



Università degli Studi di Cagliari

DOTTORATO DI RICERCA

BIOLOGIA E BIOCHIMICA DELL'UOMO E DELL'AMBIENTE

Ciclo XXVII

TITOLO TESI

VALUTAZIONE DEGLI AGGIUSTAMENTI CARDIOCIRCOLATORI NEL
MOTOCICLISMO CLASSE ENDURO

BIO/09 – M-EDF/02

Presentata da:	Dott.ssa Irene Sanna
Coordinatore Dottorato	Prof. Emanuele Sanna
Tutor	Dott. Antonio Crisafulli
Relatore	Dott. Antonio Crisafulli

Esame finale anno accademico 2013 – 2014

“La presente tesi è stata prodotta durante la frequenza del corso di dottorato in Biologia e Biochimica dell’Uomo e dell’Ambiente dell’Università degli Studi di Cagliari, a.a. 2013/2014 - XXVII ciclo, con il supporto di una borsa di studio finanziata con le risorse del P.O.R. SARDEGNA F.S.E. 2007-2013 - Obiettivo competitività regionale e occupazione, Asse IV Capitale umano, Linea di Attività 1.3.1 “Finanziamento di corsi di dottorato finalizzati alla formazione di capitale umano altamente specializzato, in particolare per i settori dell’ICT, delle nanotecnologie e delle biotecnologie, dell'energia e dello sviluppo sostenibile, dell'agroalimentare e dei materiali tradizionali”.

“Irene Sanna gratefully acknowledges Sardinia Regional Government for the financial support of her PhD scholarship (P.O.R. Sardegna F.S.E. Operational Programme of the Autonomous Region of Sardinia, European Social Fund 2007-2013 - Axis IV Human Resources, Objective 1.3, Line of Activity 1.3.1.)”.

ABSTRACT

Hemodynamic parameters, such as Cardiac Output (CO) and Stroke Volume (SV), have never been studied in motorcycle racing. Probably because the measurement of these variables is hampered by difficulties related to the particular environment of motorcycle performance, which can be considered an extreme condition. Moreover, these parameters need the availability of a non-invasive and reliable portable cardiovascular measurement systems. Indeed, the only data available are about Heart Rate (HR), which increases to about 90-95% of maximum, despite the supposed low energy requirements of motorcycle riding. The aim of this study was to measure hemodynamics enduro - motorcycling pilots during real motorcycle race by means of portable impedance cardiograph.

Fifteen male elite motorcycle riders performing regional and national competitions on enduro motorcycles were studied. Hemodynamics was assessed by means of a portable impedance cardiograph (New Core, 2C Technologies Inc., Cagliari, Italy). Data were collected at rest, throughout 10 minutes of motorcycle race at maximum speed possible and during passive recovery. Also the blood lactate was measured at rest and after motorcycle race.

The comparison between rest and exercise showed a significant increase in hemodynamic parameters. In detail, increments in both HR and SV were observed, thereby leading to a CO elevation. Systemic Vascular Resistance (SVR) showed a significant reduction, while there was an increase in systolic (SV/VET) and diastolic (SV/DT) flow index. Blood lactate significantly increase after exercise. All parameters at recovery returned to rest levels, with the exception of HR and SV/VET. Data obtained show that enduro motorcycle riding leads to significant increments in both HR and SV. While the former fact was already known, the latter is a new finding of the present investigation. The significant CO response can be the consequence of a substantial increase in cardiac contractility which can be ascribed to a sympathetic activation, as testified by the contemporary increase in HR. It is possible to speculate that the heavy muscular work of the upper and lower limbs activates the exercise pressor reflex, thereby causing sympathetic activation.

INDICE

Acronimi

Introduzione

Generalità su motociclismo ed enduro

Modello prestativo dell'enduro

- **Tecnica di guida**
- **Impegno fisiologico e biomeccanico**

Principi di emodinamica e aggiustamenti cardiovascolari durante l'esercizio fisico

Scopo dello studio

Materiali e metodi

Soggetti

Valutazione dei parametri emodinamici

Misurazione del lattato ematico

Protocollo sperimentale

Analisi dei dati

Risultati

Discussione

Tabelle

Grafici

Immagini

Bibliografia

ACRONIMI

BLa (Blood Lactate): Lattato ematico **CO (Cardiac Output):** Portata Cardiaca

DBP (Diastolic Blood Pressure): Pressione arteriosa diastolica

DT (Diastolic Time): Tempo diastolico

ECG: ElettroCardioGramma

EVI (Ejection Ventricular Index): Indice di eiezione ventricolare

HR (Heart Rate): Frequenza Cardiaca

MBP (Mean Blood Pressure): Pressione arteriosa media

PEP (Pre-Ejection Period): Periodo di pre-eiezione ventricolare

SBP (Systolic Blood Pressure): Pressione arteriosa sistolica

SV (Stroke Volume): Volume di eiezione sistolica

SV/DT: indice di flusso medio diastolico

SV/VET: indice di flusso medio sistolico

SVR (Systemic Vascular Resistance): Resistenze Vascolari Sistemiche

TFI (Transthoracic Fluid Impedance): Impedenza Elettrica Transtoracica

VET (Ventricular Ejection Time): Tempo di eiezione ventricolare

VO₂: Consumo di Ossigeno

VO_{2max}: Massimo Consumo di Ossigeno

INTRODUZIONE

Il motociclismo è uno sport motoristico il cui settore agonistico comprende varie discipline che prevedono competizioni tra piloti a bordo di motociclette. Esistono due tipologie di motociclismo sportivo:

- Velocità: competizioni che si svolgono su suoli compatti e asfaltati, comprendente diverse categorie e campionati come il motomondiale, superbike e supersport.
- Fuoristrada: competizioni che si svolgono su suoli non compatti come il motocross, l'enduro e il rally.

Tutte le competizioni motociclistiche sono promosse e gestite dalla Federazione Motociclistica Italiana (FMI), ente che in Italia rappresenta e cura gli interessi generali del mondo del motociclismo sportivo.

GENERALITÀ SU MOTOCICLISMO ED ENDURO

L'enduro è una specialità motoristica fino agli anni Settanta denominata "regolarità". Il vecchio nome chiariva meglio il concetto di questa disciplina motoristica che si concentra su gare di regolarità in tracciati aperti al traffico con medie velocistiche e tempi d'impiego prefissati, nel rispetto del codice della strada vigente.

L'attuale denominazione "enduro" deriva da "endurance" che significa "resistenza"; tale disciplina si svolge su sterrati con qualsiasi condizione del terreno e situazione metereologica, richiedendo a tal proposito una grande resistenza fisica da parte dei piloti.

L'enduro nasce nelle isole Britanniche ai primi del '900. La sua storia è legata all'evoluzione della motocicletta e trae origine da alcune sfide tra amici impegnati a superare percorsi sconnessi in un tempo prestabilito.

Le gare di motocross sono gare di velocità in cui diversi piloti partono insieme, il vincitore è il primo concorrente a tagliare il traguardo, mentre, nell'enduro i piloti partono uno dopo l'altro, distanziati di alcuni secondi; non vi è quindi una diretta competizione tra i vari concorrenti.

Le gare di enduro sono caratterizzate da lunghezza e tipologia di percorso variabile, nelle quali è fondamentale prestare attenzione ai controlli orari (è il controllo che viene fatto almeno una volta per ogni giro e tramite il quale i giudici di gara riportano sulla tabella di marcia del pilota l'orario del passaggio).

La classifica è stilata in base al totale dei tempi cronometrati delle varie prove, tenendo conto di eventuali penalità causate dal mancato rispetto dei controlli orari o da altre infrazioni commesse sul percorso.

MODELLO PRESTATIVO DELL'ENDURO

Tecnica di guida

L'affinità molto stretta con il motocross porta ad avere una guida molto simile, l'unica differenza è determinata dalla lunghezza dei percorsi, in quanto le competizioni di enduro si svolgono su tracciati di decine di chilometri.

I tragitti che si compiono durante le gare di enduro presentano varie tipologie di terreno e di ostacoli che possono essere naturali e artificiali, quindi a seconda del tratto di percorso che il pilota sta percorrendo dovrà impostare uno stile di guida adatto.

Le tre situazioni maggiormente ricorrenti lungo i tragitti sono la salita, la discesa e il salto.

- *La Salita:*

Durante questa fase, il corpo del pilota deve essere sempre pronto a bilanciare gli spostamenti della moto e favorire l'avanzamento, evitando la perdita di trazione sul terreno della ruota motrice, sbilanciandosi leggermente indietro con il bacino per favorire la trazione, contemporaneamente avanzare con il busto verso il manubrio.

- *La Discesa*

Le discese cambiano bruscamente pendenza e quando la velocità è sostenuta, risulta complesso mantenere il controllo del veicolo e rallentare. La prima cosa da fare è quella di spostare indietro il peso alzandosi sulle pedane e portando il bacino sul parafrangente posteriore, operazione che serve a spostare il peso del pilota sul retrotreno, nonché per far aumentare l'aderenza della ruota motrice; solo così si può dare avvio alla frenata distribuendo il carico su entrambi i freni.

- *Il Salto*

Il salto dovrebbe svilupparsi in lunghezza per consentire il mantenimento di una guida redditizia ai fini della classifica finale. Il pilota nell'affrontare il salto deve spostare indietro il bacino, spingere in avanti la moto distendendo le braccia e prestando molta attenzione in quanto spesso non si sa cosa riserva il tratto seguente. È importante prepararsi a manovre d'emergenza. Nella fase di volo è necessario favorire la percorrenza parallela al terreno, fino a

quando la moto non inizia ad avvicinarsi al suolo con la ruota posteriore. A questo punto il pilota inizia ad avanzare con il bacino verso il serbatoio, tenendo saldamente il manubrio porta le braccia indietro all'altezza del bacino e solleva le spalle. Nel momento in cui la ruota posteriore aderisce al terreno e l'anteriore si porta verso il basso, il pilota accelera portando indietro il bacino fino al termine della discesa.

- *La Guida in un Terreno Fangoso*

Nell'enduro è fondamentale sapere come si guida in caso di pioggia e fango poiché le competizioni si svolgono su un terreno naturale battuto e lavorato, ma comunque soggetto al clima. La disciplina dell'enduro non prevede alcun tipo di interruzione per motivi climatici, come invece è previsto per regolamento in altre discipline motoristiche. In queste condizioni il pilota deve guidare la moto prevalentemente in piedi sulle staffe nelle zone rettilinee, in salita e discesa, correggendo gli sbandamenti della motocicletta con il bacino. Nella discesa è necessario indietreggiare verso il parafango posteriore; in salita si deve distribuire il peso del corpo, spostando indietro il bacino per fornire la trazione e avanzando con il petto verso il manubrio per non ribaltarsi. In curva è importante non inclinare troppo la moto e controbilanciare con il corpo l'azione centrifuga del mezzo.

Impegno fisiologico e biomeccanico

Gli sport motoristici vengono classificati fra le attività di destrezza a impegno posturale e direzionale.

Per attività di destrezza si intendono quelle attività che implicano una prevalente sollecitazione degli apparati sensoriali e che richiedono precisione nell'esecuzione del gesto motorio.

Le gare di enduro si svolgono su strade di campagna, mulattiere e strade pubbliche seguendo le ordinarie regole del traffico. Questi percorsi non sono conosciuti ai piloti, pertanto potrebbero andare incontro ad ostacoli inaspettati e strade non segnalate.

Per questo motivo nel pilota di enduro la capacità di destrezza è continuamente riscontrabile, poiché più apparati sensoriali vengono sollecitati sia per avere un buon controllo sulla guida della moto sia per poter individuare immediatamente il tragitto più agevole per mantenere una velocità di gara costante; risulta pertanto fondamentale un'adeguata efficienza psico-neuro-sensoriale.

Negli sport motoristici le caratteristiche meccaniche del mezzo, le abilità tecniche e tattiche dei piloti sono considerate più importanti per il successo in gara rispetto alle caratteristiche fisiologiche e alle capacità metaboliche (Gobbi et al. 2005).

È ampiamente supposto che il coraggio e il talento siano sufficienti nella guida ad alta velocità ed è richiesto il minimo sforzo fisico, anche se la ricerca scientifica ha dimostrato che il motociclismo off-road (Caldweell et al. 1983; Gobbi et al. 2005) e gli automobilisti (Ceccarelli 1999; Falkner 1972; Jacobs et al. 2002; Lighthall et al. 1994) hanno bisogno di molta resistenza fisica e mentale.

Sebbene la performance motoristica dipenda fortemente dal mezzo utilizzato e dall'abilità di guida del pilota, mancano le conoscenze scientifiche sul carico fisico a cui è sottoposto. Gli studi si sono focalizzati prevalentemente sullo sviluppo tecnologico delle moto (D'Artibale et al. 2007).

Le prove sono lunghe 4-10 km che devono essere coperti il più velocemente possibile. La competizione solitamente dura 6-8 ore e il risultato finale è calcolato in base alla somma dei tempi delle prove con le penalità acquisite, dovute alle differenze tra il tempo richiesto fissato e il tempo impiegato per coprire il percorso (Gobbi et al. 2005).

Le distanze tra i vari checkpoint devono essere coperte all'interno di un tempo prefissato (cioè entro una velocità media fissa), sottolineando la resistenza piuttosto che la velocità.

Nelle discipline motoristiche si distinguono due differenti tipi di impegno muscolare:

- Il primo è determinato dal controllo che il pilota deve avere sugli organi di comando del mezzo (controllo sul manubrio, sui freni e sull'acceleratore). L'impegno richiesto in queste operazioni risulta modesto ma è fondamentale un'assoluta precisione nell'esecuzione motoria.
- Il secondo è determinato da quel tipo d'impegno che il pilota deve mettere in atto per mantenere la postura più idonea ad un corretto controllo del veicolo e per preservare le varie parti del corpo da eventuali traumi. I salti, i sobbalzi e le numerose sollecitazioni percepibili in gara impongono al pilota una tipologia di lavoro muscolare isometrico con contrazioni di varia intensità che interessano differenti distretti della muscolatura corporea, ciò può portare a un vero e proprio affaticamento neuromuscolare, tanto da richiedere delle doti di resistenza e una buona efficienza muscolare. Questa tipologia risulta essere quella di maggior prevalenza.

Il pilota necessita di un sufficiente grado di forza muscolare, specialmente in condizioni di affaticamento (resistenza muscolare), per raggiungere elevati livelli di forza sui pedali nelle azioni di frenata (circa 600-700 N nelle gare di Grand Touring Sports Racing) e per stabilizzare il corpo e le estremità contro le forze g generate in direzione medio-laterale e antero-posteriore (Jacobs et al. 2002).

