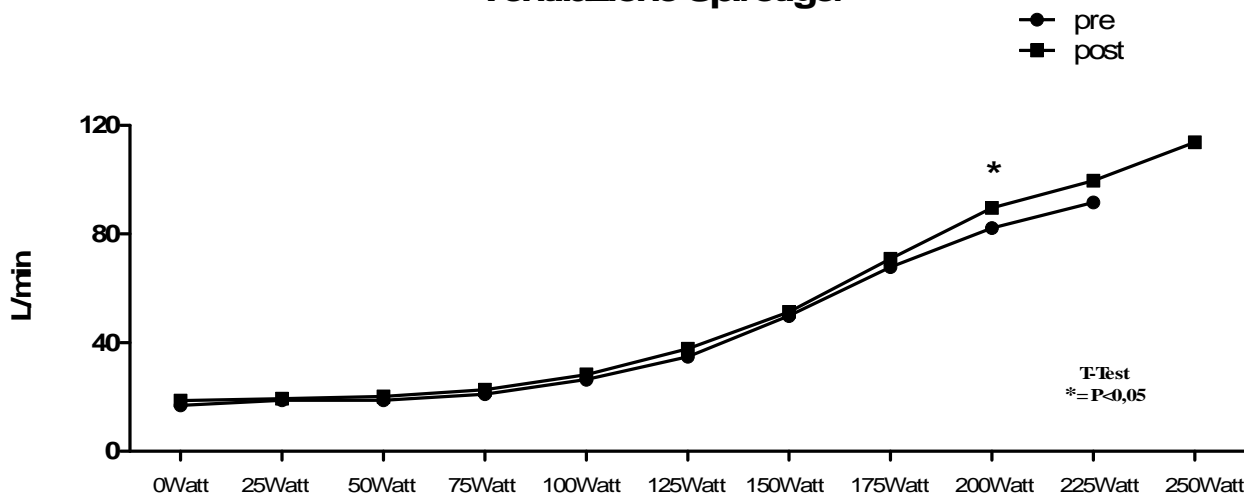


Grafico 6.16: andamento della ventilazione dei soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test, prima e dopo l'allenamento con Spirotiger.

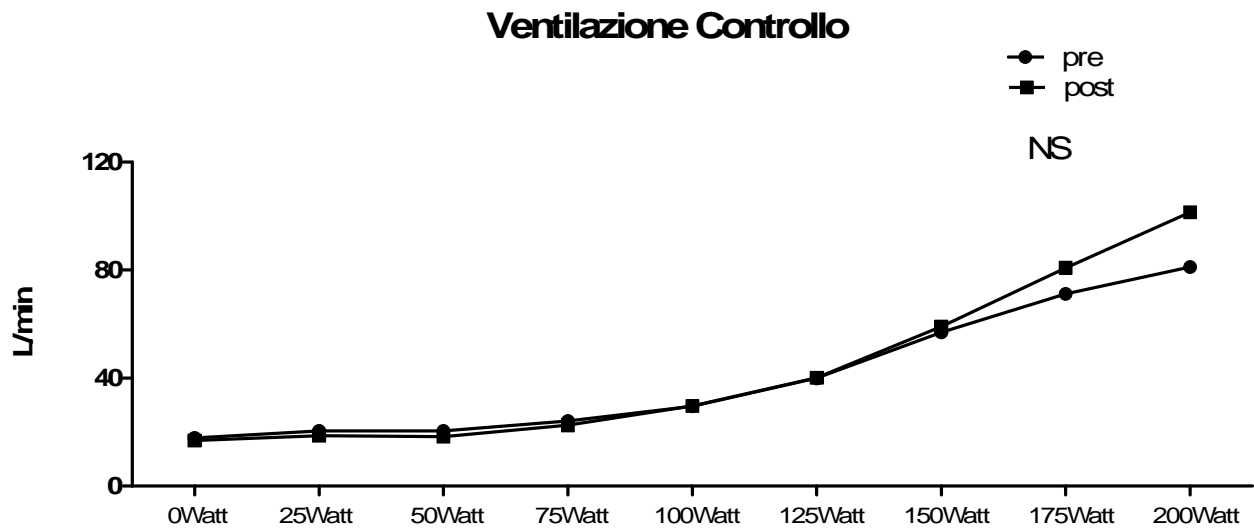


Grafico 6.17 andamento della ventilazione dei soggetti del gruppo di controllo durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test a T_0 e T_1 .

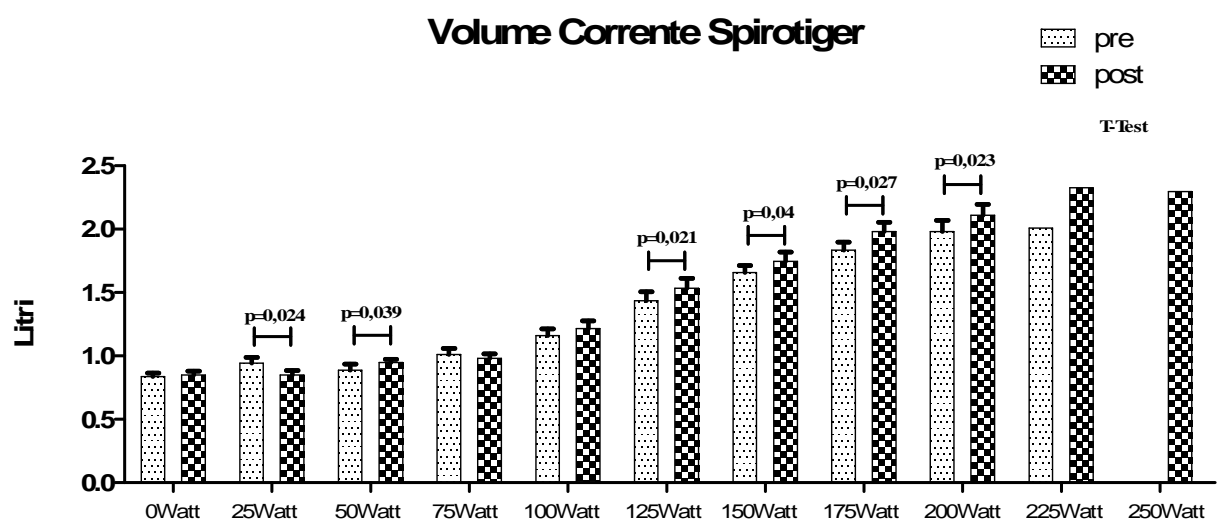


Grafico 6.18 andamento del Volume Corrente raggiunto dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Ad ogni incremento di watt vediamo nella colonna a destra V_t al tempo T_0 e in quella a sinistra V_t al tempo T_1 , e la relativa significatività.

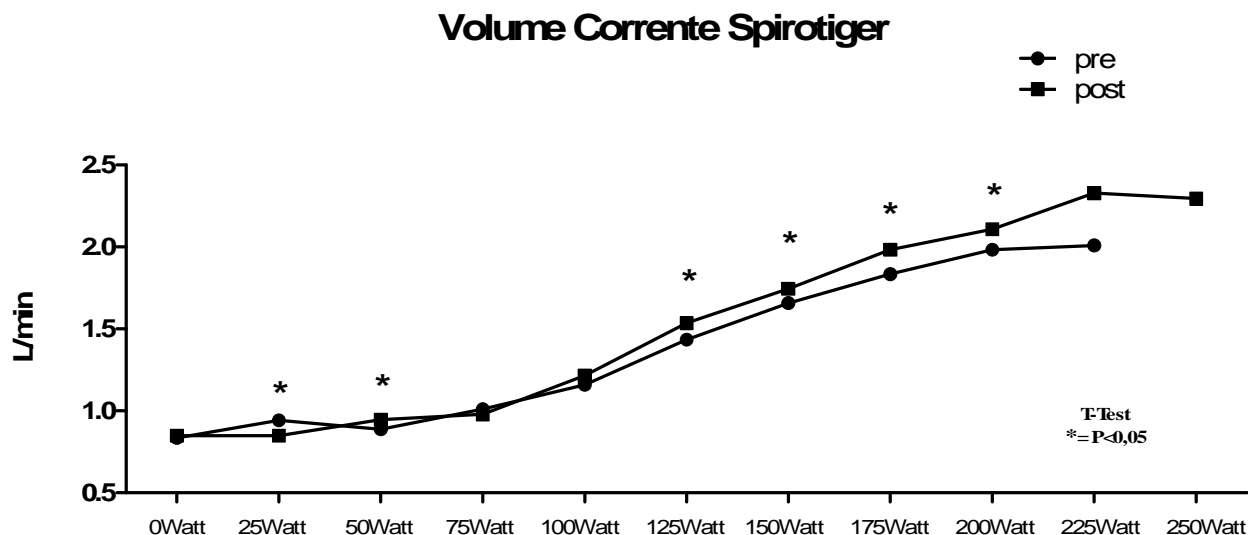


Grafico 6.19 andamento del Volume Corrente raggiunto dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T_0 e T_1 . In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

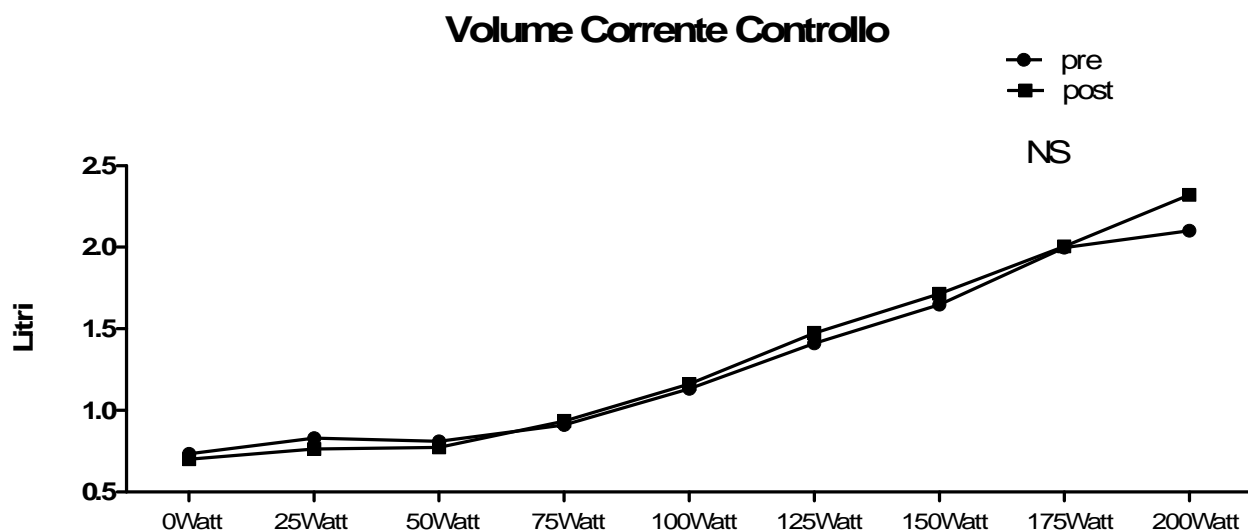


Grafico 6.20 andamento del Volume Corrente raggiunto dai soggetti del gruppo di controllo durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T_0 e T_1 . In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

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.

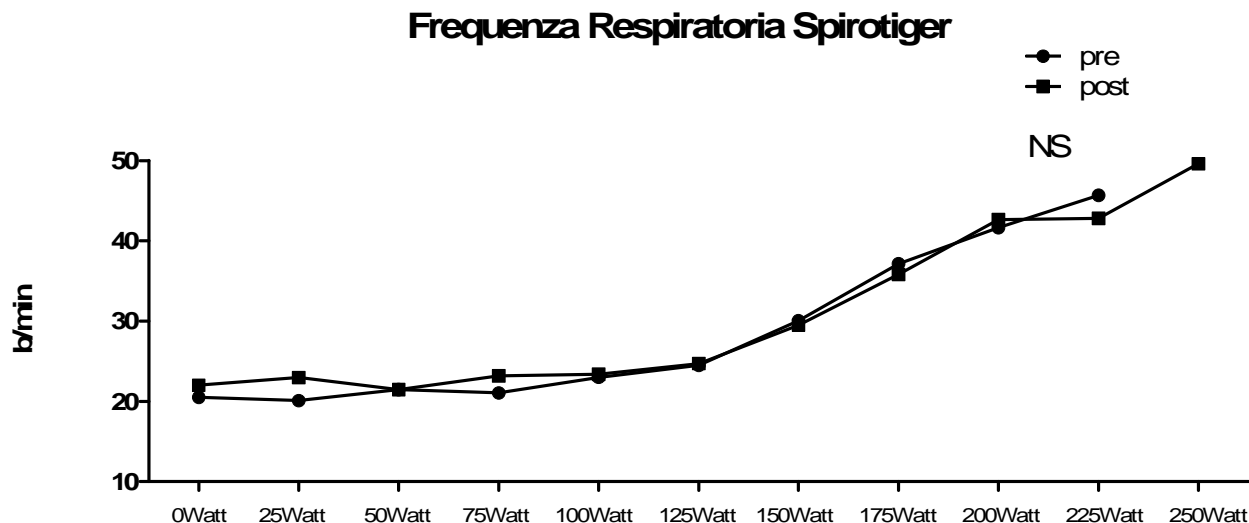


Grafico 6.21: andamento della Frequenza Respiratoria raggiunto dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T_0 e T_1 . In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

