



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
CASSINO E DEL LAZIO MERIDIONALE

Corso di Dottorato in  
Metodi, modelli e tecnologie per l'ingegneria

Curriculum in  
Ambienti e tecnologie per l'attività motoria e la salute

Ciclo XXXIII

Stima dell'intensità di esercizio e deriva cardiovascolare:  
una nuova variabile per i modelli di previsione  
basati sulla frequenza cardiaca

SSD: M-EDF/01

Coordinatore del Corso  
Chiar.ma Prof.ssa Wilma Polini

Dottorando  
Giovanni Polsinelli

Supervisore  
Chiar.mo Prof. Bruno Federico

*Ai miei genitori*

## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio l'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale per aver supportato il presente progetto di ricerca attraverso il corso di dottorato in Metodi, modelli e tecnologie per l'ingegneria, nonché per la formazione ricevuta durante l'intero percorso accademico. In particolare, ringrazio il prof. Angelo Rodio e il prof. Bruno Federico per il loro sostegno e contributo allo sviluppo del progetto di ricerca. Inoltre, ringrazio gli atleti e i rappresentanti delle organizzazioni sportive per il produttivo confronto e la disponibilità dimostrata durante le varie fasi della ricerca.

# ABSTRACT

## English version

Regularly practicing physical activity and exercise of adequate intensity and duration improves health and fitness. The intensity of aerobic exercise is commonly estimated using heart rate, but in endurance performance the relationship between heart rate and oxygen consumption may be compromised by cardiovascular drift. This physiological phenomenon mainly consists of a time-dependent increase in heart rate and decrease in systolic volume and may lead to overestimation of absolute metabolic intensity in prediction models based on heart rate. Previous research has established that cardiovascular drift is correlated to the increase in core body temperature during prolonged exercise. Therefore, monitoring body temperature during exercise may allow to quantify the increase in heart rate attributable to cardiovascular drift and consequently improve the estimate of muscular work and energy expenditure. Core body temperature measurement is invasive and may be inappropriate, skin temperature is unreliable, oral cavity temperature is influenced by breathing and ingestion of liquids or food, while the external auditory canal is easily accessible and may be suitable for monitoring body temperature during physical activity and exercise.

Based on these premises, an experimental protocol was designed to verify whether the increase in heart rate due to cardiovascular drift is associated with the increase in body temperature measured in the external auditory canal. This experimental protocol is composed of a preliminary phase and two submaximal cycling tests and provides monitoring both the tympanic temperature with a professional infrared tympanic thermometer and ear temperature with a wearable device equipped with contact probe. The preliminary phase includes the collection of baseline data for the classification of subjects and the comparison of the tympanic temperature between right and left ear and between closed and open external auditory canal. The first cycling test consists of an incremental exercise followed by a cool down stage and is used to assess the degree of agreement between the two methods of measuring body temperature, while the second cycling test consists of a prolonged exercise in steady state to moderate intensity in a neutral environment and is used to verify the search hypothesis. Due to the SARS-CoV-2 pandemic and the difficulties encountered in recruiting highly trained athletes, a downsized pilot study was carried out which provided encouraging results overall and allowed the optimization of the experimental protocol.

## Versione italiana

Praticare regolarmente attività motoria ed esercizio fisico di intensità e durata adeguate migliora lo stato di salute e di fitness. L'intensità dell'esercizio fisico di tipo aerobico è comunemente stimata utilizzando la frequenza cardiaca, ma nelle esercitazioni prolungate la relazione tra frequenza cardiaca e consumo di ossigeno può essere compromessa dalla deriva cardiovascolare. Questo fenomeno fisiologico consiste principalmente in un aumento della frequenza cardiaca e una diminuzione del volume sistolico dipendenti dal tempo e può portare alla sovrastima dell'intensità metabolica assoluta nei modelli di previsione basati sulla frequenza cardiaca. Ricerche precedenti hanno stabilito che la deriva cardiovascolare è correlata all'aumento della temperatura corporea del nucleo durante l'esercizio fisico prolungato. Pertanto, il monitoraggio della temperatura corporea durante l'esercizio fisico può consentire di quantificare l'aumento della frequenza cardiaca attribuibile alla deriva cardiovascolare e di conseguenza migliorare la stima del lavoro muscolare e del dispendio energetico. La misurazione della temperatura corporea del nucleo è invasiva e può essere inappropriata, la temperatura cutanea è inaffidabile, la temperatura del cavo orale è influenzata dalla respirazione e dall'ingestione di liquidi o alimenti, mentre il condotto uditivo esterno è facilmente accessibile e può essere adatto a monitorare la temperatura corporea durante l'attività motoria e l'esercizio fisico.