Gli infortuni da sovra utilizzo causati dalle vibrazioni del mezzo sono caratteristici degli sport motoristici e si manifestano soprattutto con disordini muscolo-scheletrici (Mansfield et al. 2001).

Per prevenire i traumi diretti e gli infortuni muscolo-scheletrici le qualità richieste ad un pilota sono: abilità coordinative sofisticate, elevate velocità di reazione, strategie sensomotorie eccellenti e ben consolidate e adeguato controllo neuromuscolare (Chapman, 1991).

Baur e coll. hanno analizzato il livello di fitness di piloti d'élite valutando, nello specifico, i tempi di reazione, stabilità posturale e capacità di forza. Si è visto come i piloti d'élite mostrano tempi di reazione più rapidi rispetto ai soggetti di controllo.

Si pensa che i tempi di reazione possano essere collegati con la stabilità posturale o con misure funzionali dell'equilibrio (Corriveau et al. 2004).

Nello studio di Baur et al. (2006) non è stata trovata nessuna differenza nella stabilità posturale tra piloti e soggetti di controllo; tuttavia, la valutazione della stabilità posturale nei piloti potrebbe rappresentare le capacità sensomotorie del tronco e degli arti inferiori (fondamentali nel pilota per resistere alle forze g e quindi per prevenire gli infortuni muscolo-scheletrici causati dalle vibrazioni).

Nello studio sopracitato i piloti hanno raggiunto livelli di forza massima e resistenza muscolare simili ai soggetti di controllo fisicamente attivi. Queste rilevazioni sono però in contrasto con quanto è stato riportato in precedenti studi, nei quali veniva riportato che i piloti raggiungevano performance di forza muscolare superiori rispetto ai soggetti di controllo (Backman et al. 2005).

Test isocinetici per la valutazione della forza muscolare eseguiti a livello del ginocchio (nei movimenti di estensione e flessione del ginocchio a diverse velocità angolari), hanno evidenziato i valori maggiori nei piloti di motocross con modesta superiorità nei confronti di enduristi e trialisti e maggiori rispetto ai rallisti.

Tale differenza pare sia determinata dalla tecnica di guida dei crossisti i quali assumono in maniera costante una posizione sollevata dalla sella, a gambe semiflesse, che gli consente di ammortizzare con gli estensori del ginocchio le asperità del terreno e gli atterraggi dai salti.

Gli enduristi, diversamente dai crossisti, viaggiano frequentemente seduti sulla sella, assumendo la posizione da cross solo quando gli ostacoli presenti nel percorso lo impongono (Gobbi et al. 2005).

Nello studio di Backman (2005) i piloti di rally hanno mostrato livelli di forza superiori nella flessione plantare della caviglia e nella flessione della spalla rispetto ai controllati e ai piloti di macchine monoposto (tipo formula uno). I piloti di macchine monoposto, hanno però mostrato livelli di forza superiori nella flessione laterale del collo. Questo significa che gli adattamenti in seguito all'allenamento attraverso la competizione sono specifici per ogni disciplina motoristica.

La necessità di valutare la massima forza e la resistenza muscolare nei piloti nasce dall'esigenza di dover affrontare competizioni di diverse ore che richiedono differenti azioni muscolari ripetute nel tempo. In una competizione di otto ore ad esempio, vengono eseguite numerose azioni di frenata: se in un singolo giro ci sono 15 azioni che precedono una frenata e ogni giro dura circa due minuti, al pilota vengono richieste 450 manovre di frenata in un'ora e 3600 in otto ore. La forza espressa per azione di frenata è circa 600-700 N la quale, nell'intera gara, risulta in un carico totale di 250 tons.

La richiesta di forza negli sport motoristici deriva dalle forze g orizzontali in direzione antero-posteriore e medio-laterale e dalle ripetute azioni di frenata. Nello studio di Baur et al. (2006) non è stata valutata la capacità aerobica, ma gli autori hanno sottolineato che la fitness aerobica è un fattore chiave nel sostenere l'incremento dei carichi lavorativi, nel garantire il recupero e nel sopportare lo stress fisico durante la guida (Jacobs et al., 2002; Mansfield et al., 2001).

La capacità fisica complessiva dei piloti d'élite non è conosciuta (Baur et al. 2006). Le ricerche sugli sport motoristici hanno rilevato che il VO_2 e la frequenza cardiaca può raggiungere il 45-

81% dei valori ottenuti in un test sotto sforzo massimale. Lo stress psicologico può avere un grande effetto sulle risposte metaboliche (Jacobs et al., 2002; Schwabergger, 1987). Lo studio condotto da Konttinen et al. ha esaminato l'impegno cardiopolmonare durante la guida nel motocross. Nonostante sia ancora acceso il dibattito riguardo la prevalenza dei fattori fisiologici o psicologici associati a diversi tipi di sport motoristici che richiedono velocità elevate, nello studio in questione si è visto come il carico fisiologico durante la guida nel motocross è considerevole. Il consumo di ossigeno medio infatti, era di $32 \text{ ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ (range: $21,2 - 41,9 \text{ ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$) mentre il consumo di ossigeno medio durante un test al cicloergometro era di $45 \text{ ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$. Il VO_2 raggiunge lo steady state durante i primi due minuti della prova in moto e subisce una caduta verso la fine. La ventilazione polmonare raggiunge in media $118 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$, lo steady state viene raggiunto durante i primi due minuti e rimane costante fino alla fine della prova. La frequenza respiratoria media si è registrata intorno ai 55 atti respiratori al minuto (Konttinen et al. 2007).

Nello studio in questione è emerso che esiste una relazione tra la posizione in classifica, i tempi raggiunti e il relativo VO_2 durante le prove sulla moto. In altre parole, un basso VO_2 durante la prova comparato con il massimo individuale è associato ad una velocità maggiore. Tuttavia, non è stata osservata nessuna correlazione con il $\text{VO}_{2\text{max}}$. Il pilota più veloce, alla sua massima velocità, guida con una tecnica più economica in relazione al suo $\text{VO}_{2\text{max}}$. Questo potrebbe essere dovuto ad una migliore tecnica di guida o ad un risparmio di spesa energetica non necessaria ai fini prestativi. Questo suggerisce che sia il $\text{VO}_{2\text{max}}$ che il VO_2 durante la guida potrebbero essere i fattori limitanti della performance, la quale potrebbe essere sviluppata aumentando il VO_2 e/o guidando più economicamente. Dall'altro lato, una buona resistenza muscolare che include la funzionalità neuromuscolare e metabolica potrebbero migliorare la performance di guida attraverso l'incremento dell'economia del gesto.

I valori medi di lattato ematico misurati un minuto dopo il termine della prova erano di $5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, mentre dopo la prova al cicloergometro era di $13,4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.

La frequenza cardiaca media misurata nel test al cicloergometro e nelle prove in pista era rispettivamente di 192 bpm e 184 bpm. La frequenza cardiaca durante il test in pista si è mantenuta intorno al 95% del massimo. A partire dal valore medio di 123 bpm misurata all'inizio della prova, la frequenza cardiaca raggiunge lo steady state durante i primi due minuti per poi rimanere costante fino alla fine. La frequenza cardiaca media raggiunta durante il test in pista è molto più vicina al suo massimo rispetto al consumo di ossigeno.

Il consumo di ossigeno medio raggiunto era del 71% del VO_{2max} , la ventilazione ha raggiunto il 73% del suo massimo e la frequenza cardiaca il 95%. La riduzione della massima forza isometrica dei muscoli dell'avambraccio (16%) testimonia l'insorgenza di fatica muscolare.

La frequenza cardiaca ha mostrato valori simili a quelli riportati in precedenti studi. Tuttavia, i risultati di questo studio enfatizzano il ruolo funzionale del sistema cardiovascolare comparato con la richiesta delle funzioni metaboliche e polmonari durante la guida.

Nella disciplina in questione si presentano, infatti, continui cambi di direzione e velocità determinando così un coinvolgimento di tutti i gruppi muscolari, costituendo così uno stimolo sufficiente ad innalzare il metabolismo aerobico (Gobbi et al. 2005).

I ricercatori nell'ambito dello sport hanno monitorato spesso le frequenze cardiache ed i valori di lattato ematico per valutare l'impegno metabolico di un'attività fisica (Bot & Hollander, 2000; Brooks, 1991; Hofman et al. 2001), come gli sport motoristici (Ceccarelli, 1999; D'Artibale et al. 2007; Gobbi et al. 2005; Jacobs & Olvey, 2000; Jacobs et al. 2002).

La frequenza cardiaca massima valutata nelle competizioni di enduro si è mostrata generalmente più bassa (20 – 50% del massimo teorico) rispetto a quella rilevata nelle gare di motocross. Essa tendeva ad aumentare nei tratti maggiormente impegnativi della pista ma solo per pochi minuti. La concentrazione di lattato ematico è significativamente inferiore nelle gare di enduro rispetto a quelle di motocross (intorno ai $5-8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) (Gobbi et al. 2005).

Recentemente, il carico cardiaco durante gare motoristiche femminili ufficiali su strada è stato misurato utilizzando il monitoraggio della frequenza cardiaca che fornisce continuamente dati affidabili, ma non viola le regole del motociclismo su strada, non interferisce con il

sistema elettronico della moto e non causa nessun disagio al pilota (D'Artibale et al. 2007). Questo studio ha mostrato che il motociclismo femminile su strada induce un elevato sforzo fisico e mentale (l'83% del tempo di gara viene mantenuta una frequenza cardiaca sopra il 90% della massima frequenza cardiaca del pilota e i valori di picco di lattato ematico alla fine della gara sopra i $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) per avere il controllo della moto a velocità elevate. In linea con la maggioranza della letteratura recente sugli sport motoristici (Ceccarelli, 1999; Gobbi et al. 2005; Jacobs et al. 2002; Jutley, 2003; Klarica, 2001; Tzopanakis & Tzopanakis, 1998), le frequenze cardiache elevate vengono attribuite all'intensa richiesta fisica della guida ad alta velocità piuttosto che all'aumentata attività del sistema nervoso simpatico, precedentemente supposto da Schwabergger (1987).

Il differente andamento tra le risposte di frequenza cardiaca e di VO_2 potrebbe essere spiegato dall'attività muscolare isometrica e intermittente (Diotto-Gerrard & Gerard, 1999; Sheel et al. 2003; Von Lehmann et al. 1982) e/o ad un'elevata *arousal* (Collins et al. 1993; Odaglia & Magnano 1979; Von Lehmann et al. 1982) durante la gara ad elevate velocità in terreni accidentati e instabili.

Si può affermare che la disciplina motoristica dell'enduro sia un'attività di potenza aerobica, la quale alternando fasi di velocità come il motocross e resistenza su distanze più lunghe come il rally dovrà in fase di allenamento tener conto di queste sue peculiarità (Gobbi et al. 2005).

PRINCIPI DI EMODINAMICA E AGGIUSTAMENTI CARDIOVASCOLARI DURANTE L'ESERCIZIO FISICO

Durante l'esercizio fisico l'omeostasi cardiovascolare viene alterata dagli aggiustamenti circolatori che hanno la funzione di far aumentare il flusso sanguigno nei muscoli attivi per garantire un sufficiente apporto di ossigeno e nutrienti. La disponibilità di ossigeno dipende da:

- concentrazione dell'emoglobina
- saturazione di ossigeno dell'emoglobina
- portata cardiaca

I primi due fattori si possono ritenere costanti al livello del mare, pertanto la variabile principale che influisce sulla disponibilità di ossigeno a livello muscolare è la portata cardiaca.

Secondo la formula:

“Portata cardiaca = Gittata sistolica x Frequenza cardiaca” è facile intuire che essa dipende da modulatori emodinamici (gittata sistolica: SV) e da modulatori cronotropi (frequenza cardiaca: HR).

La frequenza cardiaca dipende dall'attività del sistema nervoso autonomo e più precisamente dal bilancio tra l'attività ortosimpatica (che svolge un effetto cronotropo positivo) e l'attività parasimpatica (che svolge un effetto cronotropo negativo).

In soggetti particolarmente emotivi e nei ragazzi è comune un incremento di questa anche prima dell'inizio dell'esercizio, generato da fattori emozionali.

Oltre alla componente emotiva anche l'elevata umidità dell'ambiente e l'elevata temperatura possono incrementare la frequenza cardiaca nel senso di un aumento a parità di dispendio energetico.

Questo aumento determina un aumento anche della gittata cardiaca, dipendente a sua volta dall'incremento della quantità di flusso ematico nel distretto cutaneo, necessario ai fini di una più elevata termodispersione.

Il flusso sanguigno a riposo è per la maggior parte diretto ai visceri addominali, fegato, milza, reni e cervello.

Durante il lavoro muscolare il flusso del sangue nei muscoli aumenta in proporzione all'aumento della richiesta energetica, anche se ciò è comunque influenzato dal tipo di esercizio eseguito, dalle condizioni ambientali e dallo stato di affaticamento. Ciò avviene attraverso due meccanismi: una regolazione distrettuale del flusso che dirige il sangue preferibilmente nei muscoli che lavorano e un aumento della gittata cardiaca. Quest'ultima aumenta rapidamente durante il passaggio da una condizione di riposo a quella di esercizio a carico costante. Successivamente la crescita è graduale fino a raggiungere un plateau nel momento in cui il flusso sanguigno risulta sufficiente a coprire le richieste metaboliche dei tessuti in attività.

Il volume di eiezione sistolica dipende da:

- ritorno venoso (precarico)
- contrattilità miocardica
- resistenze vascolari periferiche (postcarico)

Normalmente, un incremento della domanda di potenza richiesta ai muscoli comporta degli aggiustamenti emodinamici che causano un aumento del ritorno venoso (o del precarico ventricolare), della contrattilità miocardica e una riduzione delle resistenze vascolari periferiche (o postcarico ventricolare); questi fattori tutti assieme producono un aumento del volume di eiezione sistolica. Allo stesso tempo il bilancio simpato-vagale che modula l'attività del nodo del seno atriale viene spostato verso la componente simpatica facendo aumentare la frequenza cardiaca. In questo modo l'incremento di SV e HR produce un aumento della portata cardiaca con conseguente adeguamento della nuova domanda di ossigeno verso il muscolo in attività.

Esiste inoltre una “regolazione metabolica” del sistema cardiovascolare; durante l’esercizio fisico vengono prodotti metaboliti come acido lattico, adenosina, fosfato, chinina e cationi. Queste sostanze si accumulano con l’aumentare dello stress e scatenano la risposta dei metaboriflessi muscolari. Il metaboriflesso è quindi la risposta emodinamica (aumento di pressione arteriosa) dovuta all’attivazione dei metaborecettori muscolari (terminazioni nervose libere di III e IV tipo) scatenata dai prodotti finali del metabolismo muscolare. L’attivazione dei metaboriflessi muscolari può modulare quindi, le resistenze vascolari periferiche, contrattilità miocardica, ritorno venoso e precarico cardiaco.