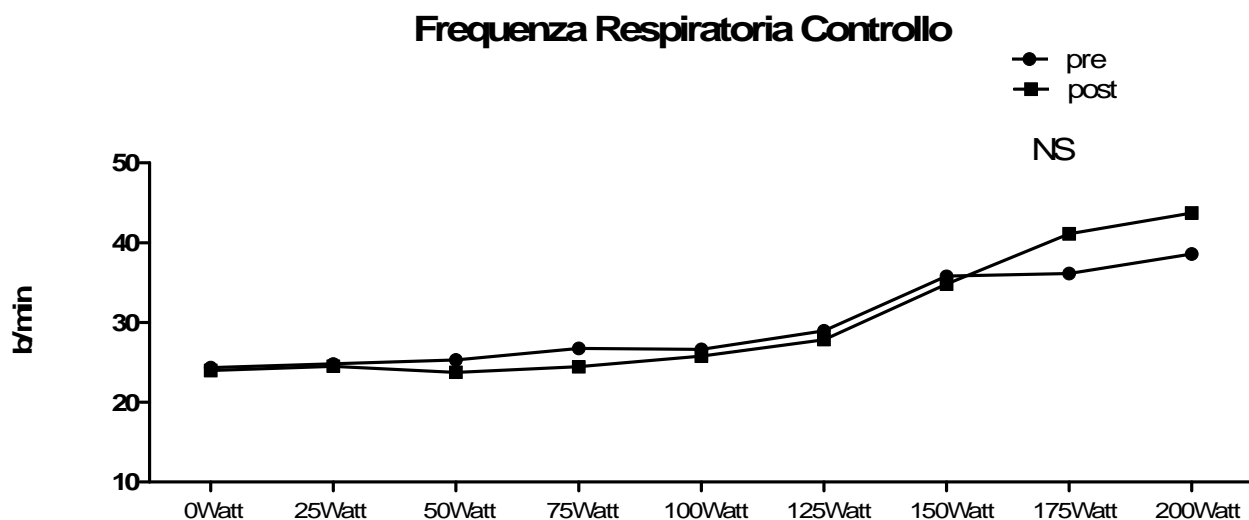


Grafico 6.22: andamento della Frequenza Respiratoria raggiunto dai soggetti del gruppo di controllo durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T_0 e T_1 . In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

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

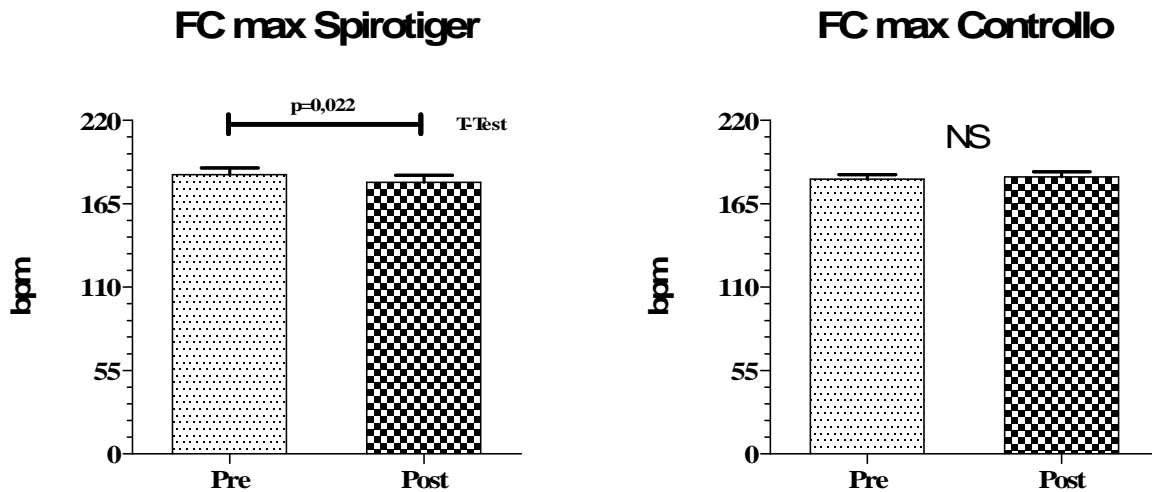


Grafico 6.23 frequenza cardiaca massima raggiunta nel test al cicloergometro, espressa in watt, dai soggetti del gruppo sperimentale (a sinistra) e del gruppo di controllo (a destra) all'inizio ed alla fine dello studio.

Nel grafico possiamo vedere come la frequenza cardiaca delle ragazze del gruppo di sperimentazione sia diminuita in modo significativo dopo il mesi di allenamento con Spirotiger, al tempo T₀. Nei grafici seguenti vedremo meglio l'andamento della FC durante il test da sforzo.

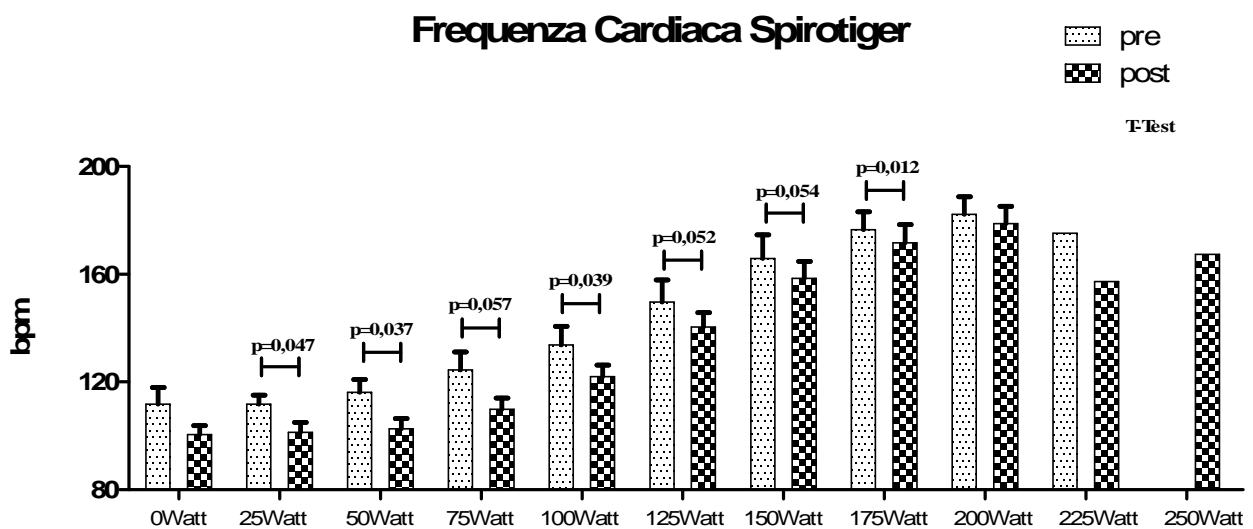


Grafico 6.24 andamento della Frequenza Cardiaca raggiunta dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Ad ogni incremento di watt vediamo nella colonna a destra FC al tempo T₀ e in quella a sinistra FC al tempo T₁, e la relativa significatività.

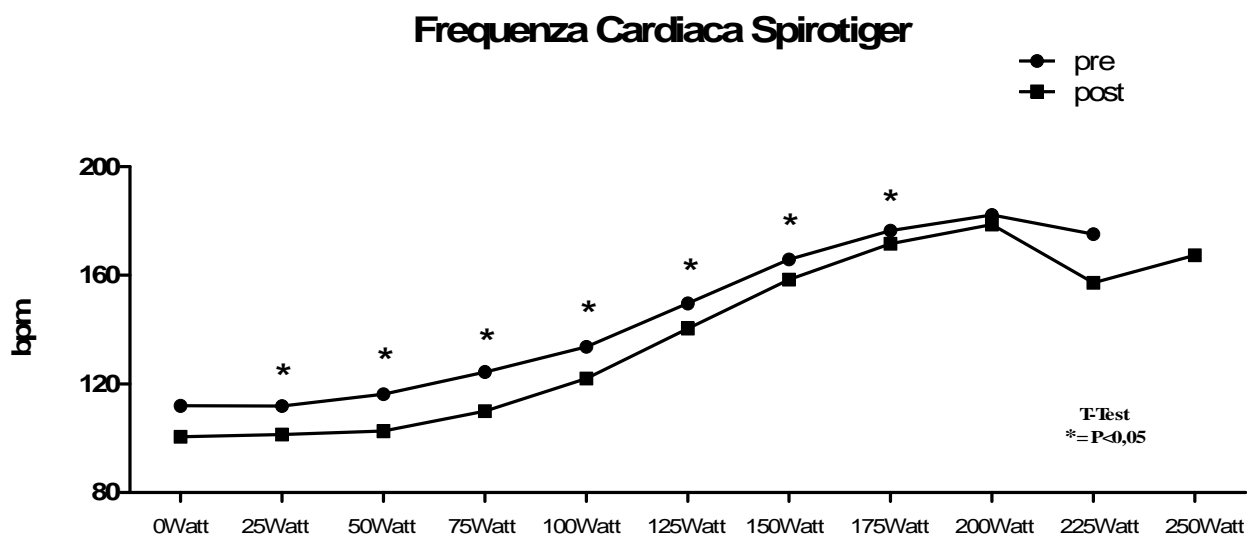


Grafico 6.24 andamento della Frequenza Cardiaca raggiunta dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T_0 e T_1 . In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

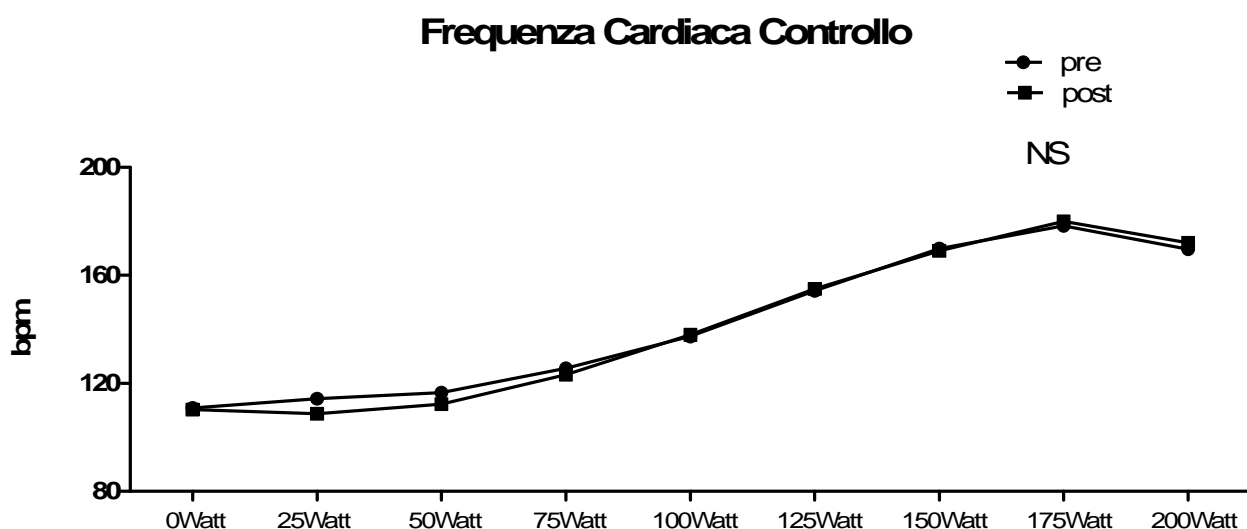


Grafico 6.25: andamento della Frequenza Cardiaca raggiunta dai soggetti del gruppo di controllo durante il test al cicloergometro, mettendo a confronto il tempo T_0 e T_1 . In ascissa è inserito l'incremento dei watt.

Nei grafici si può notare come la frequenza cardiaca sia diminuita nel tempo T_1 , rispetto al tempo T_0 , soltanto nei soggetti del gruppo di 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

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 esige 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.

	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

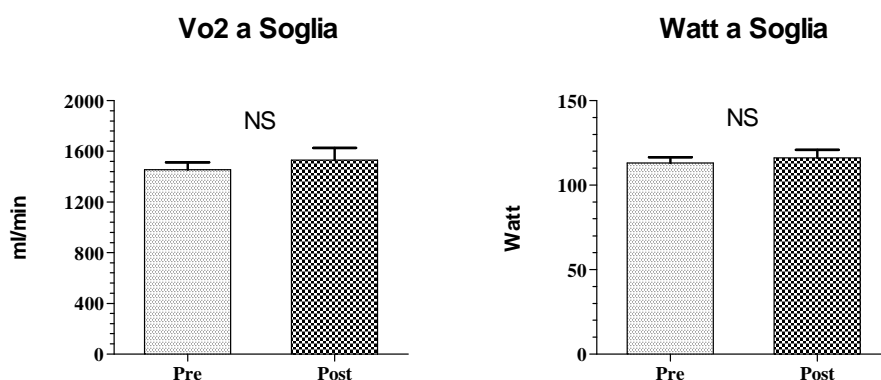


Tabella 6.12 e Grafico 6.26 valori di VO_2 e Watt raggiunti alla Soglia Anaerobica al tempo T_0 e T_1 .

6.4 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 6.13 medie dei valori ottenuti di PhAngle e %RC all'aumentare dei watt.