Sulla base di queste premesse è stato progettato un protocollo sperimentale per verificare se l'aumento della frequenza cardiaca dovuto alla deriva cardiovascolare si associa all'aumento della temperatura corporea misurata nel condotto uditivo esterno. Questo protocollo sperimentale è composto da una fase preliminare e da due prove ciclistiche sotto massimali e prevede il monitoraggio sia della temperatura timpanica con un termometro timpanico a infrarossi sia della temperatura auricolare con un dispositivo indossabile munito di sonda a contatto. La fase preliminare include la raccolta dei dati di base per la classificazione dei soggetti e il confronto della temperatura timpanica tra orecchio destro e sinistro e tra condotto uditivo esterno chiuso e aperto. La prima prova ciclistica consiste in un'esercitazione incrementale seguita da una fase di defaticamento ed è utilizzata per valutare il grado di accordo tra i due metodi di monitoraggio della temperatura corporea, mentre la seconda prova ciclistica consiste in un'esercitazione prolungata in stato stazionario a intensità moderata in ambiente neutro ed è utilizzata per verificare l'ipotesi di ricerca. A causa della pandemia da SARS-CoV-2 e delle difficoltà riscontrate nel reclutare atleti molto allenati è stato effettuato uno studio pilota ridimensionato che ha fornito risultati nel complesso incoraggianti e consentito l'ottimizzazione del protocollo sperimentale.

# INDICE DEI CONTENUTI

ABSTRACT .....	I
INDICE DEI CONTENUTI .....	II
Lista delle figure .....	II
Figura 1. Rapporti spaziali tra il dispositivo indossabile per la misurazione in continuo della temperatura auricolare e l'archetto antirumore modificato senza il rivestimento monouso in nitrile. ....	27
Figura 2. Rapporti spaziali tra il dispositivo indossabile per la misurazione in continuo della temperatura auricolare e l'archetto antirumore modificato con il rivestimento monouso in nitrile. ....	27
Figura 3. Contenitore in polistirene espanso a due camere utilizzato per la taratura del dispositivo auricolare all'interno della camera climatica. ....	32
Figura 4. Confronto tra la temperatura rilevata dal dispositivo auricolare e quella rilevata dallo strumento di riferimento nell'intervallo da 33 °C a 42 °C. ....	33
Figura 5. Differenza media tra la temperatura rilevata dal dispositivo auricolare e quella rilevata dallo strumento di riferimento nell'intervallo da 33 °C a 42 °C. ...	33
Figura 6. Differenza media tra la temperatura timpanica in T1 e quella in T0 presentata mediante l'analisi di Bland-Altman. ....	35
Figura 7. Differenza media tra la temperatura timpanica in T2 e quella in T0 presentata mediante l'analisi di Bland-Altman. ....	36
Figura 8. Differenza media tra la temperatura timpanica dell'orecchio destro e quella dell'orecchio sinistro presentata mediante l'analisi di Bland-Altman. ....	36
Figura 9. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 01 durante l'esercitazione ciclistica incrementale con defaticamento stazionario. ....	38
Figura 10. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 02 durante l'esercitazione ciclistica incrementale con defaticamento stazionario. ....	38
Figura 11. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 03 durante l'esercitazione ciclistica incrementale con defaticamento stazionario. ....	39

Figura 12. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 04 durante l'esercitazione ciclistica incrementale con defaticamento stazionario. ....	39
Figura 13. Differenza media tra la temperatura auricolare e quella timpanica in condizioni di riposo presentata mediante l'analisi di Bland-Altman. ....	40
Figura 14. Differenza media tra la temperatura auricolare e quella timpanica in condizioni di lavoro muscolare presentata mediante l'analisi di Bland-Altman. ..	40
Figura 15. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 01 durante l'esercitazione ciclistica a intensità moderata e in stato stazionario. ....	43
Figura 16. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 02 durante l'esercitazione ciclistica a intensità moderata e in stato stazionario. ....	43
Figura 17. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 03 durante l'esercitazione ciclistica a intensità moderata e in stato stazionario. ....	44
Figura 18. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 04 durante l'esercitazione ciclistica a intensità moderata e in stato stazionario. ....	44
Figura 19. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura timpanica nell'intervallo 0-35 minuti ( $r = 0,92$ ) del soggetto 01. ....	46
Figura 20. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura auricolare nell'intervallo 0-25 minuti ( $r = 0,98$ ) del soggetto 01. ....	46
Figura 21. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura timpanica nell'intervallo 0-60 minuti ( $r = 0,87$ ) del soggetto 02. ....	47
Figura 22. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura auricolare nell'intervallo 0-30 minuti ( $r = 0,88$ ) del soggetto 02. ....	47
Figura 23. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura timpanica nell'intervallo 0-10 minuti ( $r = 0,95$ ) del soggetto 03. ....	48
Figura 24. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura timpanica nell'intervallo 0-60 minuti ( $r = 0,45$ ) del soggetto 03. ....	48
Figura 25. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura auricolare nell'intervallo 0-10 minuti ( $r = 0,88$ ) del soggetto 03. ....	49
Figura 26. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura timpanica nell'intervallo 0-60 minuti ( $r = 0,85$ ) del soggetto 04. ....	50
Figura 27. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura auricolare nell'intervallo 0-60 minuti ( $r = 0,97$ ) del soggetto 04. ....	50