Inoltre il centro cardiovascolare riceve afferenze sensitive dai recettori periferici (chemocettori e meccanocettori) situati in prossimità dei vasi sanguigni, delle articolazioni e dei muscoli. Queste afferenze sono in grado di monitorare lo stato chimico-fisico del sangue e dei muscoli utilizzati durante un lavoro, modificando in via riflessa (feedback) sia il sistema parasimpatico (nervi vaghi) che quello ortosimpatico per adattare la risposta cardiaca e respiratoria alle varie intensità di esercizio. I meccanismi che controllano costantemente la natura, l’intensità dell’esercizio e la massa dei muscoli coinvolti sono:

- lo stimolo riflesso indotto dalla deformazione meccanica delle fibre afferenti di tipo III presenti all’interno dei muscoli;
- la stimolazione chimica delle fibre afferenti di tipo IV all’interno dei muscoli
- la stimolazione delle aree motorie a livello centrale

La componente afferente dei meccanocettori è importante per la regolazione del flusso e della pressione del sangue nel corso di un esercizio. Esistono infatti dei recettori sensibili alle variazioni di pressione (barocettori) situati a livello dell’arco aortico e del seno carotideo e altri meccanocettori che controllano l’attività meccanica del ventricolo sinistro, dell’atrio destro e delle grosse vene. Questi recettori agiscono a feedback negativo inibendo l’attività ortosimpatica del centro cardiovascolare e “smussando” l’aumento della pressione arteriosa. Quando la pressione aumenta, lo stiramento delle pareti arteriose attiva i barocettori che

rallentano per via riflessa la frequenza cardiaca e abbassano le resistenze periferiche (vasodilatazione).

La risposta emodinamica all'esercizio e l'integrazione della variazione delle variabili sopra elencate varia in funzione del tipo di esercizio (isometrico o isotonico) della sua intensità e della durata; ma anche in relazione alla posizione del corpo, all'età e al sesso.

Durante l'esercizio isometrico si osserva un aumento della pressione arteriosa media dovuto all'aumento sia della pressione sistolica che di quella diastolica per garantire il flusso sanguigno ai muscoli in contrazione che in queste condizioni di lavoro muscolare comprimono le arterie riducendo la perfusione muscolare e aumentando le resistenze periferiche. La perfusione muscolare viene garantita dall'attività del sistema nervoso simpatico che stimola l'aumento della HR per compensare il mancato incremento del volume di eiezione sistolica e mantenere un adeguata portata cardiaca. Il mancato incremento del SV è dovuto ad una diminuzione del ritorno venoso e della contrattilità miocardica e all'aumento del postcarico ventricolare (elevata pressione diastolica dovuta alla compressione dei vasi dei muscoli attivi). Inoltre durante lavoro isometrico si ha un decremento dell'efficienza meccanica del cuore dovuta all'elevato consumo di ossigeno del miocardio (Lavoro Cardiaco = HR x Pressione Arteriosa).

Durante l'esercizio dinamico l'incremento della portata cardiaca si ottiene grazie all'intervento dei modulatori emodinamici e cronotropi. Infatti si osserva un incremento della HR e del volume di eiezione sistolica. Il volume di eiezione sistolica incrementa poiché aumenta il ritorno venoso (con conseguente aumento del volume di fine diastole), la contrattilità miocardica e diminuiscono le resistenze vascolari periferiche.

Data la relazione: "Pressione Arteriosa Media = Resistenze Vascolari Periferiche x Gittata Cardiaca" è possibile affermare che per mantenere la pressione arteriosa media per garantire la pressione di perfusione nei muscoli che lavorano oltre all'incremento della portata cardiaca è necessario modulare l'attività delle resistenze vascolari periferiche.

L'esercizio induce un generale incremento del tono simpatico, il quale porta ad una vasocostrizione α – mediata di tutti i distretti vascolari. La vasocostrizione α – mediata nei muscoli che lavorano è inibita da agenti e cataboliti muscolari (adenosina, prostaglandine, trombossani, ecc.) che interferiscono nella giunzione neuro effettrice simpatica della muscolatura liscia vascolare riducendo l'uscita del neurotrasmettitore e inibendo i recettori post sinaptici. I recettori α esistono di due sottotipi: α_1 che sono localizzati nelle arterie in entrata e uscita dal muscolo e non vengono inibiti dai cataboliti muscolari; α_2 che sono localizzati nelle arterie di nutrimento intramuscolari e vengono inibiti dai cataboliti muscolari operando un controllo della perfusione tissutale. Grazie a questo meccanismo si ottiene una vasodilatazione intramuscolare per assicurare un adeguato flusso di sangue e una vasocostrizione extramuscolare per sostenere la pressione arteriosa media (simpatolisi funzionale).

La contrattilità miocardica dipende dal rilascio di noradrenalina dai nervi simpatici che agisce sui recettori β_1 presenti nel tessuto miocardico. Durante l'esercizio l'ipertono simpatico nel cuore stimolando i recettori β_1 nel tessuto miocardico produce aumenti sia della HR (attivando il nodo del seno atriale) e la contrattilità miocardica, in questo modo l'aumento della contrattilità miocardica fa aumentare la frazione di eiezione ventricolare nonostante l'aumento della HR e la conseguente riduzione del tempo di diastole.

Inoltre la contrattilità miocardica è modulata dai metaboriflessi muscolari.

Al contrario di quanto accade durante esercizi caratterizzati da contrazioni isometriche, nell'esercizio isotonico esiste un incremento del ritorno venoso. I fattori che influenzano il ritorno venoso sono:

- la contrazione muscolare che comprime le vene che riportano il sangue al cuore (pompa muscolare o "cuore periferico").
- le variazioni pressorie della cavità addominale o in quella toracica nel corso della respirazione (pompa respiratoria).
- l'innervazione ortosimpatica delle vene.

La pompa muscolare è la denominazione data alle contrazioni del muscolo scheletrico che comprimono le vene (in modo particolare quelle delle gambe) producendo un'azione di spremitura che spinge il sangue verso il cuore. Durante l'esercizio fisico che coinvolge le estremità inferiori, la pompa muscolare favorisce il flusso di sangue verso il cuore. La pompa respiratoria è generata dal movimento del torace durante l'inspirazione. Quando la gabbia toracica si espande e il diaframma si abbassa verso la cavità addominale, la cavità toracica si allarga e pertanto sviluppa una pressione sub atmosferica. Questa bassa pressione intratoracica determina una riduzione di pressione nella vena cava inferiore al suo ingresso nel torace favorendo così il richiamo di sangue dalle vene addominali. La pompa respiratoria viene agevolata dalla pressione esercitata sull'esterno delle vene addominali quando i visceri dell'addome sono compressi durante l'inspirazione. La combinazione dell'aumento della pressione nelle vene addominali e della diminuzione della pressione nelle vene toraciche incrementa il ritorno venoso durante l'inspirazione. Il restringimento delle vene determinato dall'attività ortosimpatica permette all'organismo di ridistribuire il sangue dal versante venoso a quello arterioso della circolazione. L'incremento del ritorno venoso produce l'aumento del volume telediastolico che secondo la legge di Frank-Starling porta ad un incremento della gittata sistolica. Questo accade perché la forza generata dalla contrazione del miocardio è direttamente correlata alla lunghezza del sarcomero: quando questa aumenta (fino ad una lunghezza ottimale) anche la tensione prodotta aumenta.

SCOPO DELLO STUDIO

Nonostante le prestazioni nel motociclismo dipendano fortemente dalle caratteristiche delle moto e dalle capacità dei piloti, sono disponibili poche informazioni sul profilo fisiologico dei piloti (D'Artibale et al., 2007; Gobbi et al., 2005), che si sottopongono ad un carico fisico considerevole quando accelerano, decelerano rapidamente e tentano di controllare la distribuzione del peso sulla moto in differenti condizioni di guida, cioè nel momento in cui si affrontano rettilinei e curve.

Gli studi di valutazione funzionale applicati agli sport motoristici, sia a livello nazionale che internazionale, sono per la maggior parte rivolti allo studio della prevenzione di traumi e di tecniche di pronto soccorso durante le gare.

La ricerca sui piloti dovrebbe superare diversi problemi (D'Artibale et al. 2007). In primo luogo, l'atmosfera "frenetica" della competizione non promuove la cooperazione tra i piloti e il controllo delle variabili che potrebbero influenzare la raccolta dei dati. In secondo luogo, le norme di sicurezza di questi sport indicano al pilota ciò che gli è permesso di indossare e quando e dove è consentito al ricercatore l'accesso al pilota. Infine, è obbligatorio che le apparecchiature scientifiche non infrangano le norme di sicurezza dello sport, non influenzino la performance del pilota e non interferiscano con il sistema elettronico di controllo della moto.

L'evoluzione sempre più esasperata del mezzo ha portato il pilota a soddisfare più elevate richieste di impegno fisico (specie muscolari e cardiache, anche se non metaboliche).

I rilievi di costo energetico effettuati durante gare di sport motoristici confermano che l'impegno metabolico nel pilotaggio è modesto (Dal Monte et al. 1992; Duforez e Portero, 1991). Inoltre è interessante notare come siano stati spesso riportati rilievi di frequenza cardiaca molto più alti di quanto ipotizzabile dai dati di costo energetico (Dal Monte et al., 1983).

Ciò è spiegabile se si considera che il coinvolgimento dell'apparato cardiocircolatorio è tanto maggiore quanto più elevato è il grado di stress psico fisico cui il pilota è sottoposto. Ciò è

dovuto più a fattori emozionali che a fattori legati al dispendio energetico dell'esercizio, ma si riflette, in ogni caso, in un maggiore impegno cardiaco (Dal Monte et al., 1983).

Con questo studio si è inteso verificare se l'impegno cardiaco di un pilota, che in letteratura è stato descritto elevato in termini di frequenza cardiaca, rispecchia un impegno cardiaco a livello globale (rappresentato dall'emodinamica) oppure se la risposta cronotropa positiva è dovuta esclusivamente a fattori emozionali.

Attraverso lo studio dell'emodinamica durante una prova di enduro si è voluto verificare se, in seguito all'attivazione dei modulatori emodinamici a livello periferico (meccanoriflessi, metaboriflessi) e a livello centrale (central command) ci sia (oltre ad un'elevata risposta cronotropa) anche un incremento della contrattilità miocardica e del ritorno venoso simpato-mediato.

MATERIALI E METODI

Soggetti

Hanno partecipato allo studio 15 soggetti di sesso maschile, tutti praticanti enduro a livello regionale. Le caratteristiche antropometriche degli atleti sono riportate nella Tabella 1. Ottenuto da ciascuno il consenso informato riguardante eventuali rischi connessi alla ricerca, gli atleti sono stati sottoposti ad una visita medica approfondita da parte dei sanitari specialisti in medicina dello sport del Laboratorio di Fisiologia degli Sport dell'Università di Cagliari, e sono stati ritenuti idonei alla partecipazione dei test previsti dal protocollo sperimentale.

Valutazione dei parametri emodinamici

Le variabili cardiodinamiche durante tutti i test sono state misurate utilizzando un cardiografo ad impedenza portatile (New Core, 2C Technologies, Cagliari, Italy), una metodologia utilizzata per la misura dei parametri emodinamici sia in soggetti a riposo sia durante esercizio (Belardinelli et al. 1996, Charloux et al. 2000, Crisafulli et al. 2003a, 2011, Richard et al. 2001). Lo strumento è stato validato effettuando una comparazione con un cardiografo ad impedenza precedentemente validato dalla letteratura scientifica (NCCOM 3, BoMed Inc., Irvine CA) (Concu and Marcello 1993; Moore et al. 1992).

L'apparecchio rileva battito per battito le variazioni dell'impedenza elettrica transtoracica dovuta al passaggio di una corrente elettrica alternata (70 kHz) e ad intensità costante (2,5 mA), attraverso elettrodi monouso del tipo elettrocardiografico (Figura 1). L'apparecchio è in grado di registrare in una scheda di memoria i tracciati dell'impedenza e dell'elettrocardiogramma (ECG) che vengono poi analizzati tramite software (ADInstruments, PowerLab 8sp, Castle Hill, Australia) ed utilizzati per calcolare i parametri emodinamici necessari, sia durante la fase di riposo che durante l'esercizio. Il metodo dell'impedenza fornisce dati attendibili riguardo la quantità di fluidi presenti a livello toracico (TFI), il tempo di eiezione del ventricolo sinistro (VET), la gittata sistolica (SV), la frequenza cardiaca (HR) e la gittata cardiaca (CO). Questa tecnica si basa sul principio per cui quando una corrente elettrica attraversa il torace, la pulsatilità del flusso aortico causa una variazione proporzionale della conduttività elettrica nel torace stesso. Basandoci su ciò, i cambiamenti dell'impedenza elettrica a livello toracico durante la sistole sono rappresentativi della gittata sistolica (SV) (Warburton et al. 1999). Al fine di utilizzare il metodo dell'impedenza cardiaca nell'enduro è stato utilizzato un device con le stesse funzioni, ma portatile (New Core, 2C Technologies Inc., Cagliari, Italy).

L'indice di impedenza toracica (Z_0) è inversamente proporzionale alla quantità di fluidi presenti nel torace, così una riduzione dei suoi valori rappresenta un aumento dei volumi di sangue a livello centrale, mentre un aumento nei valori di Z_0 si ha in seguito a una riduzione

di sangue a livello centrale, per esempio in seguito a un sequestro dello stesso a livello periferico. (Carter et al. 1999; Crisafulli et al. 2006; Ebert et al. 1986).

Pertanto le modifiche di Z_0 rappresentano un indice indiretto delle variazioni dei volumi di sangue a livello centrale.

L'equazione di Sramek-Bernstein (Bernstein, 1986) è stata utilizzata per calcolare la gittata sistolica battito per battito dalle tracce di impedenza toracica raccolte. Il tempo di pre-eiezione (PEP) e il tempo di eiezione ventricolare (VET), sono calcolati anch'essi sulle tracce di impedenza, come mostrato in letteratura (Crisafulli et al. 2003; Crisafulli et al. 2006; Crisafulli et al. 2007; Crisafulli et al. 2011).