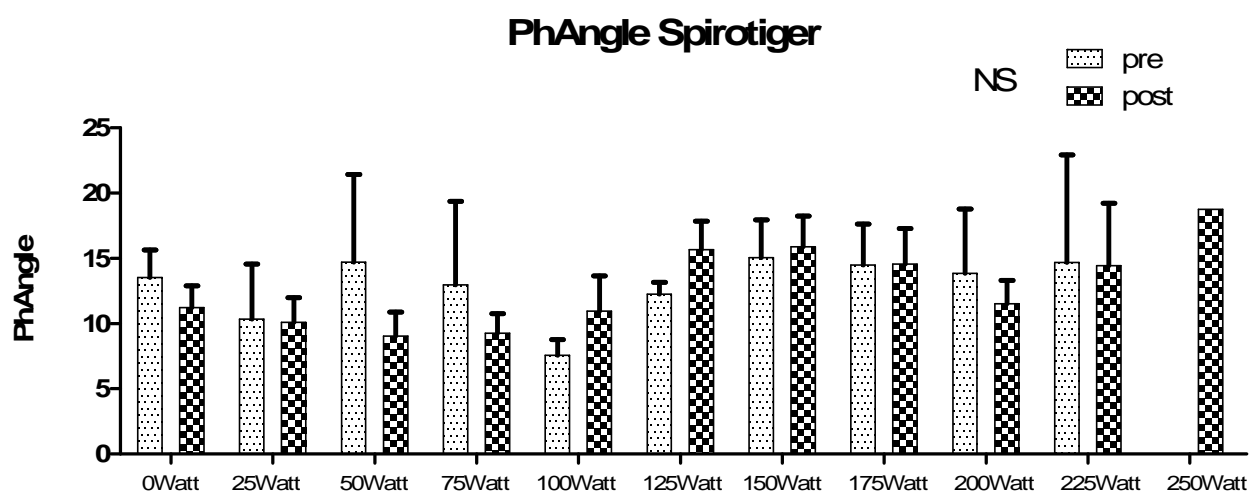


Grafico 6.27 andamento dell'Angolo di Fase ottenuto dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Ad ogni incremento di watt vediamo nella colonna a destra PhAng al tempo T_0 e in quella a sinistra al tempo T_1 .

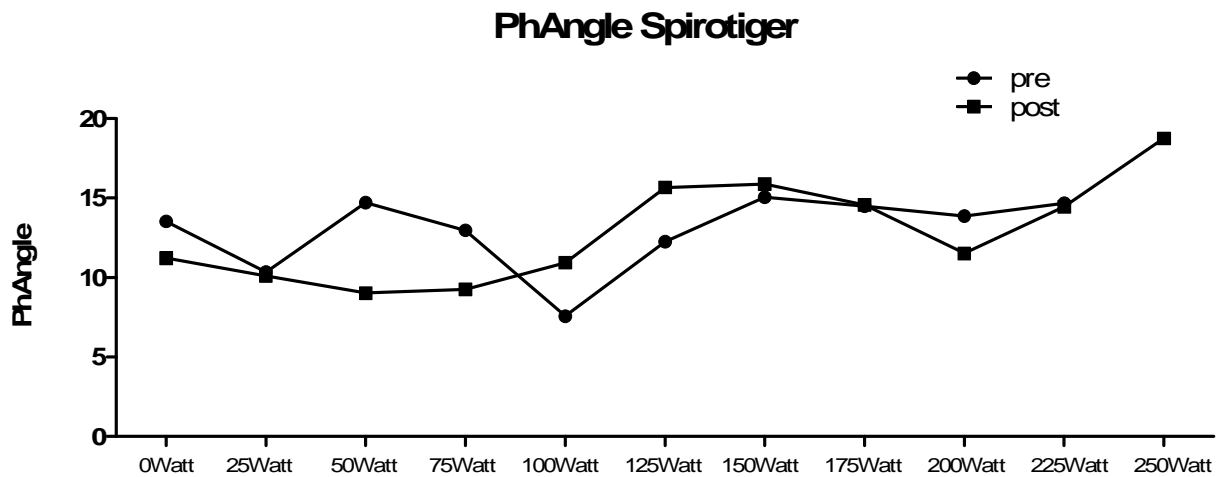


Grafico 6.28 andamento dell'Angolo di Fase dei soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test a T_0 e T_1 .

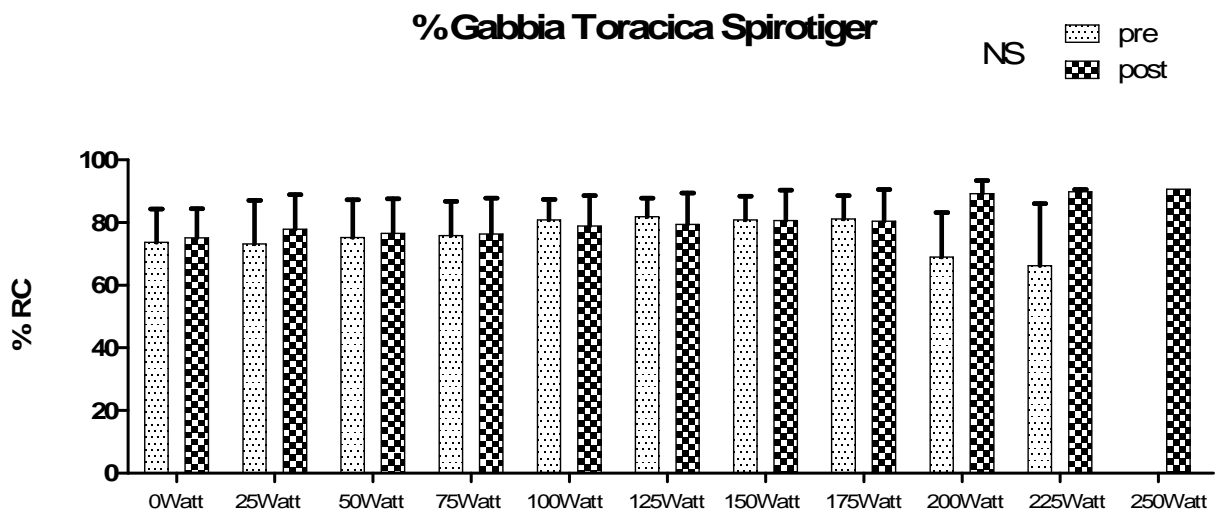


Grafico 6.29: andamento del contributo della Gabbia Toracica ottenuto dai soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Ad ogni incremento di watt vediamo nella colonna a destra %RC al tempo T_0 e in quella a sinistra al tempo T_1 .

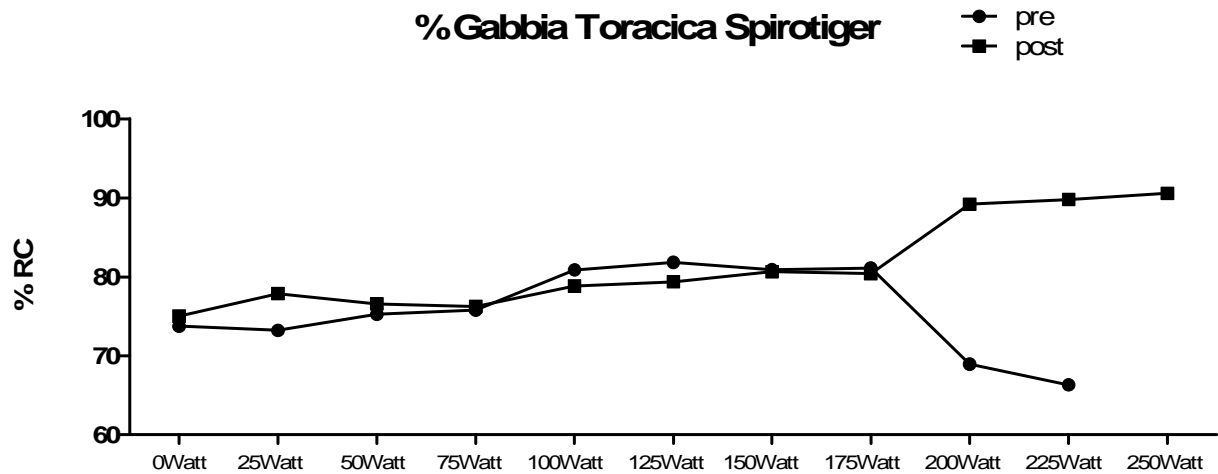


Grafico 6.30 andamento del contributo della Gabbia Toracica dei soggetti del gruppo di sperimentazione durante il test al cicloergometro. Le due linee indicano i due momenti in cui è stato effettuato il test a T_0 e T_1 .

Lo studio eseguito sull'andamento dei parametri ricavati dalla maglietta Lifeshirt non hanno riscontrato nessuna significatività; infatti come vediamo nei grafici la progressione è stata altalenante per quanto riguarda l'Angolo di Fase, mentre abbastanza omogenea per quanto riguarda il contributo della gabbia toracica nelle due diverse prove. Questi risultati sono attribuiti al fatto che il test è stato effettuato al cicloergometro.

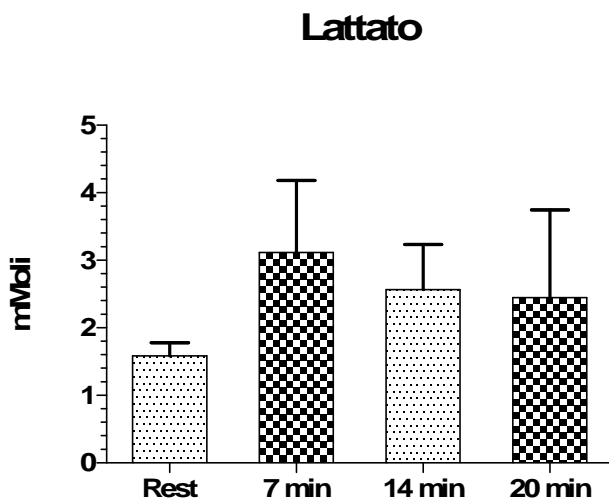
6.5 Lattato

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 6.13 e Grafico 6.31 prelievo del lattato nei soggetti del gruppo di sperimentazione nei vari momenti della seduta di allenamento con Spirotiger .



6.6 Scala di Borg

Durante il test incrementale al Cicloergometro è stato valutato anche il grado di dispnea ogni minuto. Alle ragazze 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 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 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_{6.14}: valori della scala di Borg indicati dai soggetti del gruppo indicati dai soggetti del gruppo di sperimentazione al tempo T₀, relativi alla fatica muscolare.

Borg muscoli PRE (controllo)								
	rest	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 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_{6.15} valori della scala di Borg di controllo al tempo T₀, relativi alla

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		

Borg muscoli POST (controllo)

	rest	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 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	

Borg muscoli POST (spirotiger)											
	rest	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 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_{6.16}: valori della scala di Borg indicati dai soggetti del gruppo indicati dai soggetti del gruppo di sperimentazione al tempo T₁, relativi alla fatica muscolare.

Tabella_{6.17}: valori della scala di Borg di controllo al tempo T₁, relativi alla

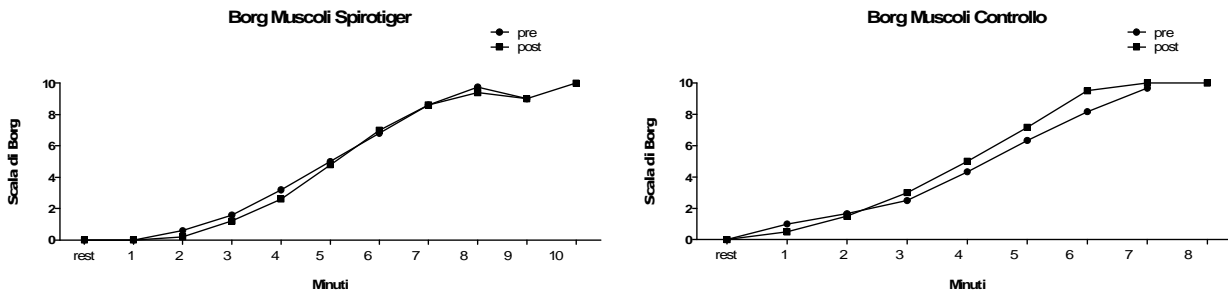


Grafico 6.32 andamento della dispnea avvertita dai soggetti come fatica respiratoria nei primi due grafici e come fatica muscolare nei secondi, all'inizio ed alla fine dello studio. I grafici a sinistra mostrano i risultati del gruppo sperimentale mentre a destra quelli del gruppo di controllo

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

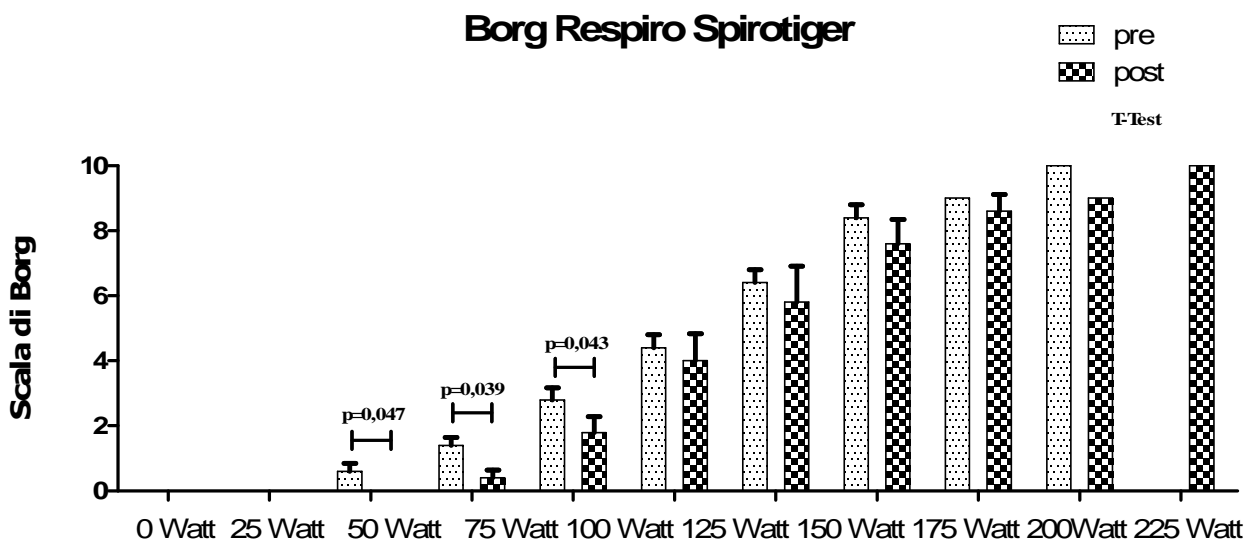


Grafico 6.33 Progressione della dispnea respiratoria percepita dai soggetti del gruppo di sperimentazione. Ad ogni incremento di watt vediamo nella colonna a destra il Borg al tempo T_0 e in quella a sinistra al tempo T_1 , e la relativa significatività.