Lista delle tabelle .....	III
Tabella 1. Caratteristiche dei soggetti reclutati nello studio pilota .....	34
Tabella 2. Parametri della seconda prova ciclistica dello studio pilota .....	41
<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITOLO 1. Intensità nell'esercizio aerobico .....</b>	<b>4</b>
1.1 Benefici dell'esercizio aerobico .....	4
1.2 Intensità di esercizio e dispendio energetico .....	6
1.3 Valutazione dell'intensità nell'esercizio aerobico .....	9
<b>CAPITOLO 2. Esercizio aerobico e deriva cardiovascolare .....</b>	<b>11</b>
2.1 Temperatura corporea e deriva cardiovascolare .....	11
2.2 Intensità di esercizio e deriva cardiovascolare .....	14
2.3 Termoregolazione durante l'esercizio fisico prolungato .....	17
<b>CAPITOLO 3. Previsione della deriva cardiovascolare: un protocollo di studio ..</b>	<b>19</b>
3.1 Introduzione .....	19
3.1.1 Razionale dello studio .....	19
3.1.2 Obiettivi dello studio .....	21
3.1.3 Ipotesi di ricerca .....	22
3.2 Metodi .....	22
3.2.1 Campione .....	22
3.2.2 Criteri di selezione del campione .....	22
3.2.3 Reclutamento dei soggetti .....	23
3.2.4 Raccolta dei dati di base .....	23
3.2.5 Prove ciclistiche e misure fisiologiche .....	24
3.2.6 Indicazioni generali .....	28
3.2.7 Analisi statistica .....	29
3.2.8 Ambiente di lavoro .....	30
3.2.9 Sicurezza delle procedure .....	30
3.2.10 Trattamento dei dati personali .....	31
3.2.11 Coinvolgimento dei partecipanti e del pubblico .....	31
3.2.12 Possibili variazioni del protocollo sperimentale .....	31
3.3 Taratura della strumentazione .....	32



# INTRODUZIONE

La ricerca di stili di vita sani o della prestazione sportiva ha reso auspicabile un accurato monitoraggio delle variabili fisiologiche e delle grandezze fisiche attinenti al lavoro muscolare per migliorare la valutazione del carico di lavoro e del dispendio energetico dell'organismo durante l'attività motoria e l'esercizio fisico (Yang et al., 2016). Queste esigenze sono state evidenziate dalla crescente prevalenza dell'obesità (Kopelman, 2000; Report of a WHO consultation, 2000) e delle patologie correlate all'ipocinesi nella popolazione generale (Laaksonen et al., 2002) e confermate dalla pressione esercitata da istituzioni accademiche ed enti di ricerca verso l'attuazione di politiche pubbliche orientate alla prevenzione primaria (Bull et al., 2020), nonché dalla diffusione in ambito sportivo e ricreativo della tecnologia indossabile.

La programmazione dell'allenamento si basa sulla modulazione qualitativa e quantitativa dell'intero carico di lavoro, ovvero della tipologia, intensità, durata, volume e frequenza delle esercitazioni (da Cunha et al., 2011; Garber et al., 2011); tra questi parametri l'intensità di esercizio risulta essere il più complesso da valutare e monitorare. Infatti, l'affidabilità dei metodi utilizzati per quantificare l'intensità di esercizio dipende dal grado di correlazione tra la variabile di riferimento monitorata e il dispendio energetico dell'organismo (Jeukendrup & VanDiemen, 1998).