Il rapporto SV/VET rappresenta il flusso medio sistolico è un indice di performance miocardica. La frequenza cardiaca è calcolata come il reciproco dell'intervallo R-R dell'elettrocardiogramma, e la gittata cardiaca è calcolata moltiplicando $SV \cdot HR$. Inoltre il tempo diastolico (DT) è ottenuto sottraendo dal ciclo cardiaco totale la somma del PEP e del VET. Dal rapporto di SV e DT si ottiene infine la frazione di riempimento ventricolare (VFR), che è la misura della frazione media di flusso diastolico (Crisafulli et al. 2003; Crisafulli et al. 2009; Gledhill et al. 1994)

Misurazione del lattato ematico

I valori della concentrazione del lattato ematico sono stati misurati mediante l'utilizzo di un analizzatore amperometrico: Arkray Lactate Pro LT 1710 (Figura 2). Con questo tipo di analizzatore il dosaggio avviene misurando la differenza di potenziale che si realizza tra due elettrodi posti ai due estremi in una cella di lettura. Normalmente la reazione avviene con enzimi elettrochimicamente attivi che producono elettroni in qualche modo proporzionali alla concentrazione di lattato: un elettrodo, usualmente al platino, raccoglie gli elettroni risultanti dalla reazione e permette la misura di una corrente proporzionale alla concentrazione di lattato.

PROTOCOLLO SPERIMENTALE

La sessione sperimentale si è svolta in differenti giornate. Le misurazioni effettive sono state precedute da alcune sessioni di prova che prevedevano il montaggio dell'apparecchiatura compresa di imbragatura adatta ad assicurare la stabilità durante la prova e ad attutire eventuali movimenti improvvisi dovuti all'irregolarità del percorso; inoltre è stato verificato il funzionamento dello strumento durante una tipologia di esercizio che prevede movimenti bruschi e improvvisi dell'atleta, vibrazioni dovute al mezzo e sobbalzi causati dal tipo di fondo stradale che caratterizza queste gare motoristiche. Assodata la realizzabilità dello studio si è proceduto con la pianificazione del protocollo sperimentale. I test sono stati condotti nella pista del Moto Club San Giorgio di Perdasdefogu (Figura 3); ogni atleta prima di realizzare la prova eseguiva due giri della pista con la propria moto per conoscere il tracciato. Prima dell'esperimento gli atleti sono stati istruiti sulle modalità del test da compiere, sulla velocità da seguire, sui tempi di percorrenza e sulle modalità di recupero. Gli atleti sono stati seguiti costantemente durante tutto il test per la verifica dei parametri funzionali .

Protocollo di simulazione su pista per la valutazione dei parametri emodinamici.

- Misurazioni pre-test:

Per poter effettuare le misure emodinamiche venivano posizionati degli elettrodi monouso di tipo elettrocardiografico a livello del torace e del collo del pilota, i quali venivano successivamente collegati ad un cardiografo ad impedenza portatile. Per assicurare la stabilità durante le prove lo strumento è stato opportunamente fissato sulla tuta del pilota (Figura 4). Il protocollo sperimentale prevedeva la misurazione dei seguenti parametri prima dell'inizio della prova in pista:

- Pressione Arteriosa tramite sfigmomanometro standard
- Lattato Ematico
- Variabili Cardiodinamiche (HR, SV, CO, TFI, PEP, EVI, VET, DT, SV/DT, SV/VET, SVR)
- Misurazioni durante l'esercizio

Il protocollo utilizzato per la valutazione dei parametri emodinamici durante le prove su pista prevedeva lo svolgimento di una prova della durata di 10 minuti, svolti alla massima velocità.

Dopo le misurazioni nel pre-test, eseguite sull'atleta seduto, la registrazione delle variabili cardiodinamiche durante l'esercizio ha inizio nel momento in cui il pilota si posiziona sulla moto ed esegue una simulazione di gara in pista con restrizioni di tempo.

- Misurazioni nel recupero

Al termine della prova in pista, l'atleta veniva fatto sedere e nell'immediato venivano prese le seguenti misure:

- Pressione Arteriosa
- Lattato Ematico
- Variabili Cardiodinamiche

ANALISI DEI DATI

L'analisi dei dati è stata eseguita leggendo le tracce analogiche precedentemente registrate escludendo, attraverso un controllo visivo, gli artefatti dovuti ai movimenti ed alla respirazione (Figura 5). Dalla traccia elettrocardiografica è stata calcolata la frequenza cardiaca; inoltre essa serve come marker per l'inizio della sistole cardiaca. La derivata prima dell'impedenza permette di ricavare il momento di apertura della valvola aortica (inizio dell'ascesa nella traccia dZ/dT) ed indirettamente il periodo di pre-eiezione ventricolare (PEP), calcolato come il periodo che intercorre tra l'inizio del complesso QRS dell'ECG e l'inizio dell'ascesa nella traccia dZ/dT . È inoltre possibile calcolare l'indice impedenziometrico della velocità di eiezione sistolica (EVI), ottenuto come massima escursione nella derivata prima di Z_0 ($EVI = dZ/dt_{max}$). Infine il tempo di eiezione ventricolare (VET) è stato ottenuto misurando l'intervallo di tempo che intercorreva tra l'inizio dell'ascesa nella traccia dZ/dT ed il suo punto di minimo. La gittata sistolica (SV) è stata calcolata attraverso l'equazione di Sramek-Bernstein (Bernstein 1986): $SV = (L^3 \cdot 4.25 \cdot Z_0^{-1}) \cdot (EVI) \cdot (VET)$; dove L è la distanza che separa gli elettrodi rilevatori posti sul torace. La HR è stata calcolata come il reciproco dell'intervallo R-R nella traccia ECG e la gittata cardiaca (CO) è stata ottenuta moltiplicando $SV \cdot HR$.

Per il calcolo della MBP è stata utilizzata la seguente formula:

$$MBP = [SBP + 2(DBP)/3]$$

Le resistenze vascolari sistemiche (SVR) sono state calcolate dividendo la MBP per la CO e moltiplicando per 80.

I valori medi \pm DS delle suddette variabili analizzate nel Baseline, Exercise e Recovery sono stati utilizzati per il calcolo statistico.

L'analisi delle differenze dei parametri registrati nelle tre fasi è stata condotta mediante ANOVA a una via. La significatività statistica è stata fissata per un valore di $p < 0.05$ in tutti i casi. L'analisi delle variazioni del lattato ematico nel Baseline e nel Recovery è stata effettuata mediante t-test per dati appaiati. La significatività statistica è stata assunta per $p < 0.05$.

RISULTATI

La frequenza cardiaca (**HR**) media misurata al Baseline era di $96,56 \pm 12,83$ bpm, $153,07 \pm 17,74$ e $118,54 \pm 17,48$ bpm rispettivamente nell'Exercise e nel Recovery con una differenza significativa nella comparazione fra le tre fasi del test (**Grafico 1**).

Il volume di eiezione sistolica (**SV**) medio misurato al Baseline è stato di $53,5 \pm 14,12$ mL; $72,28 \pm 22,18$ mL nell'Exercise e $48,86 \pm 15,73$ mL nel Recovery. La significatività statistica si è ottenuta nel Baseline vs Exercise e nell'Exercise vs Recovery (**Grafico 2**).

I valori di **CO** misurati al Baseline erano in media di $5071,07 \pm 1135,09$ mL•min⁻¹. È stato raggiunto il valore medio di $10909,7 \pm 3022,86$ mL•min⁻¹ nell'Exercise e si è riportata nel Recovery a $5731,71 \pm 1971,36$ mL•min⁻¹. L'analisi statistica ha evidenziato variazioni significative nel Baseline vs Exercise e nell'Exercise vs Recovery (**Grafico 3**).

La **MBP** misurata al Baseline era di $92,22 \pm 6,29$ mmHg, $103,44 \pm 8,72$ e $96,22 \pm 6,77$ mmHg rispettivamente nell'Exercise e nel Recovery. L'analisi statistica ha rivelato differenze significative nelle fasi Baseline vs Exercise e nell'Exercise vs Recovery (**Grafico 4**).

La **SBP** media misurata al Baseline è stata di $124,67 \pm 9,35$ mmHg; $160,33 \pm 15,75$ mmHg nell'Exercise e $138,67 \pm 9,90$ mmHg nel Recovery. È stata ottenuta una differenza significativa nella comparazione fra le tre fasi del test (**Grafico 5**).

La **DBP** misurata al Baseline era in media di $76 \pm 7,12$ mmHg. Nell'Exercise il suo valore medio era di $75 \pm 10,18$ mmHg, nel Recovery $75 \pm 7,32$ mmHg. La statistica non ha evidenziato nessuna differenza significativa (**Grafico 6**).

Il **PEP** misurato nelle tre fasi del test era al Baseline: $0,11 \pm 0,012$ s; Exercise: $0,084 \pm 0,013$ s; Recovery: $0,094 \pm 0,009$ s. La significatività statistica è stata ottenuta nella comparazione fra tutte le fasi (**Grafico 7**).

L'EVI ha mostrato i seguenti risultati: Baseline: $1,10 \pm 0,21$; Exercise: $1,77 \pm 0,27$; Recovery: $1,24 \pm 0,19$. L'analisi statistica ha rivelato variazioni significative nelle fasi Baseline vs Exercise e nell'Exercise vs Recovery (**Grafico 8**).

Il VET misurato al Baseline è stato di $0,28 \pm 0,034$ s, $0,22 \pm 0,03$ s e $0,22 \pm 0,03$ s rispettivamente nell'Exercise e nel Recovery. La statistica ha riportato variazioni significative nelle fasi Baseline vs Exercise e nel Baseline vs Recovery (**Grafico 9**).

Il TFI misurato nelle tre fasi del test era: Baseline: $39,22 \pm 8,63$; Exercise: $39,16 \pm 8,6$; Recovery: $39,12 \pm 8,56$. La statistica non ha evidenziato nessuna differenza significativa (**Grafico 10**).

Il DT medio misurato al Baseline era di $0,25 \pm 0,052$ s, $0,09 \pm 0,04$ s e $0,21 \pm 0,08$ s rispettivamente nell'Exercise e nel Recovery. L'analisi statistica ha mostrato variazioni significative nelle fasi Baseline vs Exercise e nell'Exercise vs Recovery (**Grafico 11**).

Il **Grafico 12** mostra l'andamento del rapporto SV/DT. Al Baseline era di $220,86 \pm 58,6$ mL•s⁻¹ nell'Exercise di $849,12 \pm 309,76$ mL•s⁻¹ e nel Recovery di $277,42 \pm 174,34$ mL•s⁻¹. L'analisi statistica ha evidenziato variazioni significative nelle fasi Baseline vs Exercise e nell'Exercise vs Recovery.

L'indice di contrattilità SV/VET ha mostrato i seguenti risultati: Baseline: $192,9 \pm 43$ mL•s⁻¹; Exercise: $324 \pm 83,66$ mL•s⁻¹; Recovery: $224,56 \pm 58,32$ mL•s⁻¹. La significatività statistica è stata ottenuta nella comparazione fra tutte le fasi (**Grafico 13**).

Le resistenze vascolari periferiche (SVR) medie erano al Baseline di $1517,49 \pm 320,84$ dynes•s•cm⁻⁵, $805,76 \pm 197,39$ dynes•s•cm⁻⁵ nell'Exercise e $1474,62 \pm 471,32$ dynes•s•cm⁻⁵ nel Recovery. L'analisi statistica ha rivelato differenze significative nelle fasi Baseline vs Exercise e nell'Exercise vs Recovery (**Grafico 14**).

Il BLa ha mostrato i seguenti valori nella fase precedente e successiva all'esercizio: Baseline: $2,41 \pm 0,83$ mmol•L⁻¹; Recovery: $6,23 \pm 2,31$ mmol•L⁻¹. La comparazione tra le due fasi ha

evidenziato una variazione statisticamente significativa (**Grafico 15**).

DISCUSSIONE

Esiste ancora un ampio dibattito sul contributo delle risposte fisiologiche e psicologiche associate agli sport motoristici che si svolgono a velocità elevatissime (Jacobs and Olvey, 2000). Infatti, il preciso meccanismo che porta a un elevato impegno cronotropo durante le gare motoristiche è ancora sconosciuto (Jacobs et al. 2002). Alcuni autori hanno ipotizzato che l'elevata frequenza cardiaca è correlata alla richiesta fisica della guida ad alta velocità (Falkner et al. 1972; Jacobs et al. 2000; Lighthall et al. 1994), mentre altri autori mettono in dubbio l'importanza dell'impegno fisico e attribuiscono l'incremento della frequenza cardiaca all'aumento dell'attività nervosa simpatica e a cambiamenti dei livelli ormonali dovuti all'ansia e ad altre risposte emotive (Dawson G., 1979; Schwaberg G., 1987).

Considerata l'elevata velocità richiesta negli sport motoristici e il grande rischio a cui sono sottoposti gli atleti, possiamo includere questo sport tra gli "sport estremi".

Molte attività considerate estreme non coinvolgono direttamente l'apparato cardiocircolatorio per le stimolazioni "fisiche", quanto piuttosto per quelle "psicologiche" legate allo stress per la consapevolezza del rischio a cui si è esposti.

L'innalzamento della frequenza cardiaca potrebbe essere dovuto in effetti, più a stati di tipo emozionale piuttosto che ad un carico di lavoro fisico vero e proprio.

Le discipline di tipo motoristico infatti, sono accompagnate da una forte componente emotiva, che determina particolari coinvolgimenti dei sistemi nervoso ed endocrino, nonché dell'apparato cardiocircolatorio.

Di fronte a un intenso stress "psichico" vi è di solito una risposta cardiaca tachicardica più o meno marcata, in rapporto alla caratteristica costituzionale del soggetto. Le modificazioni cardiocircolatorie dovute alle emozioni sono molto simili a quelle indotte dall'esercizio muscolare, infatti esse possono instaurarsi anche prima dell'inizio dello sforzo e sono determinate da impulsi di origine sovramidollare (probabilmente dalla corteccia cerebrale e dal diencefalo). I valori di HR registrati nel presente studio prima dell'inizio dell'esercizio

evidenziano come esista un'attivazione pre-motoria del sistema nervoso autonomo che stimola un incremento cronotropo indipendente dallo sforzo fisico. Dal punto di vista dell'utilità di tali modificazioni si presume che siano reazioni preparatorie all'esercizio fisico, cioè mettano in grado il soggetto di affrontare una reazione di fuga o preparazione al combattimento di fronte a pericoli imminenti. Gli effetti sono una redistribuzione del flusso sanguigno con aumento dell'apporto ematico alla muscolatura scheletrica (pronta a far fronte al maggior fabbisogno energetico legato alla contrazione muscolare) e diminuzione del flusso cutaneo, renale e splancnico (per recuperare il flusso sanguigno essenziale per l'attività muscolare e cardiaca). Nello stesso tempo tachicardia e aumento della gettata sistolica predispongono il soggetto al successivo sforzo fisico.