E' interessante notare come la dispnea relativa alla fatica respiratoria nelle ragazze che hanno effettuato l'allenamento con Spirotiger è diminuita nella fase T_1 rispetto alla fase T_0 , mentre la fatica muscolare è rimasta quasi invariata.

7 CONCLUSIONI STUDIO SOGGETTI SANI

7.1 Analisi statistica

Lo studio 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.

7.2 Conclusioni

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 Lifeshirt 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 rimane pressoché stabile.

I risultati ottenuti sono sicuramente attribuibili 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 riallenamento respiratorio.

Considerando quanto detto fin'ora possiamo affermare che è stato l'allenamento dei muscoli respiratori a migliorare la funzionalità respiratoria e la capacità d' esercizio. I dati riportati sono relativi ad un campione ancora piccolo ma i risultati sono estremamente incoraggianti per il disegno e l'esecuzione di uno studio su un campione di popolazione più vasto non solo di soggetti sani ma anche di soggetti con patologie respiratorie croniche che potrebbero trarre vantaggio da un miglioramento dell'efficienza della muscolatura respiratoria. (studio 2)

8 STUDIO SOGGETTI CON BPCO

Lo studio sui pazienti ha avuto l'obiettivo di verificare l'efficacia del riallenamento dei muscoli respiratori nell'ambito dei programmi di riabilitazione respiratoria generalmente incentrati sul riallenamento all'esercizio fisico.

Attualmente vi sono pochi studi sull'argomento; in questi si mette in evidenza un miglioramento sia della capacità di compiere esercizio sia una riduzione della sensazione di dispnea dopo allenamento specifico dei muscoli respiratori.

8.1 Soggetti

Sono stati valutati 14 pazienti con BPCO moderata/severa, (13 maschi, 1 femmina), di età compresa fra 49 e 82 anni afferenti all'ambulatorio pneumologico Sant' Anna di Ferrara per essere sottoposti ad allenamento dei muscoli respiratori con il metodo dell'iperpnea isocapnica volontaria. Tutti i soggetti eseguivano già alcuni esercizi a domicilio costanti, tra questi 5 erano ex-fumatori (tabella 8.1)

Criteri di inclusione sono stati: BPCO stabilizzata da almeno 4 settimane e la volontà di partecipare alle sedute riabilitatorie.

Criteri d'esclusione: comorbidità: quali cardiopatia ischemica, angina instabile, patologie neuromuscolari, pazienti non deambulanti, o con difficoltà a raggiungere il Centro Ospedaliero o poco motivati a seguire il trattamento riabilitativo. Ciascun paziente ha dato il proprio consenso alla partecipazione allo studio.

8.2 Disegno dello studio

Il protocollo di studio prevedeva, un primo colloquio ambulatoriale durante il quale veniva proposto e descritto il programma di riallenamento dei muscoli respiratori; successivamente ai pazienti interessati veniva mostrato e descritto l'apparecchio (Spirotiger). Ogni paziente è stato valutato: prima di iniziare il trattamento riabilitativo (T0) ed al termine dello stesso (T1) (tabella 8.1).

Grado BPCO	Età (aa)	Altezza (m)	Peso (kg)	BMI	Fumatore	Packs Years
Lieve/moderata	73	1,60	86	34	ex	50
moderatamente grave	60	1,77	78	25	si	20
grave	59	1,59	80	32	-	-
molto grave	65	1,64	69	26	ex	5
moderato	66	1,68	85	30	ex	40
moderato	49	1,68	103	36	si	30
grave	68	1,62	94	36	ex	42
moderato	73	1,79	99	31	ex	38
Molto grave	71	1,69	91	32	ex	50
grave	62	1,65	62	23	ex	30
grave	82	1,70	72	25	ex	40
moderato	75	1,78	90	28	ex	40
grave	81	1,78	88	28	ex	52

Tabella 8.1: dati pazienti

Dopo adeguata raccolta anamnestica i pazienti sono stati sottoposti ad una prima valutazione funzionale (T0) che prevedeva:

- l'esecuzione delle prove di funzionalità respiratoria (spirometria completa, PI max);
- la valutazione della capacità di esercizio (sia con il test del cammino di 6 minuti (6MWT), sia con i tests da sforzo cardiorespiratorio al cicloergometro (sia incrementale massimale limitato dai sintomi sia di endurance))
- la misura dell'attività fisica (mediante Armband),
- valutazione qualità della vita (somministrazione di un questionario specifico sulla qualità della vita di St'George per pazienti affetti da patologie del sistema respiratorio).

Tutti i pazienti hanno seguito un percorso riabilitativo consistente in: fase propedeutica educativa, spiegazione delle fasi principali del ciclo riabilitativo, e relativi obiettivi da raggiungere (T0).

Nel corso delle singole sedute, sono stati verificati: sia il corretto utilizzo della terapia farmacologia, dell'apparecchiatura sia la motivazione e quindi la compliance alla prosecuzione del ciclo stesso.

Al tempo T0 la corte dei pazienti è stata invitati negli ambulatori per una iniziale fase preparatoria (training) con sedute ambulatoriali (1 giorno a settimana per 3-5 settimane) che avevano lo scopo di far raggiungere la giusta confidenza con

l'apparecchio.

Inoltre alla fine di T0, ad ogni paziente è stato consegnato un diario di riallenamento (da utilizzare per tutto il periodo dello studio), da compilare giornalmente indicando le sedute e riportando le difficoltà incontrate.

TO	Prove funzionali respiratorie (spirometria,MIP) 6MWT, test da sforzo Scala di Borg Arm band Questionario di St George BODE index Training ambulatoriale
Trainig	Trainig domiciliare Spirotiger (2sedute/de per 5 giorni la settimana per 5 settimane)
T1	Prove funzionali respiratorie (spirometria,MIP) 6MWT, test da sforzo Scala di Borg Arm band Questionario di St George BODE index

Tabella 8.2 disegno dello studio

Al termine di questa fase è stata eseguita una verifica, del grado di abilità di ciascun paziente nel riprodurre la manovra. Tutti i pazienti sono stati ritenuti idonei a proseguire la tecnica riabilitativa in regime domiciliare, è stato indicato un programma di esercizi domiciliare articolato in 5 settimane, 2 sedute giornaliere di 10 minuti l'una) con colloqui telefonici settimanali (almeno 1 colloquio telefonico/settimana con la possibilità di reperibilità quotidiana).

Al tempo T1, cioè dopo 1 mese di programma domiciliare i pazienti studiati sono stati sottoposti a rivalutazione comprensiva degli indici valutati in fase T0; in particolare: PFR, PI max; 6MWT; Livello attività fisica; Questionario di St George's; Tests al cicloergometro (Tabella 8.2)

8.2.1 Questionario di St. George

Il questionario è uno strumento utile nel valutare le funzioni fisiche e/o emozionali con domande relative ad una determinata patologia. Quello da noi utilizzato (Saint George) è un questionario specifico. E' utile per valutare gli approcci del trattamento e l'outcome riabilitativo-terapeutico. Prevede la somministrazione di 50 domande suddivisi in tre sezioni:

- sintomi (8 items: frequenza e gravità dei sintomi respiratori);
- attività (16 items: attività che causano o sono limitate dalla dispnea);
- impatto (26 items: misura soggettiva delle conseguenze della malattia respiratoria sulla vita quotidiana).

Ciascuna sezione permette di calcolare un punteggio variabile da 0 (migliore; indica che non ci sono impatti sulla vita del soggetto) a 100 (peggiore, ovvero incompatibile con la vita sociale) ed è possibile poi calcolare un punteggio totale.

Vengono sottoposte al paziente una serie di domande con una serie di risposte possibili. Ad ogni risposta corrisponde un punteggio e la somma dei punteggi indica il grado di dispnea. Il punteggio massimo è: 662,5 per la sezione riguardante i sintomi, 1209,1 per quella riguardante l'attività, 2117,8 per l'impatto della malattia per un totale di 3989,4.

Il questionario è stato somministrato durante colloquio diretto sia a T0 che a T1 (vedi pagina 35)

8.2.2 BODE index

Per ogni paziente è stato anche calcolato il BODE index, un indice composto multidimensionale calcolato inserendo i dati del BMI (B), della gravità dell'ostruzione (O), del livello di dispnea (D) e della capacità di esercizio (E) valutata attraverso il 6MWT. Questo indice si è dimostrato più sensibile del FEV1 come indice predittivo di rischio di morte. La scala di misurazione del punteggio varia da: 0 a 10 (tabella 8.3)

variabili	punteggio			
	0	1	2	3
FEV1 (% predetto):	≥ 65	50-64	36-49	≤35
Distanza percorsa in 6MWT:	≥350	250-349	150-249	≤149
Dispnea:	0-1	2	3	4
Body-mass index:	>21	≤21		

Tabella 8.3: BODE index

9 RISULTATI STUDIO SOGGETTI BPCO

Solo 8 pazienti hanno portato a termine il programma; 6 pazienti sono usciti dallo studio precocemente per: scarsa tolleranza allo strumento (nausea, dolori toracici di parete), ragioni logistiche (difficoltoso accesso alla struttura) oppure per scarsa compliance e l'unica paziente (F), già in OTLT a domicilio, non ha raggiunto l'obiettivo dei 10 min 2/die e per questo motivo non è stata considerata nella statistica finale.

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.

9.1 Prove di funzionalità respiratoria

I risultati delle prove dei test spirometrici ai tempi T_0 e T_1 sono riportati nella tabelle (tabella 9.1 e tabella 9.2) e nei grafici seguenti (grafico 9.1 e grafico 9.2). Sono stati presi in considerazione la Capacità Vitale Forzata (CVF) il Volume Espiratorio nel primo secondo (VEMS) e la Massima pressione Inspiratoria (MIP); di ogni parametro sono stati considerati il valore predetto (o teorico), il valore reale e la % rispetto al predetto. Non vi stato significativo miglioramento di FEV1, FVC.

MIP

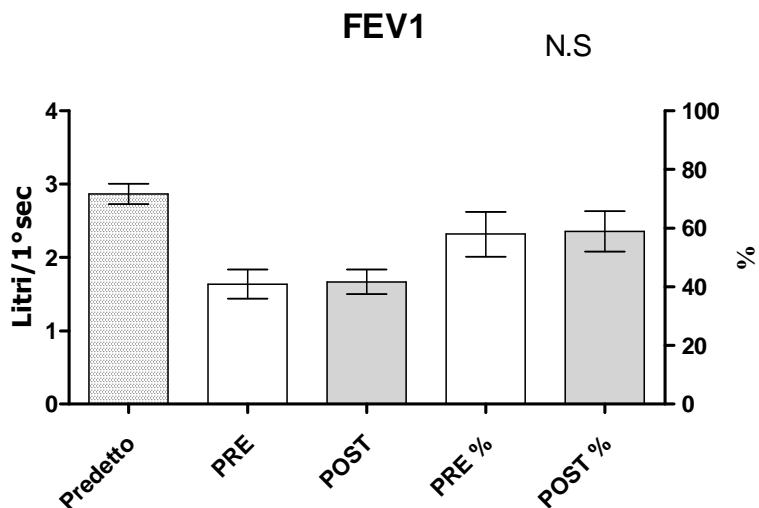
Per quanto riguarda la MIP, la prova eseguita da un paziente è stata considerata non attendibile e per questo non è stata considerata nella statistica; nonostante questo il miglioramento risulta significativo dal punto di vista statistico a conferma di ciò che era stato visto dal gruppo dei soggetti sani (Tabella 9.3)

Predetto	PRE	POST	PRE %	POST %
2,26	2,12	2,15	94,0	93,0
3,38	1,88	1,75	55,6	52,0
2,66	1,48	1,76	55,7	61,0
2,68	0,45	0,72	18,0	27,0
2,94	1,91	1,81	65,0	63,5
3,34	1,62	1,44	48,5	43,6
2,56	1,37	1,49	53,5	59,0
3,09	2,26	2,22	73,1	72,0