L'intensità di esercizio può essere valutata tramite variabili psicofisiologiche (carico interno) o grandezze fisiche esterne all'organismo (carico esterno) (Impellizzeri et al., 2019). Nel dettaglio, la quantificazione dell'intensità del carico interno può essere effettuata tramite lo sforzo percepito soggettivamente, la frequenza cardiaca, la concentrazione plasmatica di lattato e il consumo di ossigeno, mentre l'intensità del carico esterno tramite la velocità degli spostamenti, l'accelerazione e la potenza erogata (Bourdon et al., 2017). L'intensità valutata sulla base del carico interno consente di adattare il carico di lavoro alle caratteristiche dell'individuo nella specifica condizione, ottimizzare i tempi di recupero e prevenire il sovrallenamento; essa è solitamente utilizzata nei contesti in cui si persegue il miglioramento dello stile di vita e della salute. L'intensità valutata sulla base del carico esterno consente di effettuare esercitazioni con specifici carichi di lavoro muscolare e prove di valutazione funzionale per la classificazione del livello di prestazione dell'individuo; essa è solitamente utilizzata nei contesti in cui si persegue il miglioramento della prestazione a fini competitivi. Tuttavia, entrambe le modalità di valutazione dell'intensità di esercizio sono reciprocamente complementari: ognuna fornisce informazioni potenzialmente utili per un'adeguata e sostenibile programmazione dell'allenamento.

Uno dei metodi più conosciuti e di semplice applicazione per valutare l'intensità di esercizio consiste nel monitorare la frequenza cardiaca durante o subito dopo il lavoro muscolare. La frequenza cardiaca può essere considerata una variabile fisiologica affidabile per quantificare l'intensità dell'esercizio aerobico (Garber et al., 2011) e può essere misurata oggettivamente mediante sensori indossabili (cardiofrequenzimetri), ma la risposta cronotropa al carico di lavoro è influenzata dalla variabilità intra e interindividuale, da variabili ambientali, dalla durata e tipologia delle esercitazioni.

Nelle attività sportive in cui prevale il metabolismo aerobico si è consolidata la tendenza a preferire il carico esterno rispetto alla frequenza cardiaca per valutare e regolare l'intensità del lavoro muscolare. Nel dettaglio, nelle discipline come corsa, marcia e nuoto si sono diffusi dispositivi di dimensione e massa ridotte muniti di cronometro, sensori di movimento (accelerometro e giroscopio) e tecnologia GPS, mentre nel ciclismo dispositivi muniti di tachimetro, tecnologia GPS e misuratori di potenza integrati nel sistema di trasmissione della bicicletta. Questi strumenti consentono di quantificare la velocità, l'accelerazione e la potenza erogata, ovvero l'intensità del carico esterno, ma possono presentare problematiche di interpretazione, limitazioni applicative e svantaggi. La velocità e l'accelerazione sono influenzate significativamente da variabili ambientali difficilmente controllabili sul campo, come la pendenza e la consistenza del suolo, il flusso e la densità del fluido nel quale avviene il movimento. La potenza erogata non è influenzata dalle variabili ambientali, ma i misuratori di potenza necessitano di sistemi esterni di trasmissione meccanica del movimento, compatibilità con il sistema stesso e calibrazione periodica; inoltre, possono avere costi elevati e presentare problemi di affidabilità delle tecniche di misurazione impiegate. In ogni caso, la valutazione dell'intensità del carico esterno non può sostituire quella del carico interno, in quanto non fornisce informazioni riguardanti l'effetto del carico di lavoro sull'organismo nella specifica condizione.

Questa ricerca intende consolidare l'utilità della frequenza cardiaca nella valutazione dell'intensità dell'esercizio aerobico estendendone l'utilizzo per la stima del carico di lavoro esterno, oltre a quella del carico interno, attraverso specifiche correzioni basate sulla durata dell'esercitazione o sulla variazione della temperatura corporea. In particolare, analizza i principali fattori capaci di influenzare la linearità della relazione tra frequenza cardiaca e consumo di ossigeno, fornisce soluzioni teoriche per integrare i modelli di previsione dell'intensità di esercizio e del dispendio energetico basati sulla frequenza cardiaca e presenta il protocollo sperimentale e i primi risultati di uno studio finalizzato alla stima delle variazioni della frequenza cardiaca non riconducibili a variazioni di lavoro muscolare tramite il monitoraggio della temperatura corporea.