I risultati di questo studio ci permettono di quantificare, oltre i valori di frequenza cardiaca, le modificazioni dei parametri cardiovascolari in una simulazione di gara nell'enduro. Come evidenziato nei risultati, si assiste ad un incremento della frequenza cardiaca che risulta essere più elevata ($81,5 \pm 8,2$ % della frequenza cardiaca massima teorica) rispetto a quanto riportato in altri studi sull'enduro (Gobbi et al. 2005), ma raggiunge comunque livelli meno elevati rispetto al motocross (Kontinen T. et al 2007) e al motociclismo su pista (D'Artibale E. et al. 2007; D'Artibale E. et al. 2008). Il maggior impegno cronotropo raggiunto nel nostro protocollo di studio può essere attribuito ad un impegno fisico più elevato rispetto a quello che si raggiunge in gara poiché la simulazione in pista durava in media 10 minuti e il pilota non aveva necessità di "distribuire" lo sforzo all'interno di un lasso di tempo maggiore. Inoltre le numerose sollecitazioni e vibrazioni percepibili e le conseguenti azioni muscolari svolte per "aggiustare" la postura sulla moto stimolano i meccanocettori situati in prossimità delle articolazioni e dei muscoli.

Questi recettori periferici "inviano" afferenze sensitive al centro cardiovascolare che modifica per via riflessa sia il sistema parasimpatico che il sistema ortosimpatico per adattare la risposta cardiaca e respiratoria all'attività fisica. Come già descritto, la componente afferente

dei meccanocettori è importante per la regolazione del flusso e della pressione del sangue nel corso di un esercizio.

Inoltre la HR subisce un'influenza maggiore quando sono coinvolti i distretti muscolari degli arti superiori. Probabilmente esiste una maggior componente nervosa eccitatoria sui centri vasomotori bulbari di origine centrale e una maggior componente periferica proveniente dai recettori dei muscoli degli arti in movimento. Nel caso del lavoro compiuto con le braccia lo sforzo sviluppato dai muscoli normalizzato per la sezione muscolare, è sempre maggiore rispetto a quello sviluppato dai muscoli delle gambe, di conseguenza è anche maggiore la produzione di metaboliti. Questo comporta una maggior stimolazione dei recettori tissutali e quindi un maggior input nervoso afferente ai centri midollari, con conseguente aumento della frequenza cardiaca e della pressione arteriosa (della scarica simpatica).

La CO ha mostrato un significativo incremento (53,5%) in tutti gli atleti. L'aumento della CO viene raggiunto grazie all'incremento della HR e del SV, i quali contrastano la riduzione delle SVR grazie ad un meccanismo di incremento del flusso nei vasi.

La MBP viene mantenuta costante durante l'esercizio dinamico nonostante la caduta delle SVR dovuta alla vasodilatazione indotta dai metaboliti muscolari (Lewis et al. 1983, Miles et al. 1984, Higginbotham et al. 1986, Crisafulli et al. 2006). È quindi evidente che l'incremento della CO misurato nello studio in questione compensa la riduzione delle SVR per tenere costante la MBP e garantire un'adeguata perfusione nei distretti che non sono coinvolti nell'esercizio fisico.

L'incremento della portata cardiaca è sostenuto inoltre dalla venocostrizione simpato-mediata che porta ad un incremento del ritorno venoso (Nobrega et al. 2014).

Questo dato testimonia un elevato impegno cardiovascolare durante la guida in moto che potrebbe essere attribuito a più fattori, poiché i sistemi di regolazione cardiovascolare sono molteplici e in stretta correlazione tra loro.

Le risposte cardiovascolari sono governate da sistemi meccanici e nervosi allo scopo di rispondere alla domanda metabolica dei muscoli in attività.

Il contributo dei differenti meccanismi nell'attività motoristica potrebbe essere influenzato da diverse variabili.

Il pilota di enduro assume una posizione sulla moto che prevede uno sbilanciamento del tronco in avanti, gli arti inferiori estesi o semipiegati con i piedi poggiati sui pedali, la posizione del bacino varia in funzione degli elementi tecnici da svolgere (salti, salite, discese) e controbilancia gli spostamenti della moto, le braccia si posizionano saldamente sul manubrio e in caso di fondo stradale dissestato eseguono dei movimenti di flessione-estensione per attutire le asperità del terreno.

Le caratteristiche della postura e dei movimenti specifici del pilota di enduro comportano una distribuzione del flusso ematico variabile che incide e influenza le variabili cardiodinamiche. Nello specifico si potrebbe pensare ad un'azione differente del "cuore periferico", il quale nelle condizioni sopra descritte non esplica una vera e propria azione di "spremitura" delle vene che riportano il sangue all'atrio destro. Inoltre la posizione del tronco rispetto al bacino fa sì che durante l'inspirazione non vi sia la pressione adeguata per richiamare il sangue venoso verso il cuore.

L'incremento del SV (26%) è garantito, insieme all'attivazione simpatica, dal reclutamento dei sistemi meccanici tipici dell'esercizio dinamico che comprendono un incremento della velocità del flusso medio diastolico. Esso deve essere necessariamente seguito da un incremento del flusso medio sistolico, indicato dal rapporto SV/VET. È riscontrabile un'interazione tra meccanismi nervosi e meccanici che all'unisono sostengono un'adeguata risposta cardiocircolatoria in relazione al tipo di sforzo fisico e alla sua intensità. Durante il lavoro muscolare svolto per governare la moto è emerso un'importante contributo del sistema nervoso simpatico, testimoniato dalla riduzione dei tempi impiegati dal cuore per completare un ciclo cardiaco (PEP, VET, DT). L'incremento della contrattilità miocardica (SV/VET), osservato durante l'esercizio fa sì che nonostante la riduzione dei tempi di diastole e sistole, vi sia un aumento complessivo della CO.

Complessivamente sembrerebbe plausibile l'ipotesi che il contributo dei meccanismi nervosi nell'incremento della portata cardiaca, raggiunto durante l'esercizio per soddisfare le richieste metaboliche, sia preponderante rispetto a quelli meccanici. I parametri cardio dinamici misurati ci permettono di osservare una risposta cardiocircolatoria mediata dall'attivazione massiva del sistema nervoso simpatico. Come già descritto, la biomeccanica del motociclismo potrebbe verosimilmente stimolare i meccanocettori muscolari. Nella regolazione cardiocircolatoria assume rilevante importanza il ruolo del central command, che dalla corteccia motoria invia impulsi al sistema nervoso autonomo attivando il sistema simpatico. Inoltre può ricevere informazioni dai muscoli in attività, determinando l'entità della risposta cardiovascolare.

La condizione metabolica muscolare influenza la risposta cardiocircolatoria attraverso la stimolazione dei metaboriflessi muscolari. Nel nostro studio la misura del lattato ematico non ha portato a risultati dissimili da quelli osservati negli altri studi sugli sport motoristici (D'Artibale et al.2007; D'Artibale et al. 2008; Kontinen et al. 2007), indicando nell'enduro un coinvolgimento del sistema anaerobico. I metaboliti prodotti soprattutto durante l'attività muscolare anaerobica stimolano i metaboriflessi portando ad una modulazione della contrattilità cardiaca (Crisafulli et al.2006).

Di conseguenza si potrebbe ipotizzare un effetto cronotropo e inotropo positivo sul cuore, una modulazione del tono vasomotore nei muscoli attivi, una vasocostrizione a livello dei muscoli inattivi, del distretto splancnico e renale. Il risultato è un incremento della HR e della contrattilità miocardica con conseguente incremento della portata cardiaca; la modulazione della contrattilità vascolare ottimizza il flusso di sangue in tutte quelle aree dove è necessario mantenere un'adeguata pressione di perfusione.

Nel recupero dopo l'esercizio sulla moto svolto in pista, i parametri emodinamici misurati si sono riportati nel range dei valori a riposo ad eccezione della HR, SBP, PEP, VET, SV/VET.

La riduzione del SV nel recupero passivo è dovuta al decremento del pre-carico cardiaco

(Crisafulli et al.2000). La riduzione del ritorno venoso causato dall'assenza dell'attività della pompa muscolare ha portato ad una significativa riduzione del volume di sangue che rientra nell'atrio sinistro. Questo risultato è giustificato dalla significativa variazione dei parametri legati al riempimento diastolico: riduzione del SV/DT e incremento del DT con riduzione della contrattilità miocardica e HR che si è mantenuta a livelli moderatamente elevati. La lunghezza della fase diastolica è di primaria importanza nel riempimento diastolico e la tachicardia limita il riempimento ventricolare (Higginbotham et al.1986).

La statistica ha evidenziato che dopo l'esercizio, le variabili che si sono mostrate significativamente più alte rispetto ai valori nel pre-test sono legate all'attivazione dei meccanismi nervosi. Considerando che il ruolo del Central Command e dei meccanocettori muscolari entra in gioco nella regolazione cardiocircolatoria quando è presente l'attivazione muscolare, il recupero svolto passivamente ci permette di ipotizzare che il mantenimento a valori differenti dal basale a carico delle variabili come HR, SBP e l'indice di contrattilità miocardica (SV/VET) sia probabilmente dovuto all'attivazione dei metaboriflessi muscolari innescati dai metaboliti prodotti dall'intensa attività muscolare. I valori del lattato ematico riscontrati a fine esercizio supportano e avvalorano l'ipotesi di una regolazione a livello periferico dell'attività cardiovascolare. Sembrerebbe che nel motociclismo l'elevato impegno cardiovascolare sia dovuto alla richiesta fisica della guida ad alta velocità e che questo sistema sia regolato a livello periferico e supportato prevalentemente dal contributo del sistema nervoso simpatico.

TABELLE

Atleta	Massa (kg)	Altezza (cm)	Età (anni)	Sesso
AM	63	170	25	M
AC	70	170	21	M
CR	77	180	45	M
FC	90	178	35	M
FC	100	190	27	M
FS	82	185	31	M
MG	75	178	44	M
GC	74	174	42	M
IP	80	171	25	M
LM	74	165	27	M
MC	75	176	27	M
ML	80	176	30	M
MP	65	170	24	M
RM	74	172	49	M
SU	73	177	33	M
MEDIA	76,8	175,47	32,33	
DS	9,18	6,39	8,76	

Tabella 1. Caratteristiche antropometriche degli atleti.

GRAFICI

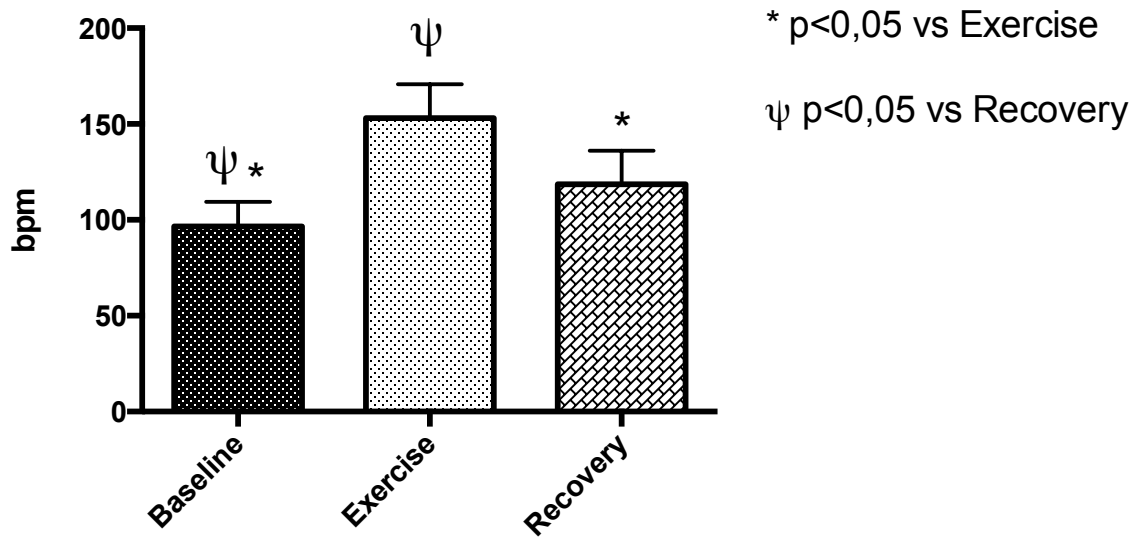


Grafico 1. Frequenza cardiaca (HR) misurata nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

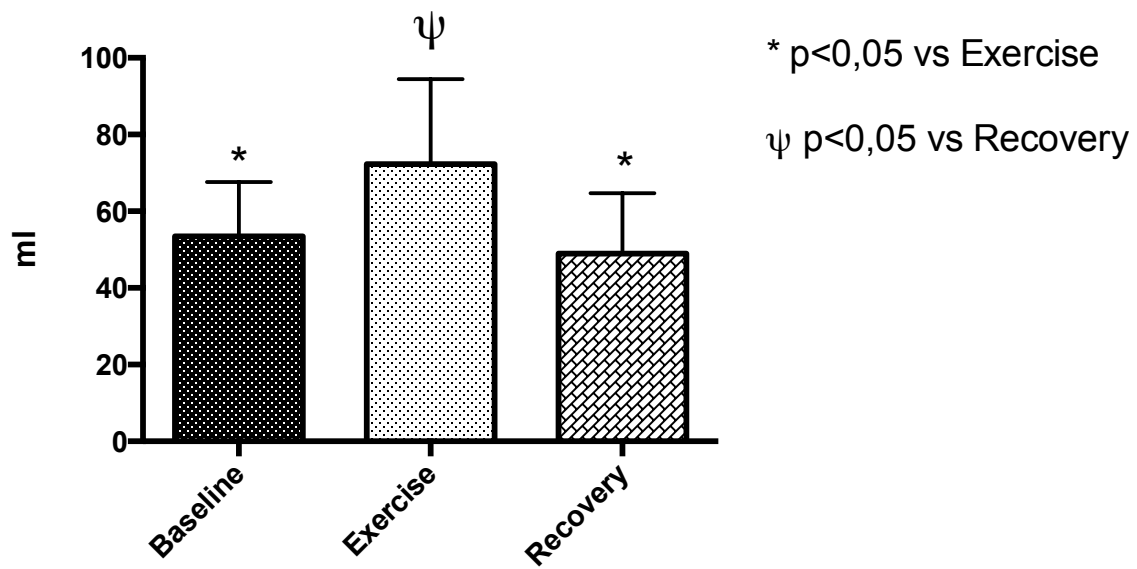


Grafico 2. Gittata sistolica (SV) misurata nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