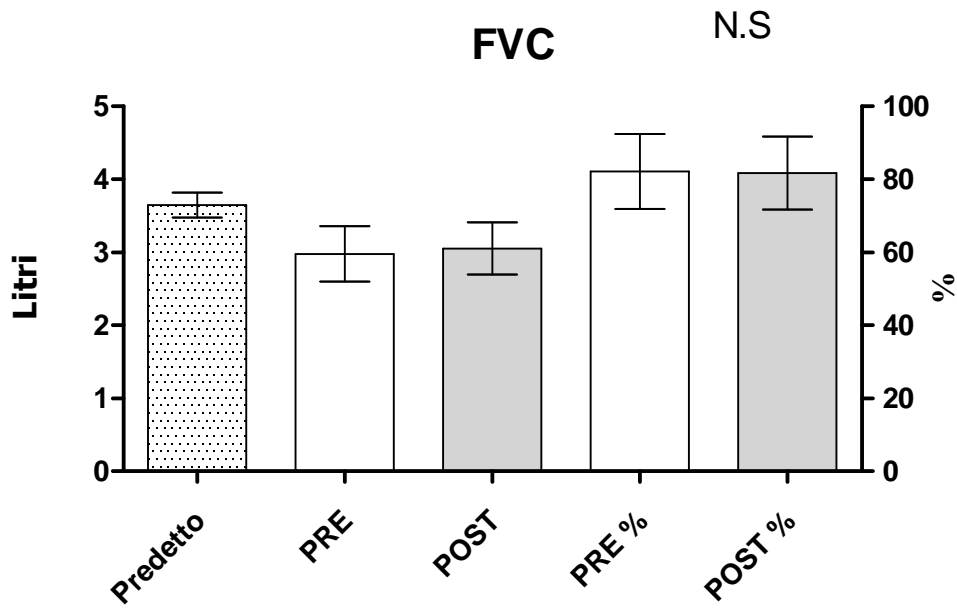
Tabella 9.1:FEV1 (L) e relativa rappresentazione grafica (sotto grafico 9.1)

Predetto	PRE	POST	PRE %	POST %
2,95	3,13	3,24	106,0	108,0
4,30	3,55	4,16	82,6	97,0
3,31	3,44	3,92	104,0	108,0
3,41	1,25	1,37	38,0	40,0
3,76	4,76	4,02	126,0	110,3
4,09	2,41	2,32	59,0	57,1
3,28	2,01	2,17	61,2	54,0
4,07	3,26	3,22	80,0	79,1

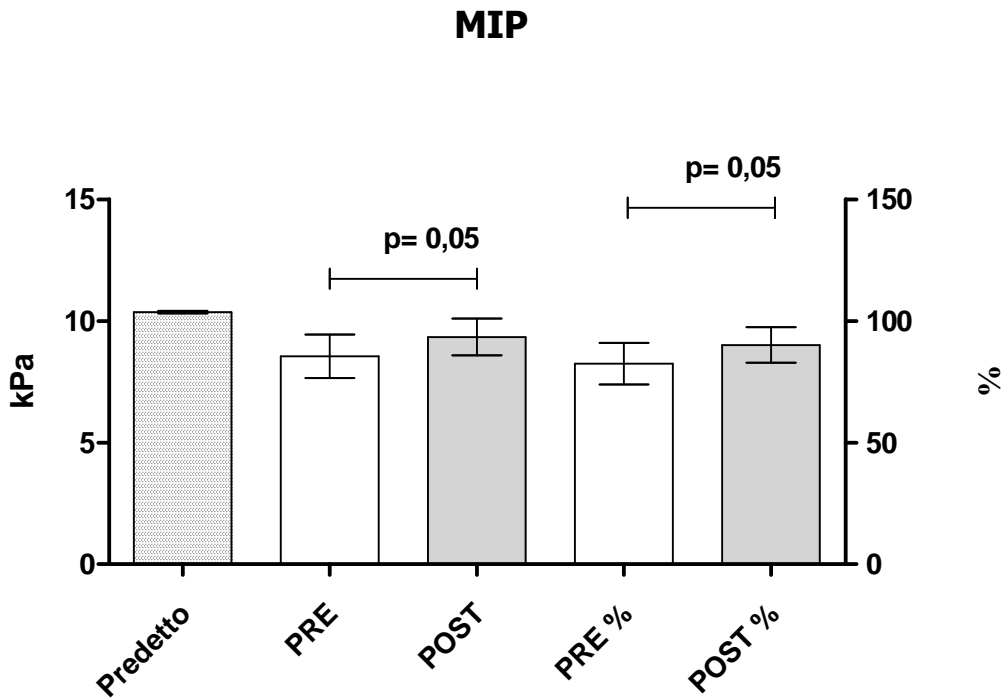
Tabella 9.2 FVC (L) e relativa rappresentazione grafica (pagina seguente grafico 9.2)



	Predetto	PRE	POST	PRE %	POST %
Mean	2.864	1.636	1.668	57.93	58.89
Std. Deviation	0.3932	0.5682	0.4713	21.69	19.49
Std. Error	0.1390	0.2009	0.1666	7.670	6.891



	Predetto	PRE	POST	PRE %	POST %
Mean	3.646	2.976	3.053	82.10	81.69
Std. Deviation	0.4788	1.073	1.009	29.03	28.17
Std. Error	0.1693	0.3795	0.3567	10.26	9.958



	Predetto	PRE	POST	PRE %	POST %
Mean	10.36	8.550	9.340	82.50	90.16
Std. Deviation	0.1410	2.345	1.995	22.53	19.12
Std. Error	0.05329	0.8865	0.7540	8.516	7.227

MIP pre			MIP post		
teorico	misurato	%	teorico	misurato	%
10,33	11,93	115,5	10,33	11,41	110,5
10,38	8,59	82,7	10,38	10,21	98,4
10,58	8,63	81,6	10,58	10,01	94,8
10,4	6,08	58,5	10,4	6,88	66,2
10,36	11,36	109,7	10,36	11,71	113,1
10,64			10,64		
10,38	6,95	67,0	10,38	7,07	68,1
10,1	6,31	62,5	10,1	8,09	80

Tabella 9.3 MIP, e relativa rappresentazione grafica (pagina precedente grafico 9.3)

9.2 Test del cammino (6MWT)

Sono stati messi a confronto i metri percorsi, la SpO2 minima e massima, la FC minima e massima, e la scala di Borg a fine test, sia per quanto riguarda la percezione della fatica respiratoria sia per la percezione della fatica muscolare degli arti inferiori.

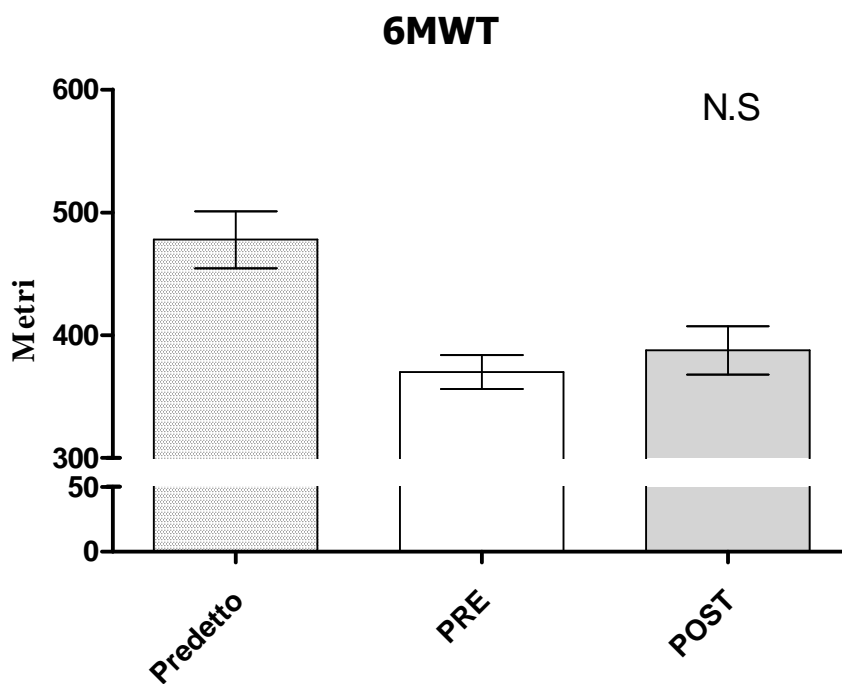
Non è stata riscontrata una significativa differenza tra i parametri confrontati, vi è comunque la tendenza ad una minore percezione della dispnea misurata con la scala di Borg durante il test (tabella 9.4; tabella 9.5 e grafici 9.4 e 9.5).

pred	Pre metri	Post metri	Pre Borg	Post Borg	Pre Borg (m)	Post Borg (m)
380	340	360	0	2	2	2
587	380	380	0	1	1	0
453	400	360	0	0	2	0
480	310	360	8	5	2	1
482	420	400	3	2	1	0
530	360	360	3	1	0	1
410	340	360	2	3	1	3
500	410	521	2	2	1	1

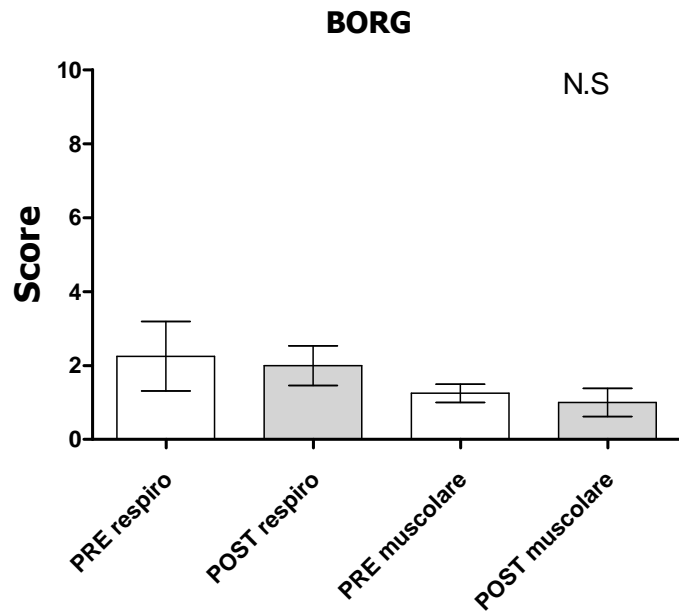
Tabella 9.4: metri percorsi, scala di Borg a fine test (score) e relativa rappresentazione grafica grafico 9.4)

Pre SpO2% min	Pre SpO2% MAX	Post SpO2% min	Post SpO2% MAX	Pre FC MAX	Pre FC min	Post FC min	Post FC MAX
95	97	95	97	107	73	70	105
94	97	94	97	118	98	98	118
85	96	90	94	115	87	77	114
71	91	74	95	80	50	75	100
92	96	92	95	100	64	58	99
95	97	90	95	115	75	85	130
95	96	93	96	89	65	66	90
92	95	93	95	73	52	64	112

Tabella 9.5: SpO2 (in %) e FC durante 6MWT (batt/min) e relativa rappresentazione grafica grafico 9.5)



	Predetto	PRE	POST
Mean	477.8	370.0	387.6
Std. Deviation	65.64	38.91	55.83
Std. Error	23.21	13.76	19.74



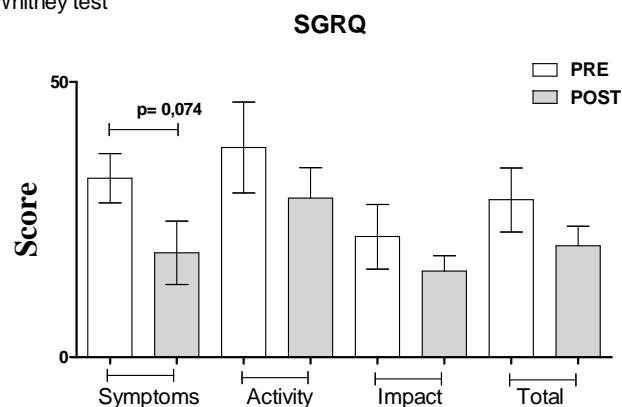
	PRE respiro	POST respiro	PRE muscolare	POST muscolare
Mean	2.250	2.000	1.250	1.000
Std. Deviation	2.659	1.512	0.7071	1.069
Std. Error	0.9402	0.5345	0.2500	0.3780

9.3 Questionario di St George

L'analisi del punteggio del SGRQ mostra invece un miglioramento che non raggiunge però la significatività statistica ($p = 0.07$) della percezione della qualità della vita per gli items relativo ai sintomi (grafico 9.6).

Analisi è stata eseguita con Mann Whitney test per dati non parametrici.

"Mann Whitney test"



	Symptoms	Activity	Impact	Total	Symptoms	Activity	Impact	Total
Mean	32.52	38.11	21.91	28.58	18.98	28.91	15.69	20.24
Std. Deviation	12.63	23.40	16.59	16.38	16.31	15.56	7.884	10.14
Std. Error	4.466	8.274	5.866	5.790	5.767	5.502	2.787	3.585

Grafico 9.6 andamento del questionario St George

9.4 BODE index

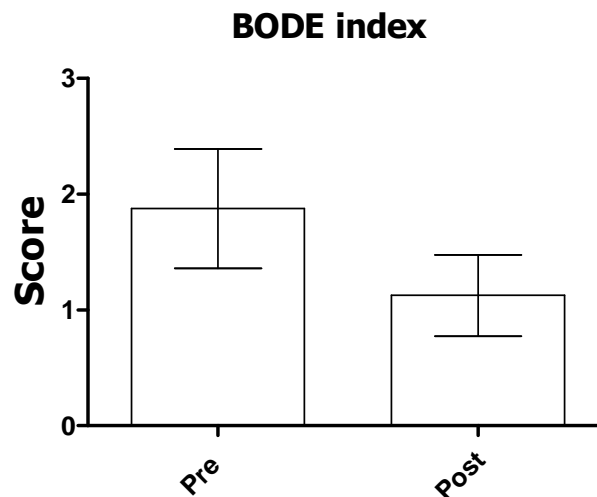
Non abbiamo dimostrato invece un miglioramento di questo indice (tabella 9.7 e tabella 9.8).