Lo studio sperimentale presentato nel terzo capitolo di questo lavoro di ricerca ha ricevuto parere favorevole da parte del Comitato Etico “Lazio 2” nel mese di dicembre 2019 e l’attività sperimentale sarebbe dovuta iniziare nel mese di febbraio 2020 a seguito dell’attivazione della polizza assicurativa e dell’invio della notifica di inizio studio con indicazione della data prevista per l’arruolamento del primo soggetto. Tuttavia, a causa del progressivo consolidamento di una situazione di emergenza sanitaria straordinaria, di imprevisti di vario genere e della difficoltà nell’individuazione sul territorio della provincia di Frosinone (Italia) di ciclisti disponibili e idonei alla partecipazione allo studio, l’inizio dell’attività sperimentale è stato posticipato in più occasioni con conseguente sospensione e proroga della polizza assicurativa. In particolare, il lungo periodo di emergenza sanitaria non ancora terminato, dovuto alla pandemia da SARS-CoV-2 dichiarata dall’Organizzazione mondiale della sanità (OMS) nel mese di marzo 2020, è stato caratterizzato dal susseguirsi di misure restrittive in ambito sociale e lavorativo finalizzate al contenimento della diffusione del virus nella popolazione generale con conseguente sospensione o comunque limitazione delle attività di laboratorio non essenziali.

Nel periodo iniziale della pandemia, quando i vaccini erano ancora in fase di sviluppo, è stato redatto un articolo scientifico sul protocollo sperimentale intitolato *Estimation of cardiovascular drift through ear temperature during prolonged steady-state cycling: a study protocol* (Polsinelli et al., 2021) che è stato pubblicato nel mese di marzo 2021 dalla rivista scientifica internazionale BMJ Open Sport & Exercise Medicine con l’obiettivo di contribuire al miglioramento dei modelli di previsione dell’intensità dell’esercizio aerobico basati sul monitoraggio della frequenza cardiaca.

Successivamente al coinvolgimento della maggior parte della popolazione italiana nella campagna di vaccinazione è stata ripresa l’attività di reclutamento dei soggetti con l’intenzione di effettuare uno studio pilota finalizzato all’ottimizzazione del protocollo sperimentale e all’acquisizione dei primi risultati per la conclusione del dottorato di ricerca. Considerando le difficoltà precedentemente riscontrate sono state ridotte la durata e l’intensità della prova ciclistica prolungata in stato stazionario necessaria per verificare l’ipotesi di ricerca e ridimensionati proporzionalmente i criteri di inclusione relativi al livello minimo di prestazione e al volume e frequenza dell’allenamento settimanale dei soggetti per facilitare il processo di reclutamento. In questo modo, quattro soggetti hanno aderito allo studio pilota e completato tutte le fasi previste. I dati raccolti sono stati analizzati e presentati in forma aggregata o in forma individuale a seconda dei casi, in modo da evidenziare le criticità del protocollo sperimentale e consentire un’adeguata interpretazione dei risultati preliminari.

# CAPITOLO 1.

## Intensità nell'esercizio aerobico

### 1.1 Benefici dell'esercizio aerobico

La pratica regolare di esercizio fisico è una strategia efficace per migliorare la qualità della vita (Conn et al., 2009; Gillison et al., 2009; Garber et al., 2011; Rejeski & Mihalko, 2001; Sallis & McKenzie, 1991), il benessere (Bartholomew et al., 2005; Yau, 2008) e le funzioni cognitive (Kramer & Erickson, 2007; Ruscheweyh et al., 2011; Smith et al., 2010). Nella popolazione fisicamente attiva sono state riscontrate una correlazione negativa tra il livello di fitness e l'insorgenza di malattie croniche (Blair et al., 1995; da Cunha et al., 2011) e la riduzione del rischio di declino cognitivo, demenza (Larson, 2006; Paterson & Warburton, 2010; Weuve, 2004; Yaffe, 2009) e sensazione di stanchezza (Puetz, 2006); questi benefici per la salute si verificano anche quando si passa da uno stile di vita sedentario o inattivo a uno attivo con un impegno metabolico corrispondente ai livelli raccomandati (Garber et al., 2011). L'attività motoria e l'esercizio fisico hanno un ruolo importante anche nella prevenzione o nel miglioramento dei disturbi d'ansia e depressivi di gravità da lieve a moderata (Bibeau et al., 2010; Haskell et al., 2007; Martinsen, 2008; Mead et al., 2009; Rethorst et al., 2009; Ströhle, 2009; Wipfli et al., 2011). Inoltre, gli stimoli meccanici, metabolici e neuromotori dovuti al lavoro muscolare contribuiscono al mantenimento della massa magra, densità ossea, mobilità articolare ed equilibrio riducendo il rischio di cadute nella popolazione anziana (Bull et al., 2020; Garber et al., 2011; Nelson, 2007).