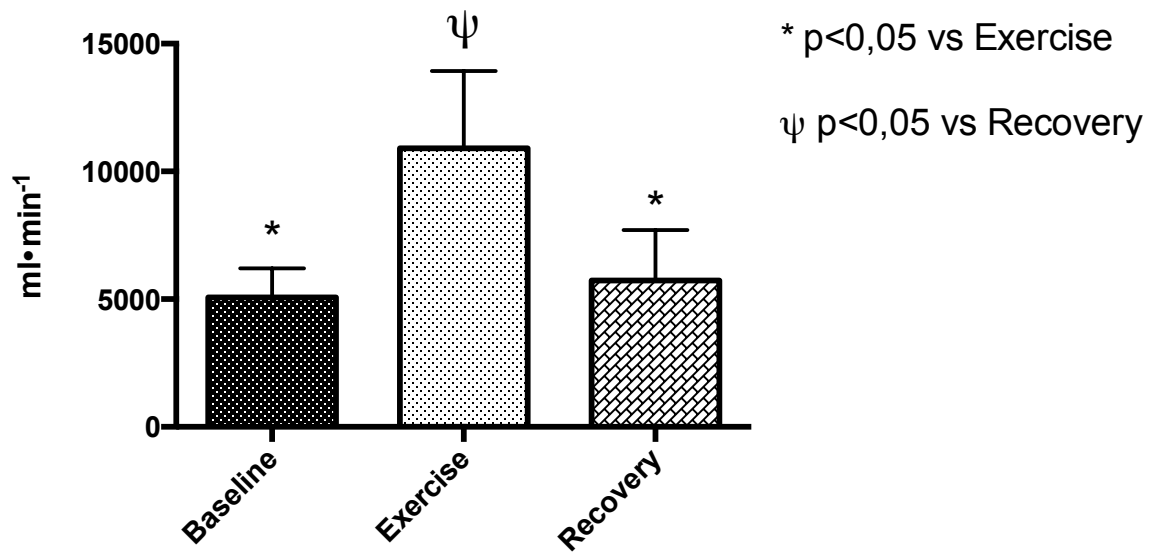


Grafico 3. Gittata cardiaca (CO) misurata nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

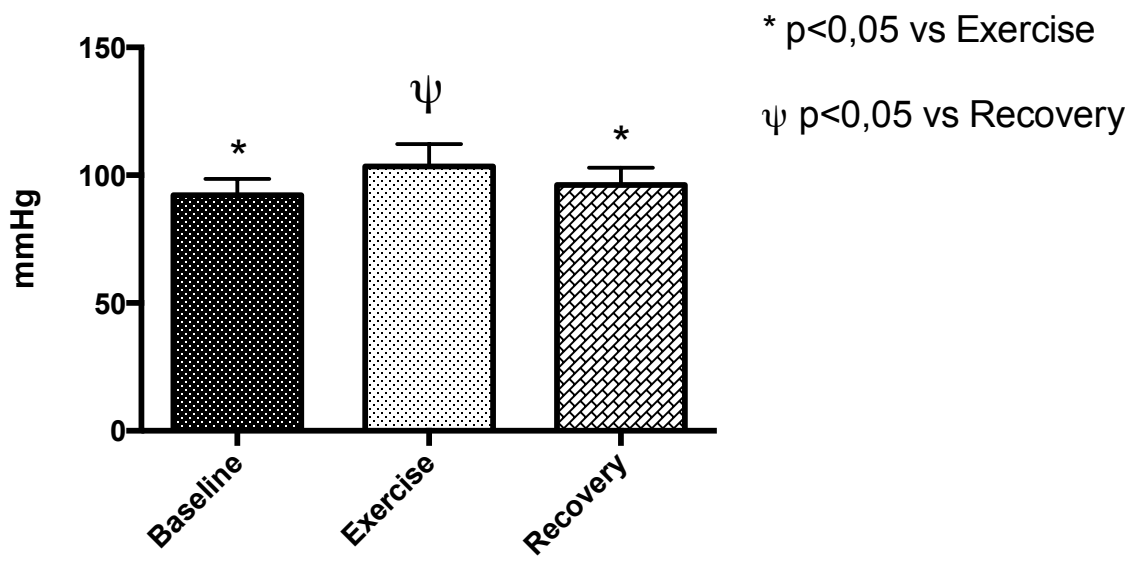


Grafico 4. Pressione arteriosa media (MBP) misurata nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

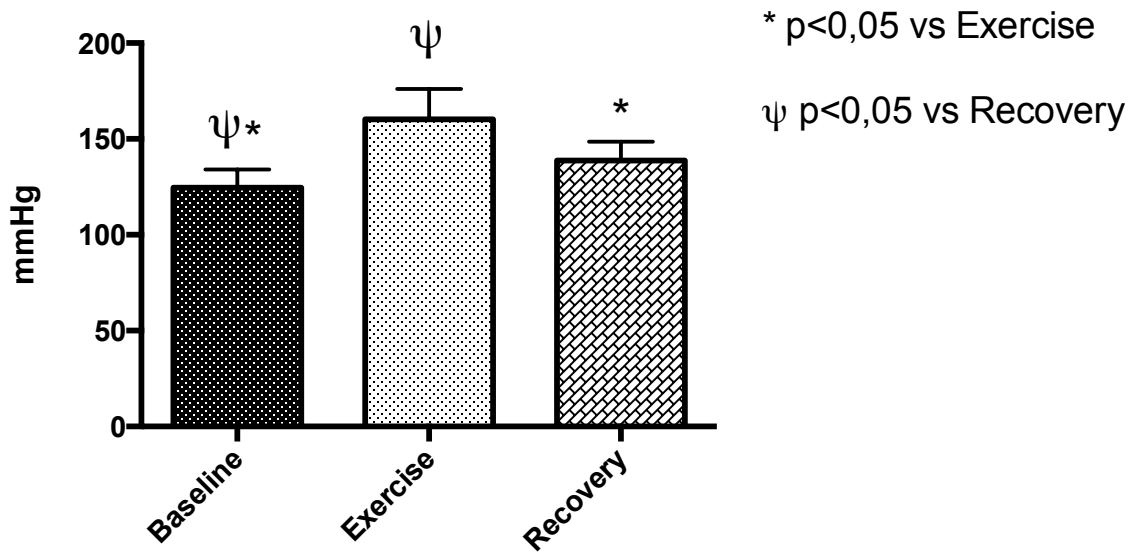


Grafico 5. Pressione arteriosa sistolica (SBP) misurata nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

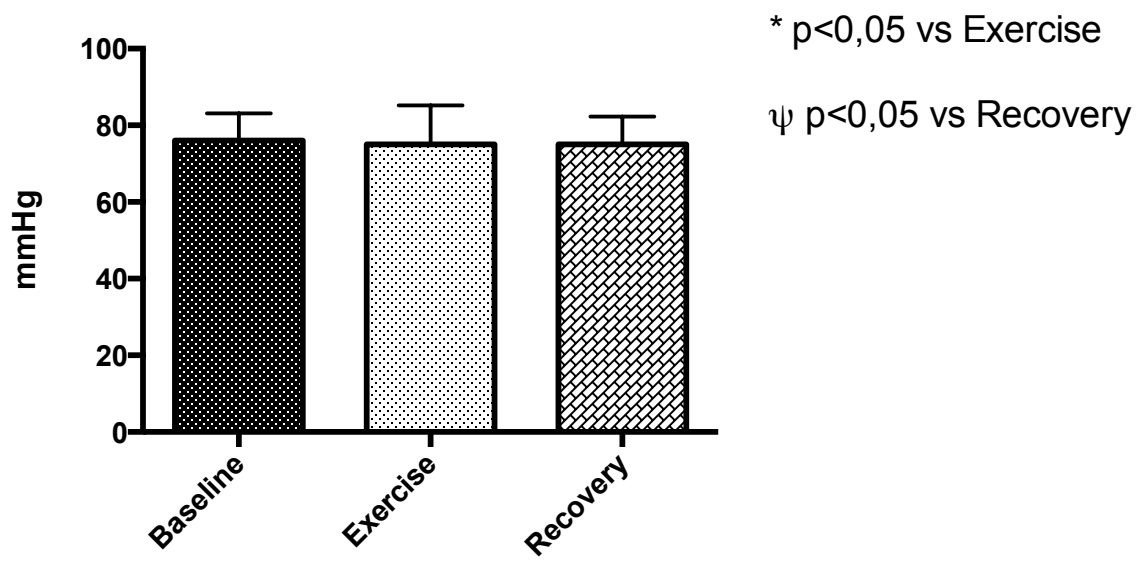


Grafico 6. Pressione arteriosa diastolica (DBP) misurata nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