FEV1 (%pred)	m (6MWT)	dispnea	BMI	totale
0,00	1	1	0	2
1,00	0	0	0	1
1,00	0	0	0	1
3,00	1	1	0	5
1,00	0	0	0	1
1,00	0	0	0	1
1,00	1	1	0	3
0,00	0	1	0	1

Tabella 9.6: Bode index pre- e rappresentazione grafica (grafico 9.10)

FEV1 (%pred post)	m (6mwt)POST	dispnea	BMI	totale
0,00		0	0	0
1,00		0	0	1
1,00		0	0	1
3,00		0	0	3
1,00		0	0	1
2,00		0	0	2
1,00		0	0	1
0,00		0	0	0

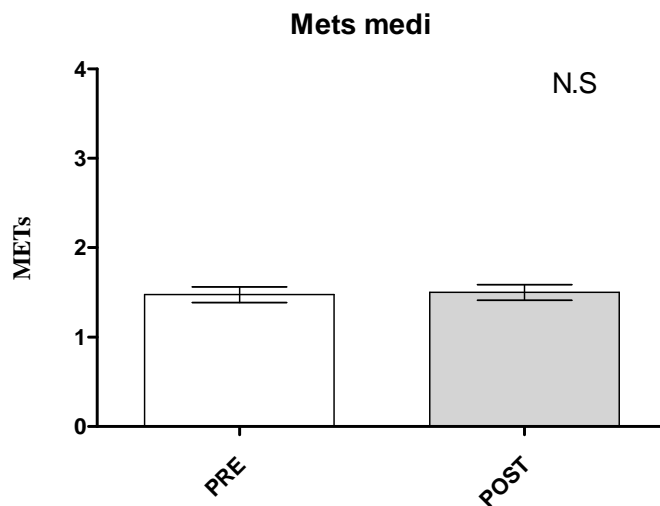
Tabella 9.7 Bode index post e rappresentazione grafica (grafico 9.10)



	Pre	Post
Mean	1.875	1.125
Std. Deviation	1.458	0.9910
Std. Error	0.5154	0.3504

9.4 Arm band

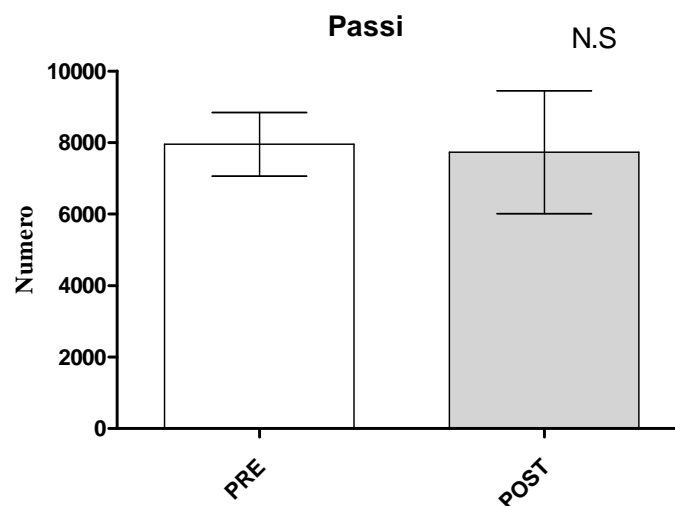
L'analisi del livello di attività fisica non mostra modificazioni significative per ciò che riguarda lo stile di vita né per quando riguarda i Mets medi né per quando riguarda il numero di passi giornalieri. (tabella 9.8 e 9.10;grafico



	PRE	POST
Mean	1.475	1.500
Std. Deviation	0.2493	0.2309
Std. Error	0.08814	0.08729

tabella 9.10

mets



	PRE	POST
Mean	7948	7730
Std. Deviation	2521	4535
Std. Error	891.1	1714

tabella 911 numero di passi

9.6 Tests al cicloergometro

Per quanto riguarda i parametri presi in considerazione (FC, a riposo e massima; lavoro, espresso in watts, durata dello sforzo; parametri ventilatori) non sono stati messi in evidenza miglioramenti significativi né per quanto riguarda il test massimale né per quanto riguarda il test di endurance (tabella 9.12 e tabella 9.13; tabella 9.14 e tabella 9.15). Si segnala un migliore carico di lavoro (sia in watt, sia per quanto riguarda la durata del test nel test di endurance ed una tendenza ad una migliore ventilazione sempre durante i test di endurance.

Un paziente non ha eseguito il test al cicloergometro ma al treadmill, un paziente non ha eseguito il test di endurance finale per indisponibilità per ragioni personali.

FC		Lavoro (Watt)	Durata (min)	VO2/Kg		QR	VE (BPTS)		RR (BPM)	VD/Vt Est
Base (Bpm)	FC Max (Bpm)			VO2 (L/min)	(mL/Kg/min)		L/min	Vt (L)		
81,	98,	50,	5,03	1,132	13,03	0,96	1,150	28,		
82,	112,	70,	7,01	0,900	11,55	1,06	36,0	22,		
87,	122,	100,	9,59	1,283	16,23	0,95	36,7	29,	0,36	
70,	76,		2,05							
62,	110,	90,	9,05	1,532	18,68	0,87	28,7	20,	0,26	
76,	136,	150,	4,59	1,635	16,00	1,08	28,6	19,	0,21	
56,	91,	70,	7,03	1,095	11,75	1,10	34,4	27,	0,30	
63,	99,	70,	7,59	1,245	12,70	0,97	29,3	25,	0,20	

Tabella 9.12 Test di massimale pre

FC Base (Bpm)	FC Max (Bpm)	Lavoro (Watt)	Durata (min)	VO2 (L/min)	VO2/Kg (mL/Kg/min)	Q VE (BPTS) R	Vt (L)	RR (BPM)	VD/Vt Est
						1,	1,3		
80,	103,	70,	6,37	1,165	13,55	05	35,3	18	27, 0,35
						1,	1,8		
103,	117,	60,	6,03	1,084	13,90	07	39,1	68	21, 0,28
						1,	1,5		
77,	125,	80,	10,50	1,338	16,93	05	45,7	85	28,
69,	86,		2,35						
						0,	1,9		
54,	99,	90,	8,32	1,211	14,25	95	30,7	15	16, 0,27
						1,	1,1		
73,	120,	120,	4,16	1,556	15,10	04	31,3	87	21,
						1,	1,4		
60,	95,	70,	7,06	1,066	11,48	10	17,6	51	24,

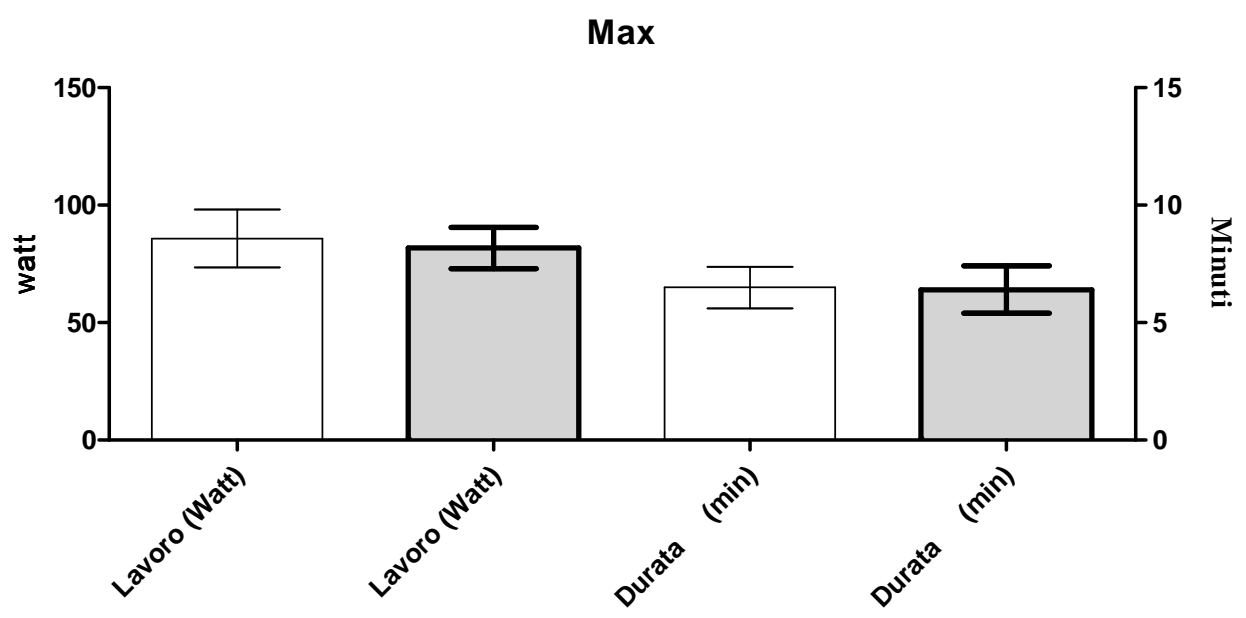
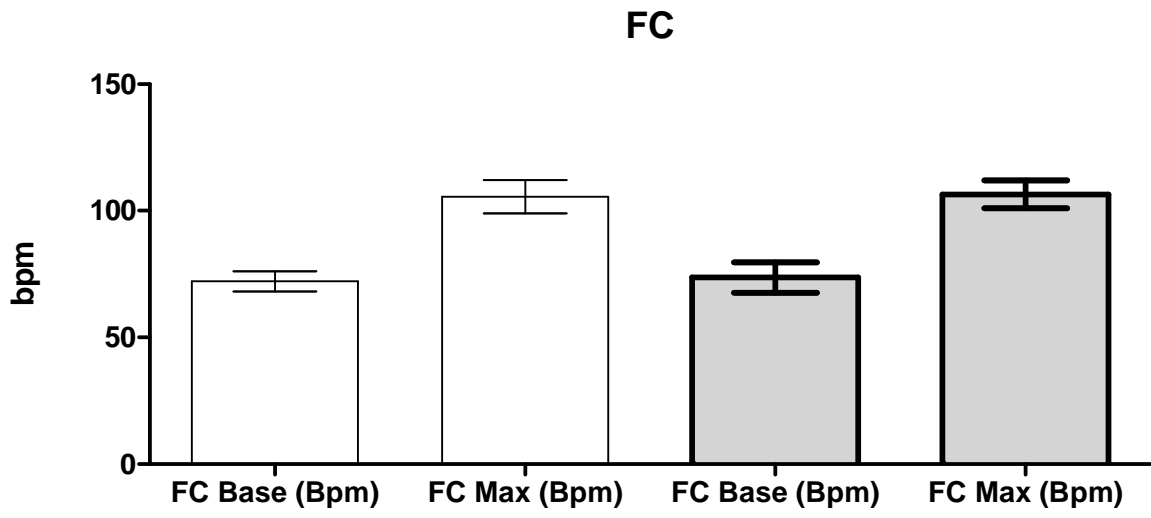
Tabella 913 Test massimale post