Le linee guida per il benessere psicofisico proposte dall'American College of Sports Medicine (ACSM) raccomandano alla popolazione generale di svolgere regolarmente esercitazioni aerobiche per migliorare o mantenere la fitness cardiorespiratoria, esercitazioni anaerobiche lattacide (resistenza muscolare) per il potenziamento muscolare, esercitazioni di flessibilità per la mobilità articolare ed esercitazioni neuromotorie per le capacità coordinative (Garber et al., 2011). Per ottenere i benefici auspicati l'esercizio aerobico dovrebbe essere eseguito  $\geq 3-5$  volte a settimana per una durata complessiva  $\geq 150-300$  minuti se di intensità moderata o  $\geq 75-150$  minuti se di intensità vigorosa oppure una combinazione equivalente, mentre quello di forza e di resistenza muscolare dovrebbe essere eseguito  $\geq 2-3$  volte a settimana con un'intensità compresa tra il 40%-50% e l'80% della ripetizione massima considerando il livello di fitness e l'età dell'individuo (Bull et al., 2020; Garber et al., 2011).

I principali benefici a lungo termine derivanti dalla pratica regolare dell'esercizio aerobico consistono nella riduzione del rischio di sviluppare malattie coronariche, ictus, resistenza insulinica e alcune forme tumorali (Chu et al., 2020; Garber et al., 2011; Myers et al., 2015). Nel dettaglio, sono stati osservati la diminuzione della pressione sanguigna e dei biomarcatori associati al rischio cardiovascolare e il miglioramento della sensibilità all'insulina, della composizione corporea e del profilo delle lipoproteine plasmatiche (Garber et al., 2011). La condizione di salute e il benessere percepito sono presumibilmente influenzati da tutti gli indicatori del livello di fitness, ovvero dalla massima potenza aerobica, dalla forza e resistenza muscolare, dalla mobilità articolare e dalle capacità coordinative, sebbene la maggior parte delle evidenze disponibili riguardino la relazione con la composizione corporea e la fitness cardiorespiratoria dell'individuo (Garber et al., 2011). Infatti, sono state rilevate una correlazione positiva tra obesità ed eventi avversi per la salute (Bigaard et al., 2005; de Koning et al., 2007; Reis et al., 2009) e una correlazione negativa tra percentuale di massa magra e mortalità per tutte le cause (Bigaard et al., 2005; Heitmann et al., 2000), mentre il livello della fitness cardiorespiratoria e della resistenza muscolare risultano essere correlati negativamente con un cattivo stato di salute fisica e mentale (Barlow et al., 2006; Blair et al., 2001; Church et al., 2005; FitzGerald et al., 2004; Gale et al., 2007; Galper et al., 2006; Garber et al., 2011; Jurca et al., 2005; Newman et al., 2006; Pollock et al., 2000; Sui et al., 2007a; Tolmunen et al., 2006).

La fitness cardiorespiratoria può essere considerata un indicatore dello stato di salute nella popolazione generale (Garber et al., 2011; Pedersen & Saltin, 2015). Nei soggetti di mezza età e negli anziani senza patologie conclamate una maggiore capacità aerobica è associata a un rischio minore di morbilità e mortalità per tutte le cause, in particolare per le patologie cardiovascolari (Blair et al., 1995; Lee et al., 2011; Sui et al., 2007; Sui et al., 2007a), mentre nei soggetti con patologie pregresse un'adeguata capacità aerobica è associata a un rischio minore di eventi avversi (Church et al., 2005; Garber et al., 2011; Lee et al., 2011; McAuley, 2009; Myers, 2002; Sui et al., 2007b).

Le patologie cardiovascolari e tumorali rappresentano le principali cause di morte nei paesi industrializzati e l'ipocinesi, l'abitudine al fumo e l'alimentazione scorretta costituiscono i principali fattori di rischio modificabili delle forme più comuni. Pertanto, stili di vita sani che includono attività motoria ed esercizio fisico di intensità e durata adeguate possono contribuire al miglioramento o al mantenimento della massima potenza aerobica dell'organismo e alla riduzione dell'incidenza di patologie potenzialmente letali o invalidanti con un impatto significativo sull'aspettativa di vita, sulla salute e sul benessere della popolazione generale, nonché sulla spesa sanitaria.

## 1.2 Intensità di esercizio e dispendio energetico

L'intensità metabolica dell'esercizio fisico è definita come la quantità di energia richiesta nell'unità di tempo per eseguire uno specifico lavoro muscolare, ovvero la quantità di adenosina trifosfato (ATP) idrolizzata e convertita in energia meccanica ogni minuto attraverso la contrazione muscolare (Jeukendrup & VanDiemen, 1998).