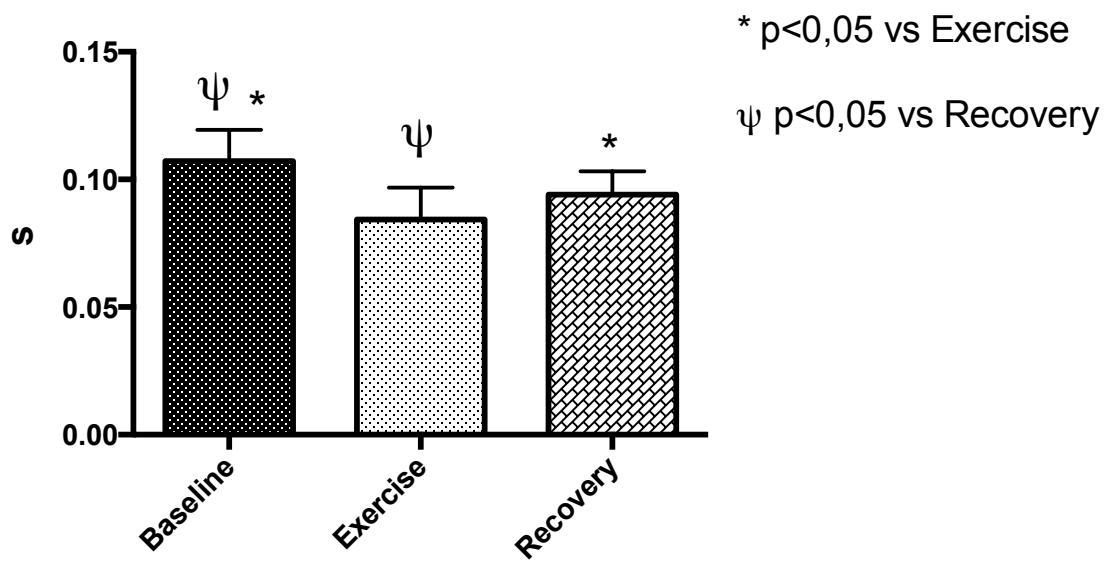


Grafico 7. PEP misurato nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

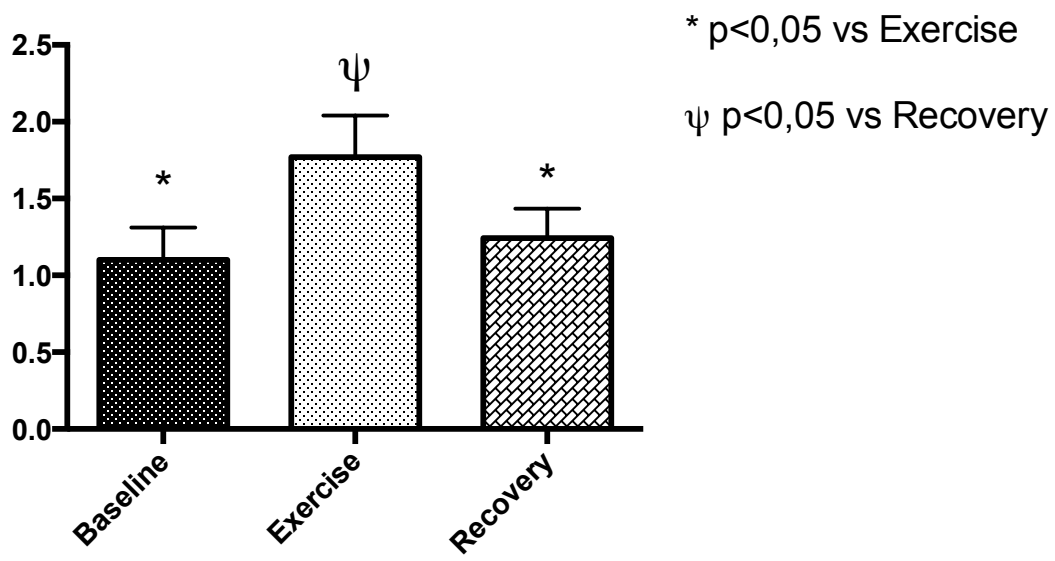


Grafico 8. EVI misurato nelle tre fasi del protocollo sperimentale

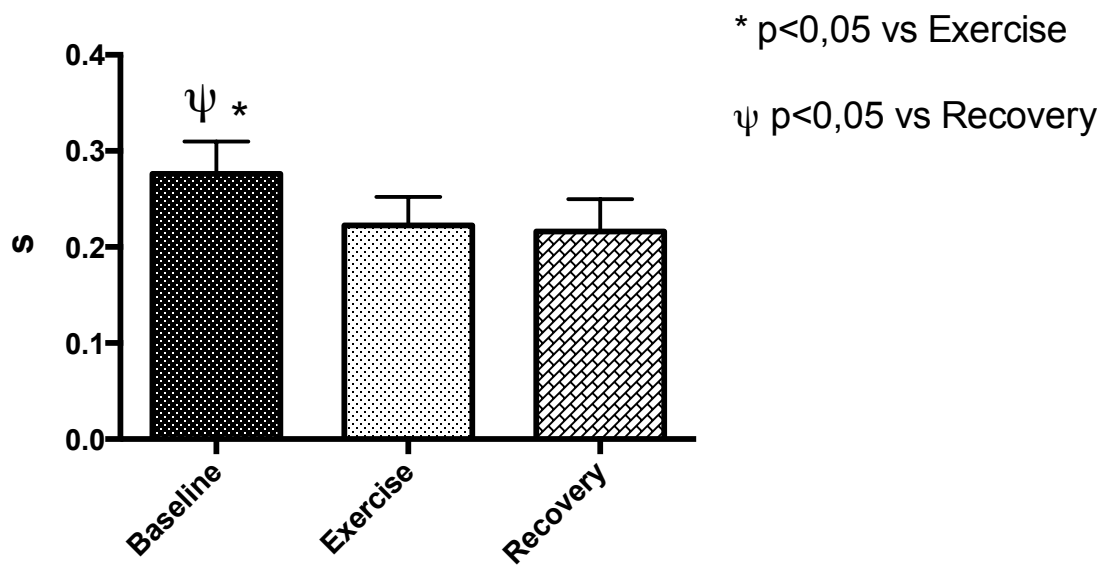


Grafico 9. VET misurato nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

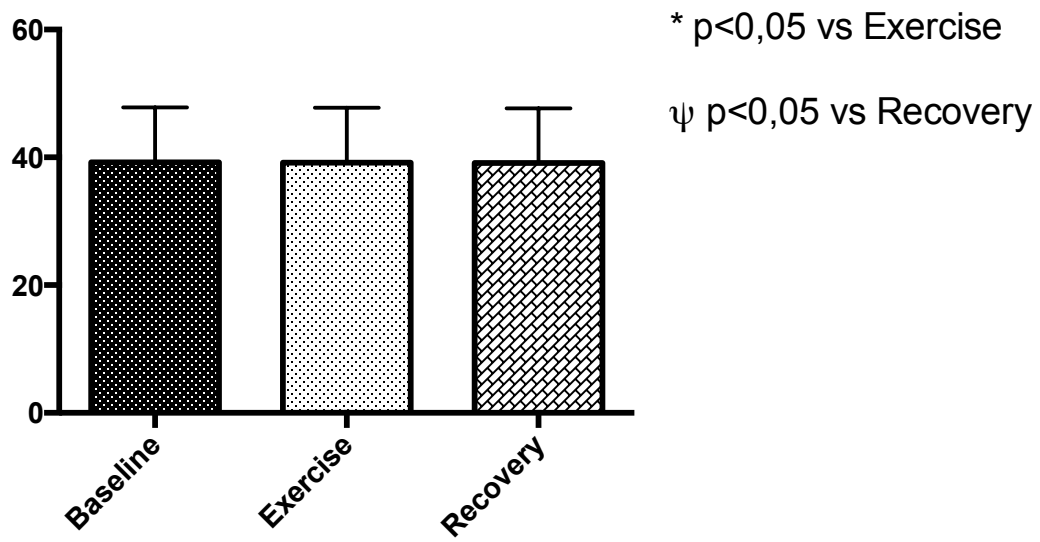


Grafico 10. TFI misurato nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

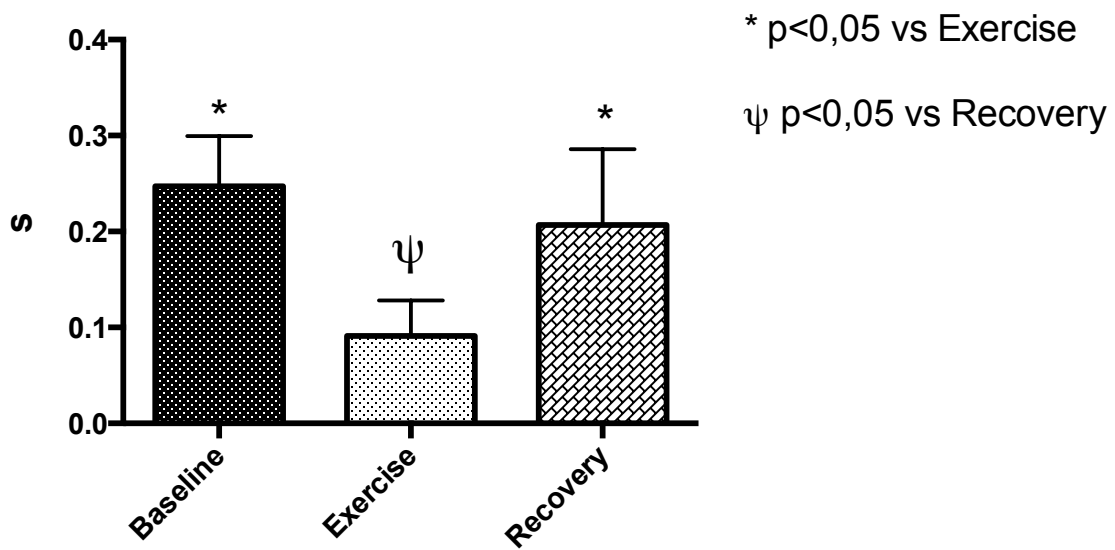


Grafico 11. Tempo diastolico (DT) misurato nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

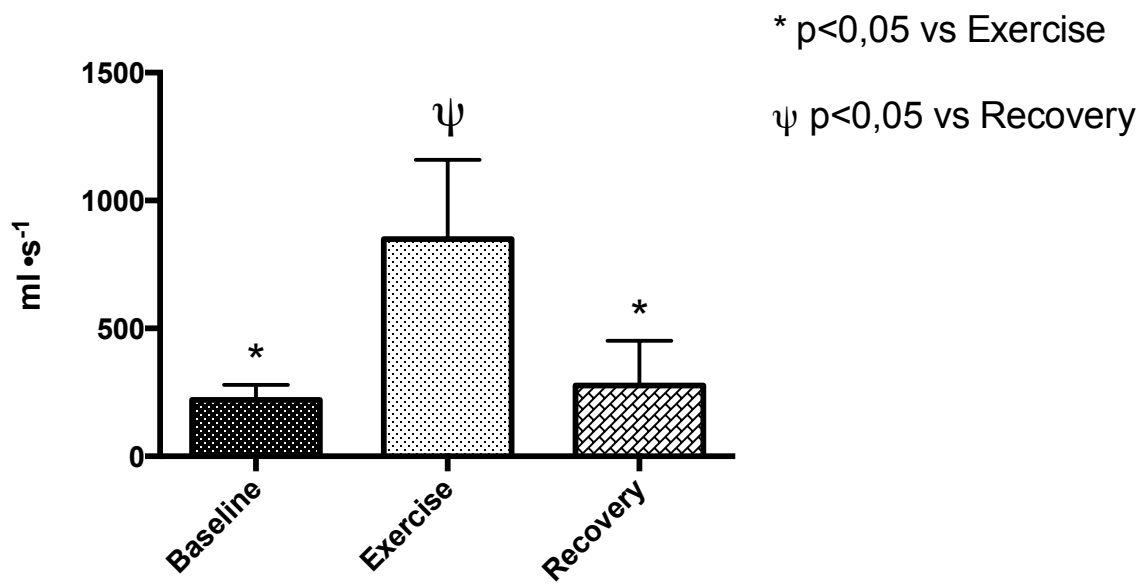


Grafico 12. Flusso medio diastolico (SV/DT) misurato nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

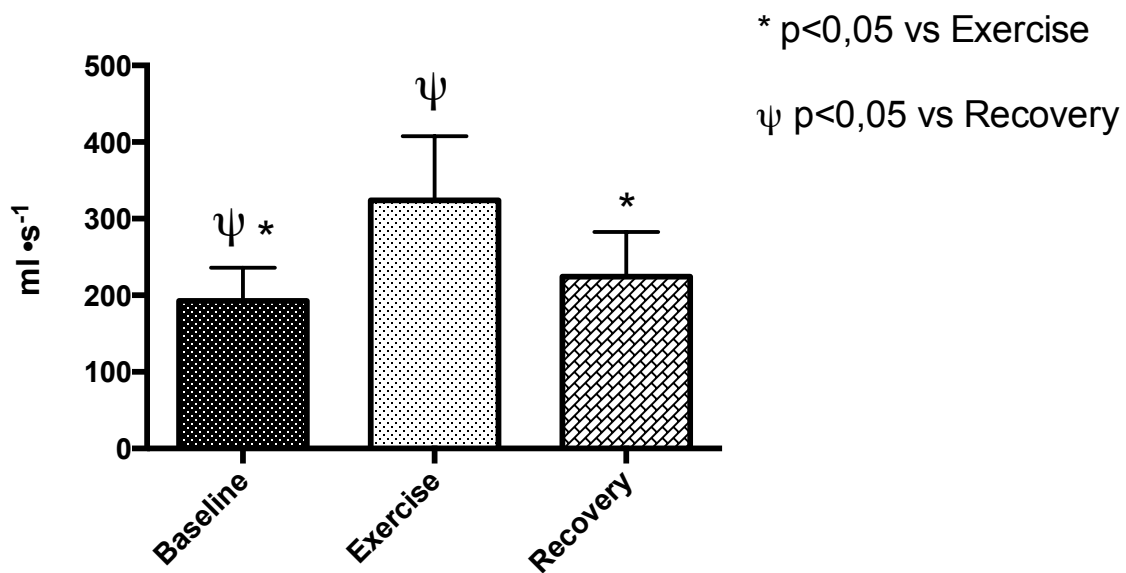


Grafico 13. Flusso medio sistolico (SV/VET) misurato nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

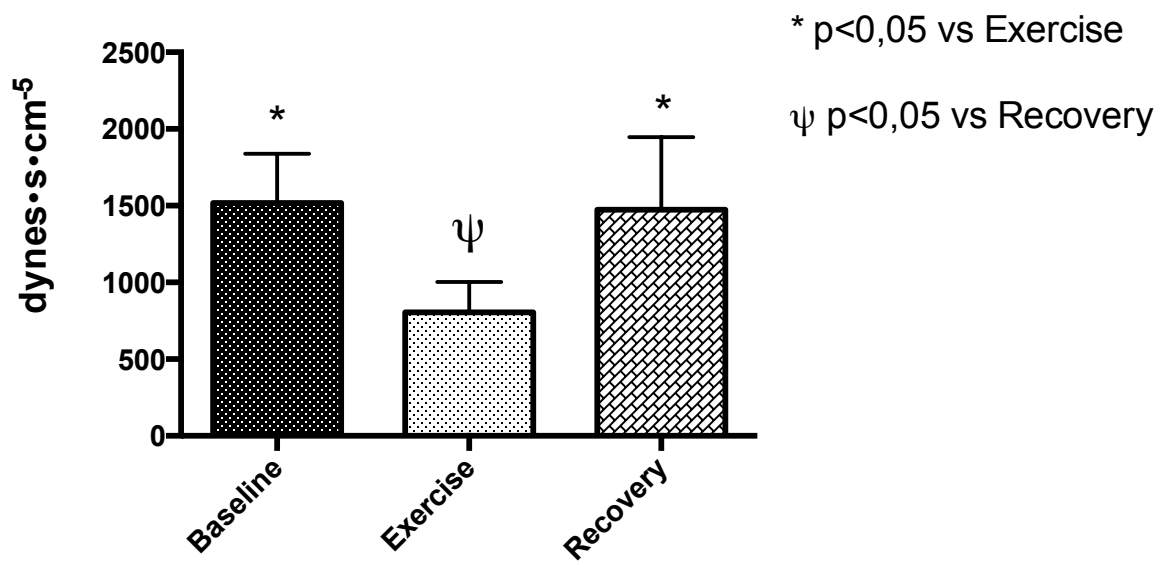


Grafico 14. SVR misurate nelle tre fasi del protocollo sperimentale.

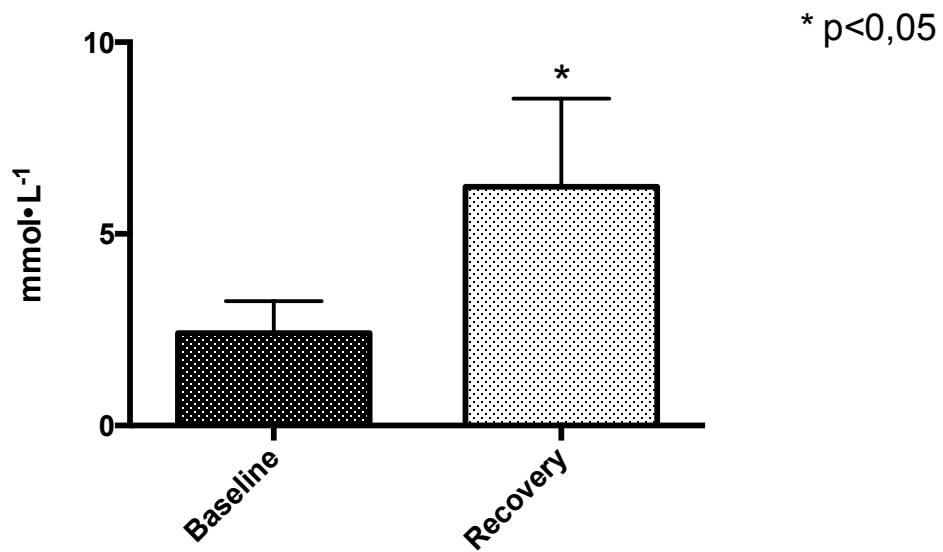


Grafico 15. Lattato ematico (BLa) misurato a riposo (Baseline) e nel post esercizio (Recovery).

IMMAGINI

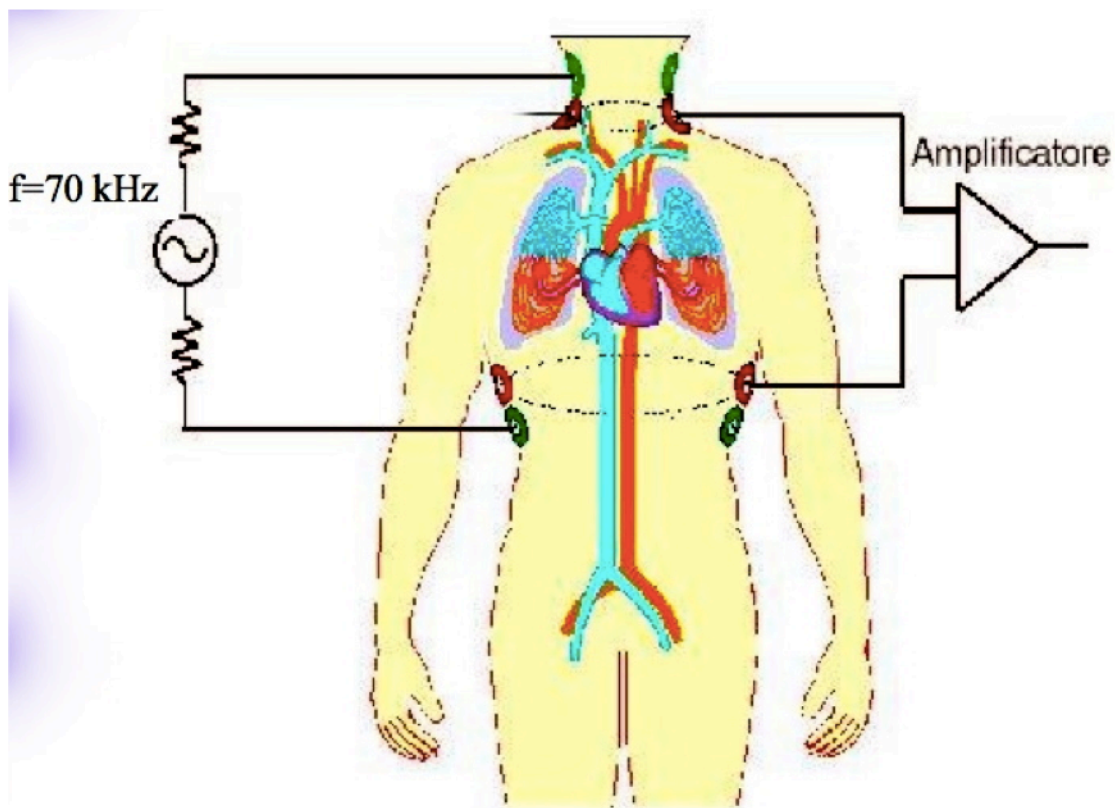


Figura 1. Disposizione schematica degli elettrodi per l'acquisizione dei segnali di impedenza elettrica transtoracica: due coppie di elettrodi rilevatori (R) sono posti in modo simmetrico alla base del collo e sulla linea ascellare media all'altezza del processo xifoideo dello sterno; gli elettrodi generatori (G) sono posti 5 cm al di sopra gli elettrodi rilevatori del collo e 5 cm al di sotto degli elettrodi toracici. La distanza tra i due piani su cui giacciono le coppie di elettrodi R è chiamata distanza L. I due piani identificano un tronco di cono il cui volume è uguale a $L^3 \cdot 4.25 \cdot 1$.