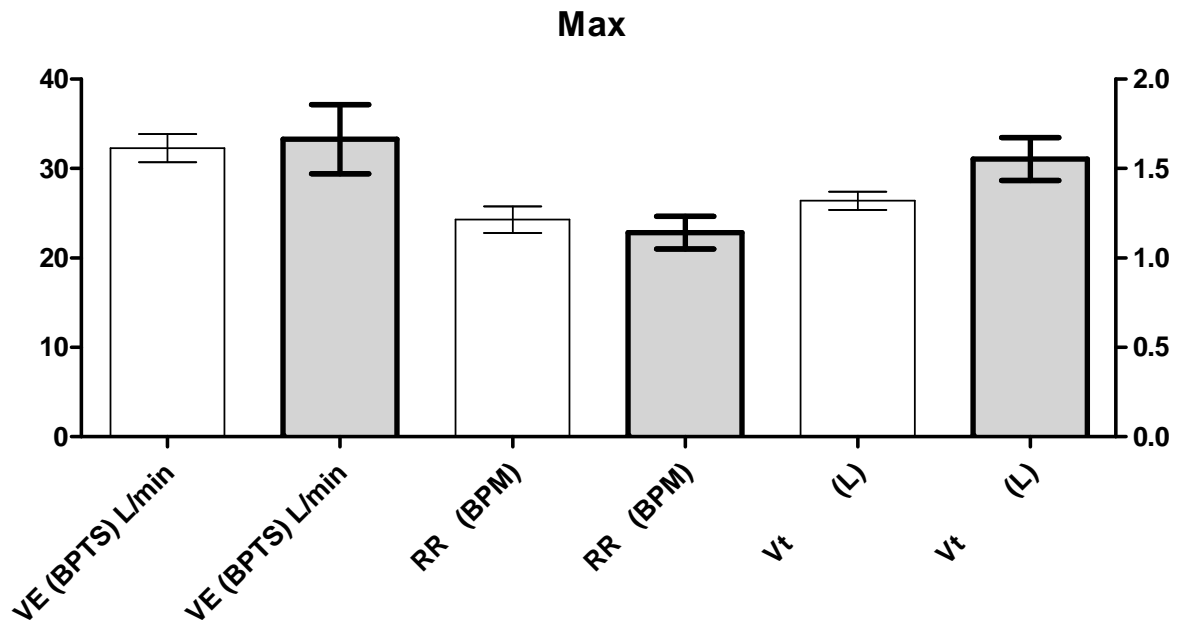
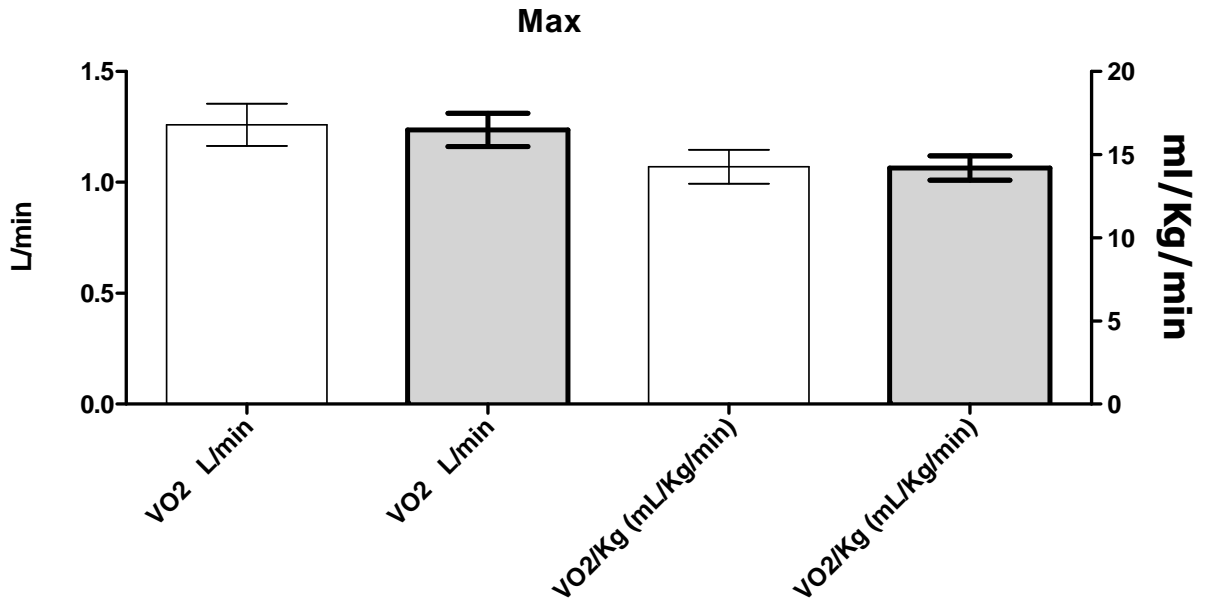
FC Base (Bpm)	FC Max (Bpm)	Lavoro (Watt)	Durata (min)	VO2 L/min	VO2/Kg (mL/Kg/min)	QR	VE (BPTS) L/min	Vt (L)	RR (BPM)	VD/Vt Est
81	101	40	6,50	1,113	11,70	0,96	29,5	1,111	27	0,35
103	116	40	7,56	1,111	14,25	0,98	39,7	1,754	19	
81	93	40	6,23	0,745	9,45	0,93	33,2	1,215	26	
65	89									
57	96	60	9,00	1,116	13,15	0,95	29,1	1,963	15	0,26
84	118	80	7,50	1,394	14,45	1,07	35,1	1,710	21	0,21
64	82	40	6,47	0,958	9,68	0,89	33,3	1,386	23	

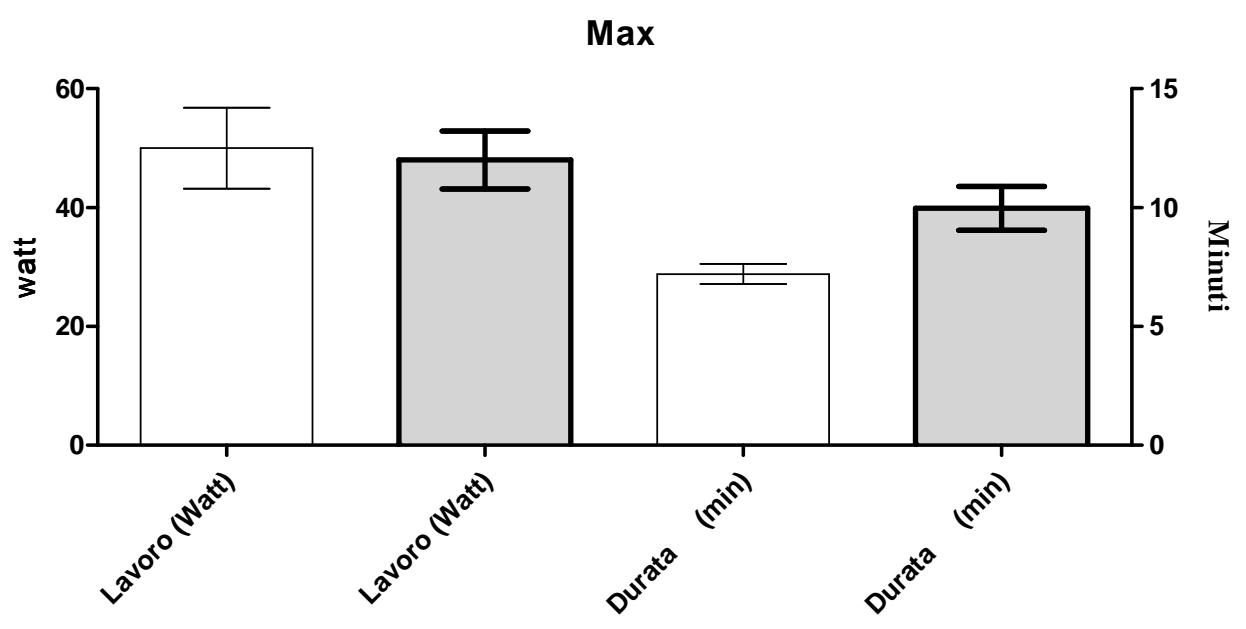
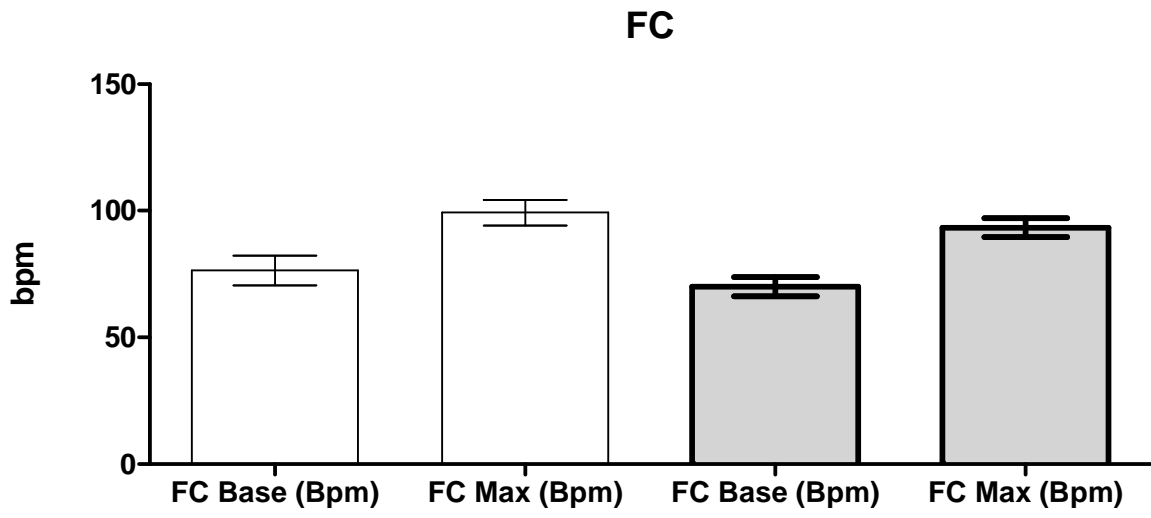
Tabella 9.14 Test endurance pre

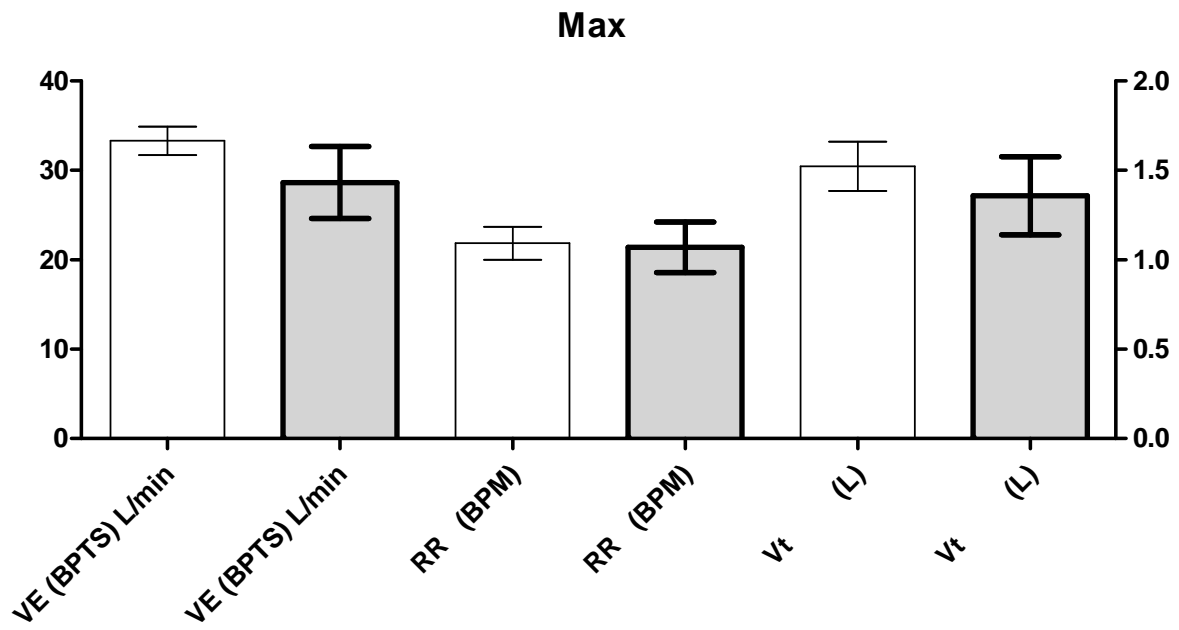
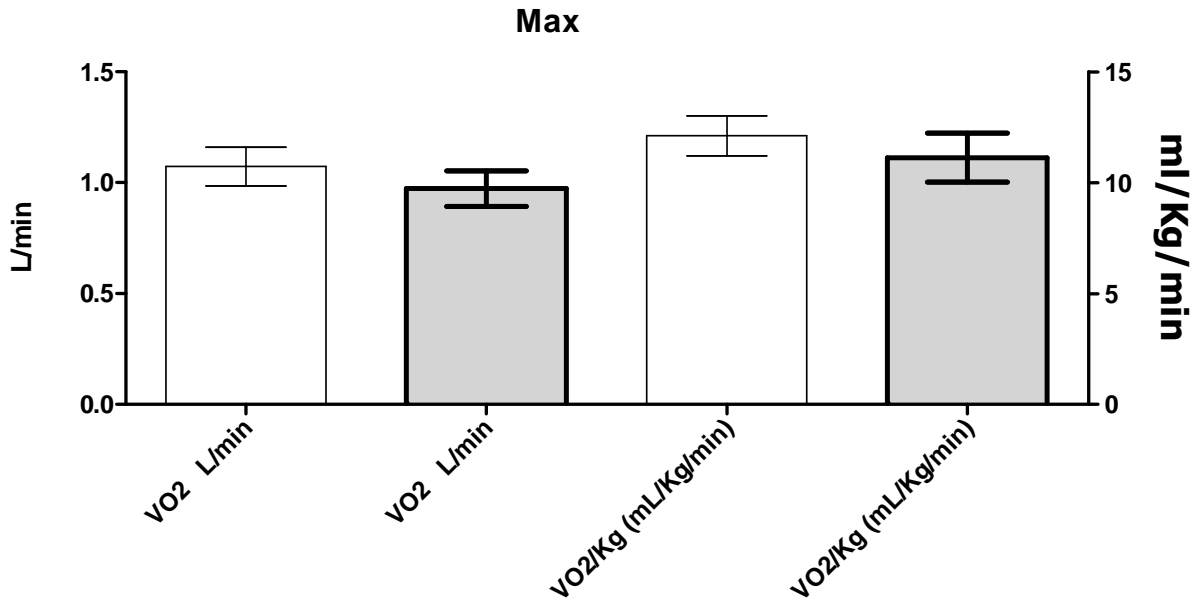
FC Base (Bpm)	FC Max (Bpm)	Lavoro (Watt)	Durata (min)	VO2 L/min	VO2/Kg (mL/Kg/min)	QR	VE (BPTS) L/min	Vt (L)	RR (BPM)	VD/Vt Est
79	97	40	12,20	0,866	10,08	1,03	34,5	0,974	29	
82	105	60	12,00	0,957	12,10	0,95	31,9	1,255	25	0,39
71	100									
57	92	60	9,57	1,257	14,90	0,90	38,4	2,123	16	0,23
0,788	8,50	1,01	21,0	0,922	23	0,36				
68	80	40	7,56	0,999	10,08	0,91	17,4	1,521	14	