Il composto altamente energetico denominato ATP conserva nei legami fosfato l'energia derivante dall'ossidazione dei macronutrienti consentendo il trasferimento di energia nella cellula (McArdle et al., 2009). L'ATP è sintetizzato continuamente per sostenere tutte le forme di lavoro biologico dell'organismo e accumulato in piccole quantità per garantire una rapida risposta al minimo cambiamento della concentrazione relativa dovuta alla variazione delle esigenze metaboliche (McArdle et al., 2009). La sintesi di ATP può avvenire direttamente nel citosol della cellula tramite la scissione anaerobica di fosfocreatina, glucosio, glicerolo e scheletri carboniosi di aminoacidi deaminati oppure nei mitocondri attraverso vie metaboliche aerobiche, quali il ciclo dell'acido citrico, la  $\beta$ -ossidazione e la catena respiratoria (McArdle et al., 2009). Le vie anaerobiche permettono di sostenere intensità di lavoro elevate per periodi limitati e agiscono rapidamente, mentre quelle aerobiche permettono di sostenere intensità sotto massimali per periodi prolungati e agiscono lentamente (McArdle et al., 2009).

Le vie metaboliche dell'organismo degradano i substrati energetici derivanti dalla digestione degli alimenti attraverso reazioni di ossidoriduzione con formazione di acetil-coenzima A nel mitocondrio e piccole quantità di ATP e nicotinammia adenina dinucleotide (NADH) nel citosol (McArdle et al., 2009). Nella matrice mitocondriale l'acetil-coenzima A subisce il processo di degradazione attraverso il ciclo dell'acido citrico con rilascio di idrogeno e formazione di NADH e flavina adenina dinucleotide ( $FADH_2$ ), nonché anidride carbonica come prodotto di scarto (McArdle et al., 2009). Nella membrana interna del mitocondrio NADH e  $FADH_2$  subiscono il processo di ossidazione attraverso la catena respiratoria con rilascio e trasporto attivo di ioni idrogeno nello spazio intermembranario e trasferimento di elettroni all'ossigeno, il quale si lega agli ioni idrogeno per formare acqua come prodotto di scarto (McArdle et al., 2009). Il gradiente elettrochimico generato tra lo spazio intermembranario e la matrice mitocondriale induce il passaggio degli ioni idrogeno nel complesso proteico transmembrana ATP sintetasi con rilascio dell'energia necessaria alla fosforilazione dell'adenosina difosfato (ADP) per formare ATP (McArdle et al., 2009). La maggior parte dell'ATP prodotto nella cellula proviene dal metabolismo aerobico, il quale ha un'autonomia pressoché illimitata in presenza di ossigeno e substrati energetici.

I processi metabolici dell'organismo umano hanno un'efficienza di trasferimento dell'energia del 40%-50%, mentre la restante parte è dissipata sotto forma di calore (McArdle et al., 2009). Il calore prodotto direttamente dall'organismo e quello derivante dalla conversione dell'energia meccanica generata dal lavoro muscolare in energia termica possono essere misurati per quantificare il dispendio energetico mediante uno strumento complesso denominato calorimetro umano, ovvero una camera isolata termicamente capace di monitorare accuratamente le variazioni della temperatura dell'ambiente interno e di regolare i livelli di umidità, ossigeno e anidride carbonica per consentire la permanenza al suo interno per periodi prolungati sia in condizioni di riposo sia di lavoro (McArdle et al., 2009). Questo metodo di valutazione del dispendio energetico, denominato calorimetria diretta, richiede procedure complesse, strumentazioni ingombranti con costi di realizzazione e manutenzione elevati e non può essere utilizzato per quelle tipologie di attività motoria o esercizio fisico che richiedono la disponibilità di ampi spazi o in cui il lavoro meccanico non può essere quantificato o convertito in energia termica mediante un ergometro collegato a un generatore che alimenta una resistenza elettrica (McArdle et al., 2009).

La calorimetria diretta è stata utilizzata in passato per studiare il metabolismo umano sia in condizioni di salute sia di malattia, in particolare per approfondire aspetti relativi alla nutrizione, bilancio energetico e malattie metaboliche e per validare metodi indiretti più semplici e meno costosi per la stima del dispendio energetico, mentre più recentemente per lo studio della capacità di termoregolazione dell'organismo (Kenny et al., 2017). Questa tecnica di valutazione del dispendio energetico basata sulla misurazione del calore prodotto dall'individuo può essere effettuata in laboratori specializzati e il suo utilizzo è solitamente limitato all'ambito della ricerca scientifica.