Figura 2. Misurazione del lattato ematico.



Figura 3. Pista del Moto Club San Giorgio di Perdasdefogu

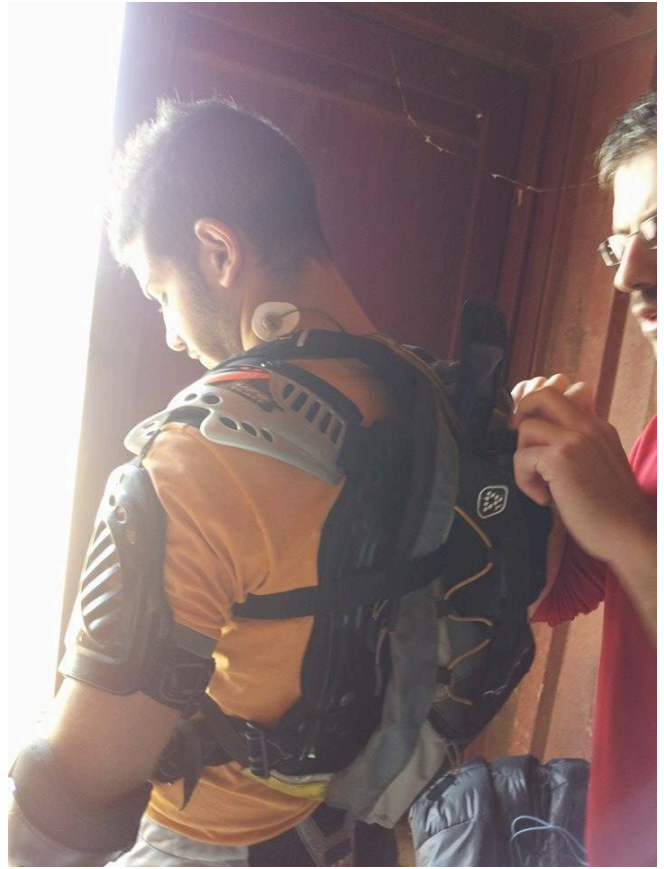


Figura 4. Applicazione elettrodi, collegamento strumento e posizionamento sulla tuta.

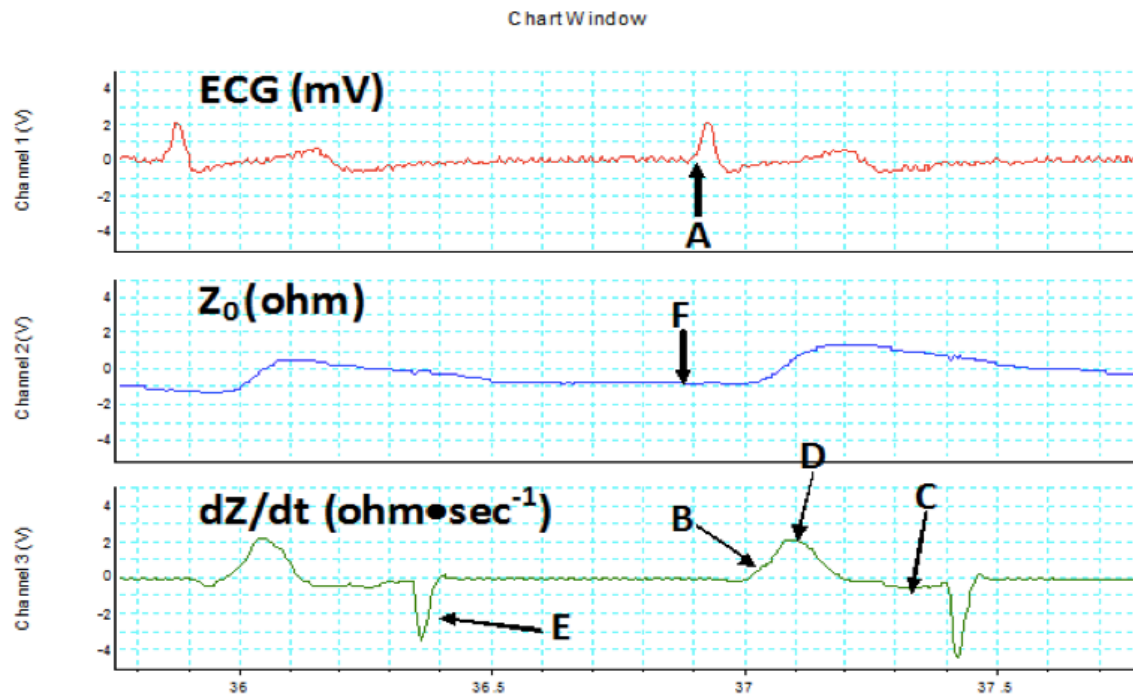


Figura 5. Segnali impedenziometrici ottenuti in un soggetto a riposo. Dall'alto verso il basso sono visualizzate le tracce dell'elettrocardiogramma (ECG), dell'impedenza elettrica toracica (Z_0) e della prima derivata temporale di Z_0 (dZ/dt). Sono anche indicati i punti di repere per il calcolo delle variabili cardiodinamiche.

A: inizio della sistole elettrica;

B: inizio dell'eiezione ventricolare;

C: fine dell'eiezione ventricolare;

D: picco dell'eiezione aortica;

E: reset elettrico sincrono con la fine dell'onda T dell'ECG generato dal Co.RE per eliminare le oscillazioni dovute alla respirazione nella traccia dZ/dt .

F: valore di Z_0 alla fine della diastole.

BIBLIOGRAFIA

1. Backman J., Häkkinen K., Ylinen J., et al. (2005) Neuromuscular performance characteristics of open-wheel and rally drivers. *J Strength Cond Res*; 19:777-84
2. Baur H., Müller S., Hirschmüller A., Huber G., Mayer F. (2006) Reactivity, stability, and strength performance capacity in motor sports. *Br J Sports Med*; 40:906-911
3. Bernstein DP. (1986) A new stroke volume equation for Thoracic Electrical Bioimpedance: Theory and rationale. *Crit Care Med*; 14: 904-909.
4. Bot S.D.M. & Hollander A.P. (2000). The relationship between heart rate and oxygen uptake during non-steady state exercise. *Ergonomics*, 43, 1578-1592.
5. Brooks G.A. (1991). Current concepts in lactate exchange. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 985-906.
6. Carter III R, Watenpaugh DE, Wasmund WL, Wasmund SL, Smith ML (1999). Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans. *J Appl Physiol* 87: 1463-1469;
7. Ceccarelli R. (1999). Ricerche medico-scientifiche svolte in ambito automobilistico. *Medicina dello Sport*, 52, 323-327.
8. Chapman MAS, Oni J. Motor racing accidents at Brands Hatch, (1988/9). *Br J Sports Med* 1991; 25:121-3.
9. Collins, D., Doherty, M., & Talbot, S. (1993). Performance enhancement in motocross: A case study of the sport science team in action. *Sport Psychology*, 7, 290-297.
10. Concu A and Marcello C (1993). Stroke volume response to progressive exercise in athletes engaged in different types of training. *Eur J Appl Physiol* 66: 11 -17

11. Corriveau H., Hebert R., Raiche M., et al. (2004). Evaluation of postural stability in the elderly with stroke. *Arch Phys Med Rehabil*; 85:1095-101.
12. Crisafulli A, Melis F, Orrù V, Lener R, Lai C, Concu A (2000). Hemodynamics during a postexertional asystolia in a healthy athlete: a case study. *Med Sci Sports Exerc* 32:4-9
13. Crisafulli A, Melis F, Orrù V, Lener R, Lai C, Concu A. (2001). Impedance cardiography for non invasive assessment of systolic time intervals during exercise. *Sports Med Train Rehab*; 10: 13-27
14. Crisafulli A, Milia R, Vitelli S, Caddeo M, Tocco F, Melis F, Concu A. (2009). Hemodynamic Responses To Metaboreflex Activation: Insights From Spinal Cord-Injured humans. *Eur J Appl Physiol*; 106: 525-533.
15. Crisafulli A, Piras F, Filippi M, Piredda C, Chiappori P, Melis F, Milia R, Tocco F, Concu A. (2011). Role of Heart Rate and Stroke Volume during Muscle Metaboreflex-induced Cardiac Output increase: differences between activation during and after exercise. *J Physiol Sci*; 61: 385-394.
16. Crisafulli A, Salis E, Pittau G, Lorrari L, Tocco F, Melis F, Pagliaro P, Concu A. (2006). Modulation of cardiac contractility by muscle metaboreflex following efforts of different intensities in humans. *Am J Physiol (Heart Circ Physiol)*; 291
17. Crisafulli A, Salis E, Tocco F, Melis F, Milia R, Pittau G, Caria MA, Solinas R, Meloni L, Pagliaro P, Concu A. (2007). Impaired central hemodynamic response and exaggerated vasoconstriction during muscle metaboreflex activation in heart failure patients. *Am J Physiol (Heart Circ Physiol)*.
18. Crisafulli A, Scott AC, Wensel R, Davos CH, Francis DP, Pagliaro P, Coats AJS, Concu A, Piepoli MF. (2003). Muscle metaboreflex-induced increases in stroke volume. *Med Sci Sports Exerc*; 35: 221-228.

19. Crisafulli A, Tocco F, Pittau G, Lorrai L, Porru C, Salis E, Pagliaro P, Melis F, Concu A. (2006). Effect of differences in post-exercise lactate accumulation in athletes' hemodynamics. *Appl Physiol Nutr Metab*; 31: 423-431.
20. Crisafulli A., F. Tocco, G. Pittau et al. (2006). Detection of lactate threshold by including haemodynamic and oxygen extraction data, *Physiological Measurement*, vol. 27, no. 1, pp. 85–97.
21. D'Artibale E., Tessitore A., Tiberi M., Capranica L. (2007). Heart rate and blood lactate during official female motorcycling competition. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 662-666.
22. Diotto-Gerrard, P., & Gerrard, D. (1999). Overuse injury in motocross: Motocross riders' forearm. Otago, NZ: University of Otago.
23. Ebert TJ, Smith JJ, Barney JA, Merrill DC, Smith GK. (1986). The use of thoracic impedance for determining thoracic blood volume changes in man. *Aviat Space Environ Med*; 57: 49-53
24. Gledhill N, Cox D, Jamnik R. (1994). Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Med Sci Sports Exerc*; 26: 1116-1121.
25. Gobbi A. W., Francisco R. A., Tuy B., Kvitne R.S. (2005). Physiological characteristics of top level off-road motorcyclists. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 927-931
26. Higginbotham M. B., K. G. Morris, S. Williams, P. A. McHale, R. E. Coleman, and F. R. Cobb. (1986). "Regulation of stroke volume during submaximal and maximal upright exercise in normal man," *Circulation Research*, vol. 58, no. 2, pp. 281–291.
27. Hofman P., Von Duvillard S.P., Seibert F.J., Pokan R., Wonish M., Lemura L.M. et al. (2001). %HR max target heart rate is dependent on heart rate performance curve

deflection. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 1726-1731.

28. Jacobs P.L., & Olvey S.E. (2000). Metabolic and heart rate responses to open-wheel automobile road racing: A single subject study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14, 157-161.
29. Jacobs PL, Olvey SE, Johnson BM, et al. (2002). Physiological responses to high-speed, open-wheel race car driving. *Med Sci Sports Exerc*; 34: 2085-90.
30. Jutley, R.S. (2003). *Fit for motorsport: Improve your race performance with better physical and mental training*. Sparlesford, UK: Haynes Publishing.
31. Klarica A.J. (2001). Performance in motor sports. *British Journal of Sport Medicine*, 35, 290-291.
32. Lewis S. F., W. F. Taylor, R. M. Graham, W. A. Pettinger, J. E. Schutte, and C. G. Blomqvist. (1983) "Cardiovascular responses to exercise as functions of absolute and relative work load," *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental and Exercise Physiology*, vol. 54, no. 5, pp. 1314–1323.
33. Mansfield NJ, Marshall JM. (2001). Symptoms of musculoskeletal disorders in stage rally drivers and co-drivers. *Br J Sports Med*; 35: 314-20.
34. Miles D. S., M. N. Sawka, and D. E. Hanpeter. (1984) "Central hemodynamics during progressive upper- and lower-body exercise and recovery," *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental and Exercise Physiology*, vol. 57, no. 2, pp. 366–370.
35. Moore, R., Sansores, R., Guimond, V. & Abboud, R. (1992). Evaluation of cardiac output by thoracic electrical bioimpedance during exercise in normal subjects. *Chest* 102, 448–455.

36. Nobrega Antonio C. L., O'Leary D., Moreira Silva B., Marongiu E., Piepoli M. F. and Crisafulli A. (2014). Review Article Neural Regulation of Cardiovascular Response to Exercise: Role of Central Command and Peripheral Afferents BioMed Research International Volume
37. Odaglia, G. & Magnano, G. (1979). Osservazioni e rilievi sull'impegno cardiaco nel motocross (Heart activity in motocross). *Medicina Dello Sport*, 32, 199-206.
38. Schwabergger G. (1987). Heart rate, metabolic and hormonal responses to maximal psycho-emotional and physical stress in motor car racing drivers. *Int Arch Occup Environ Health*; 59:579-604.
39. Sheel, A. W., Seddon, N., Knight, A., McKenzie, D.C., & Warburton, D. E. R. (2003). Physiological responses to indoor rock-climbing and their relationship to maximal cycle ergometry. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 35, 1225-1231.
40. Tsopanakis, C., & Tsopanakis A. (1998). Stress hormonal factors, fatigue, and antioxidant responses to prolonged speed driving. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 60, 747-751.
41. Von Lehmann, M., Huber, G., Schaub, F., & Keul, J. (1982). Zur Bedeutung der Katecholaminausscheidung zur Beurteilung der körperlich- konzentrativen Beanspruchung beim Motorrad-Geländesport (The significance of catecholamine excretion for the evaluation of the physical and emotional stress in motocross riders). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 33, 326-366.