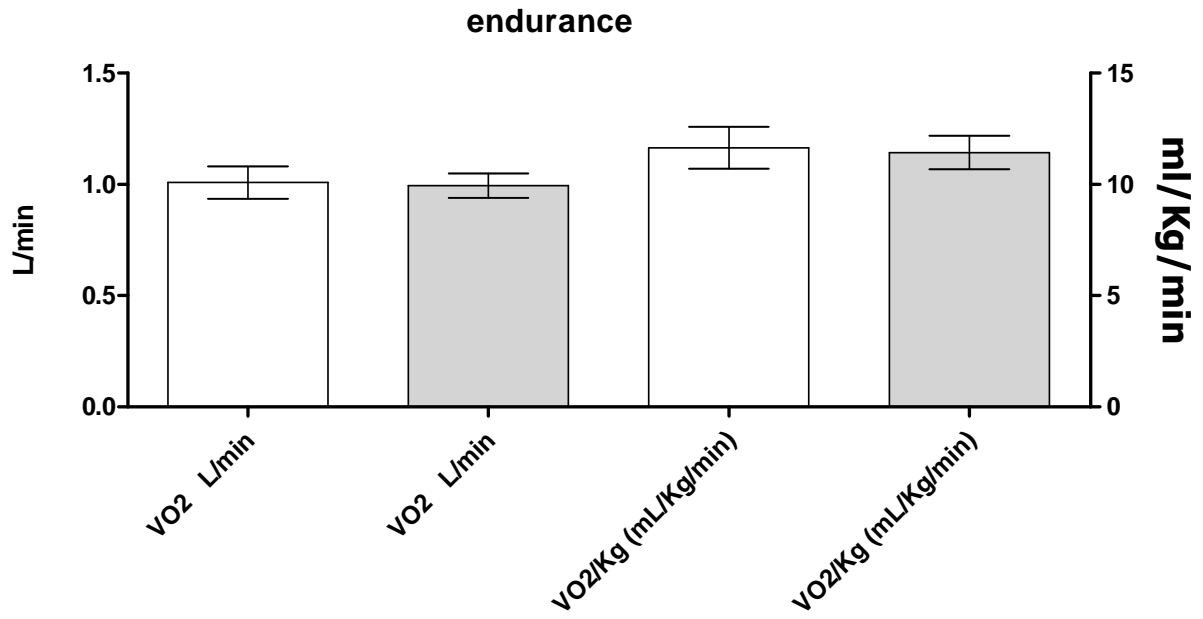
Tabella 9.15 Test endurance post





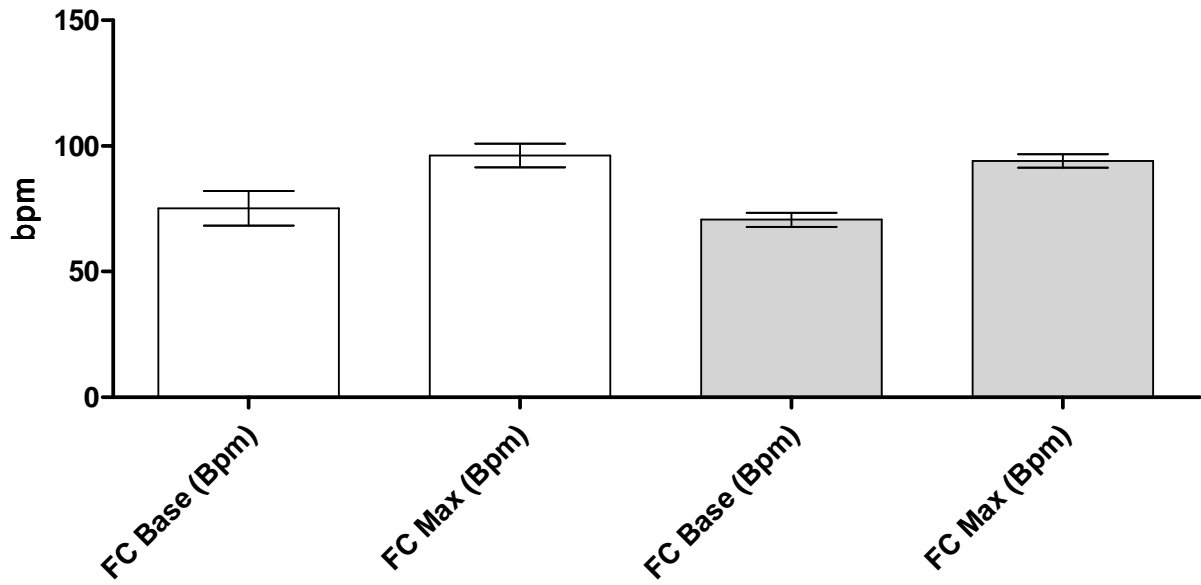






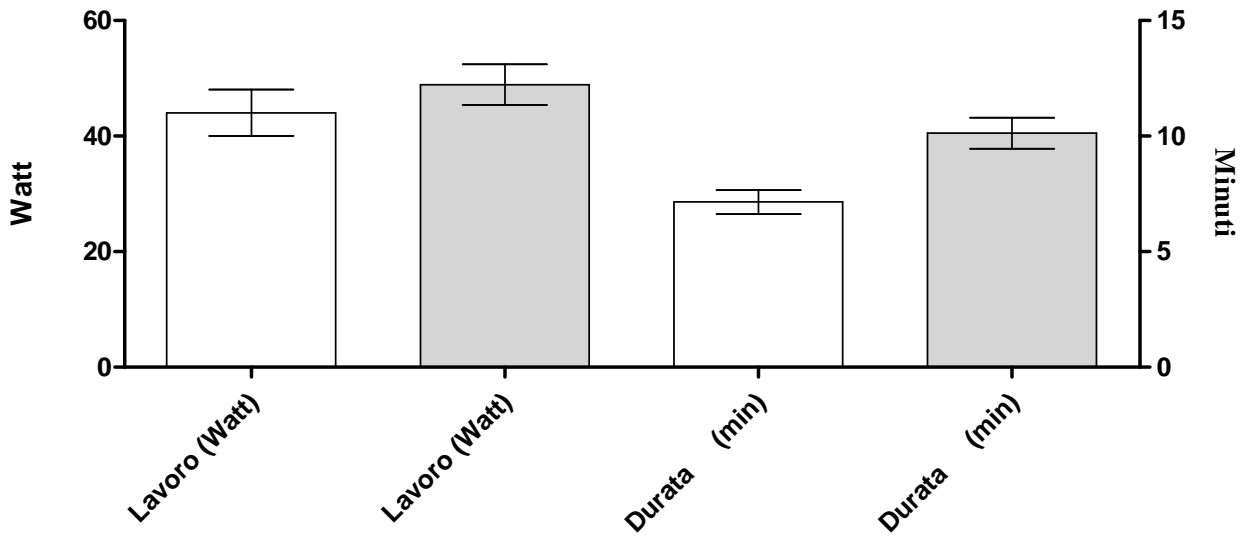
	VO2 L/min	VO2/Kg (mL/Kg/min)	VO2 L/min	VO2/Kg (mL/Kg/min)
Mean	1.009	11.65	0.9940	11.42
Std. Deviation	0.1620	2.106	0.1644	2.260
Std. Error	0.07244	0.9416	0.05481	0.7533

ENDURANCE



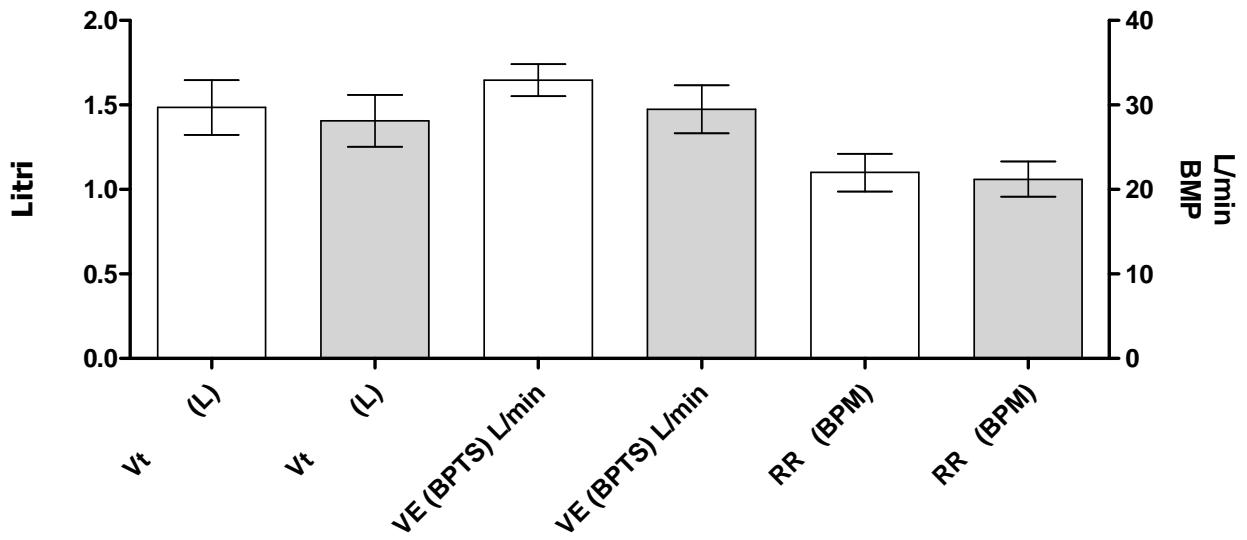
	FC Base (Bpm)	FC Max (Bpm)	FC Base (Bpm)	FC Max (Bpm)
Mean	75.17	96.17	70.64	94.00
Std. Deviation	16.74	11.65	9.179	8.922
Std. Error	6.833	4.757	2.768	2.690

endurance



Mean	44.00	48.89	7.152	10.13
Std. Deviation	8.944	10.54	1.153	2.002
Std. Error	4.000	3.514	0.5158	0.6673

ENDURANCE



	VE (BPTS) L/min	Vt (L)	RR (BPM)
Mean	32.96	1.486	22.00
Std. Deviation	4.257	0.3617	5.000
Std. Error	1.904	0.1618	2.236

	VE (BPTS) L/min	Vt (L)	RR (BPM)
Mean	29.49	1.408	21.22
Std. Deviation	8.551	0.4620	6.241
Std. Error	2.850	0.1540	2.080

10 CONCLUSIONI STUDIO SOGGETTI SANI

Il risultato principale dello studio sui soggetti affetti da BPCO è stato il miglioramento significativo della forza dei mm respiratori, risultato perlomeno in parte atteso, in quanto il programma si basava su questo tipo di allenamento. Ovviamente il solo miglioramento della PIM senza modificazioni sostanziali della capacità di sostenere un esercizio avrebbe poco significato per il paziente. In realtà abbiamo osservato una tendenza alla riduzione del sintomo dispnea per lo stesso carico di esercizio ed una capacità di sostenere l'esercizio più a lungo nel tempo. Questo si riflette sulla qualità della vita: infatti anche il punteggio del questionario di St.George sulla qualità della vita mostra un trend di miglioramento anche se anch'esso non raggiunge la significatività.

A differenza di quanto osservato nei soggetti sani, non abbiamo ottenuto nei pazienti con BPCO alcun miglioramento significativo della CV; questo è verosimilmente dovuto ai limiti di meccanica respiratoria imposti dalla patologia stessa.

A fronte di questi miglioramenti che incoraggiano a continuare il lavoro su una popolazione più numerosa abbiamo però verificato dei problemi sulla applicabilità del programma.

Infatti il xy% dei soggetti inizialmente reclutati hanno abbandonato il programma. Alcuni xy per difficoltà logistiche ma xd per scarsa tolleranza allo strumento. questo tipo di riallenamento pare non sempre ben tollerato dai pazienti con BPCO. Data l'esiguità numerica non siamo riusciti ad identificare una caratteristica fisiopatologia che contraddistingua la scarsa tolleranza (ad esempio eccessiva iperinsufflazione che condiziona l'impossibilità di un incremento della capacità inspiratoria ed un eccessivo affaticamento nell'uso dello strumento adottato.

Le difficoltà logistiche potranno in futuro essere facilmente superate attraverso un reclutamento più mirato ed un miglioramento del colloquio iniziale con il paziente per valutarne meglio la compliance.

Le caratteristiche fisiopatologiche dovranno essere invece verificate in un campione più ampio per poter decidere a priori la possibilità dell'allenamento e la sua prescrizione in termini di volume e frequenza. Questo potrà essere in parte facilitato dall'adozione (d'ora in avanti possibile) di uno strumento modificato e migliorato che non imporrà più un minimo volume di funzionamento, poco tollerato dai pazienti.

In conclusione, mentre nei soggetti sani l'uso è risultato semplice e la compliance elevata, nei pazienti con broncopneumopatia ostruttiva cronica hanno avuto più difficoltà nel mettere in atto la prescrizione del programma e soprattutto necessitano di essere costantemente seguiti ed incentivati per non arrendersi alle prime difficoltà.

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*, Sportraining, 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, Rebuck 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, Rebuck 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