Il processo di ossidazione dei substrati energetici determina consumo di ossigeno, liberazione di energia metabolica e formazione di acqua e anidride carbonica come prodotti di scarto (McArdle et al., 2009). Il rapporto tra anidride carbonica prodotta e ossigeno consumato consente di calcolare il quoziente respiratorio della miscela di substrati energetici utilizzata dall'organismo e in base al corrispondente equivalente calorico dell'ossigeno di stimare adeguatamente il dispendio energetico sia in condizioni di riposo sia durante il lavoro muscolare stazionario di tipo aerobico (McArdle et al., 2009). La degradazione completa dei carboidrati, grassi e chetoacidi derivanti dalla deaminazione delle proteine presenta un quoziente respiratorio rispettivamente di 1, circa 0,7 e circa 0,82, mentre l'equivalente calorico dell'ossigeno può variare da 4,7 kcal a 5 kcal in base alla composizione della miscela di substrati energetici utilizzata dall'organismo nella specifica condizione (McArdle et al., 2009).

La composizione percentuale della miscela di substrati energetici utilizzata dall'organismo durante l'attività motoria e l'esercizio fisico dipende sostanzialmente dall'intensità, tipologia e durata del lavoro muscolare, dal livello di condizionamento aerobico dovuto alla tipologia di allenamento praticato e dalla disponibilità di glucosio, la quale dipende principalmente dalle riserve muscolari ed epatiche di glicogeno, nonché dall'assunzione alimentare durante esercitazioni particolarmente lunghe.

Nella maggior parte dei casi di lavoro muscolare aerobico e alimentazione mista il quoziente respiratorio è compreso tra 0,7 e 1, mentre per ogni litro di ossigeno consumato nei processi catabolici di ossidoriduzione si liberano all'incirca 4,83 kcal con un errore massimo del 4% (McArdle et al., 2009). Questo metodo di valutazione del dispendio energetico, denominato calorimetria indiretta, è basato sull'analisi degli scambi gassosi a livello delle vie aeree superiori e rappresenta una valida alternativa al monitoraggio del calore prodotto dall'organismo, in quanto i risultati ottenuti sono simili e le procedure di attuazione meno complesse (McArdle et al., 2009).

Le applicazioni pratiche della calorimetria indiretta sono la spirometria a circuito chiuso e quella a circuito aperto. La tecnica a circuito chiuso consiste nell'inspirare aria composta per il 100% da ossigeno proveniente da un contenitore a volume variabile collegato a un registratore e nell'esprire in un filtro contenente calce sodata capace di assorbire l'anidride carbonica prodotta dall'organismo, di conseguenza tramite un sistema di tubazioni con valvole unidirezionali l'ossigeno residuo torna nel contenitore il cui volume si riduce progressivamente indicando la quantità di ossigeno consumata nel tempo (McArdle et al., 2009). La tecnica a circuito aperto consiste nell'inspirare l'aria ambiente a composizione nota e nel calcolare la differenza con l'aria espirata, la quale mediante uno spirometro portatile può essere raccolta in un palloncino o in una sacca e successivamente analizzata per quantificare l'ossigeno consumato e l'anidride carbonica prodotta oppure campionata respiro per respiro e analizzata in tempo reale con strumentazione computerizzata (McArdle et al., 2009).

La spirometria a circuito chiuso necessita di una strumentazione ingombrante e può essere utilizzata solamente in condizioni di riposo per stimare il metabolismo basale dell'organismo, mentre quella a circuito aperto richiede una strumentazione compatta o portatile e può essere utilizzata anche durante l'attività motoria o l'esercizio fisico per stimare il dispendio energetico e l'intensità delle esercitazioni (McArdle et al., 2009). La calorimetria indiretta è considerata uno dei metodi più affidabili per valutare l'intensità del lavoro muscolare stazionario di tipo aerobico, ma i costi di gestione e manutenzione elevati, la scarsa praticità delle tecniche di misurazione e la necessità di calibrazione frequente ne limitano significativamente l'utilizzo (McArdle et al., 2009).

### 1.3 Valutazione dell'intensità nell'esercizio aerobico

L'allenamento di resistenza aerobica induce adattamenti fisiologici correlati al miglioramento della fitness cardiorespiratoria dell'organismo e dello stato di salute generale (Giannopoulou et al., 2005; O'Leary et al., 2006; Irving et al., 2008), ma è necessario individuare metodi di valutazione del carico di lavoro adeguati e di semplice applicazione per consentire un'agevole prescrizione dell'esercizio fisico e la programmazione dell'allenamento in qualsiasi contesto (da Cunha et al., 2011).

Gli adattamenti fisiologici responsabili dell'aumento della fitness cardiorespiratoria, ovvero del massimo consumo di ossigeno, dipendono principalmente dal livello di intensità dell'allenamento aerobico praticato (Gormley et al., 2008; Swain & Franklin, 2002). L'intensità di esercizio sembra avere un ruolo determinante anche per quanto riguarda i benefici dell'attività fisica per la salute, in quanto sono stati rilevati una maggiore riduzione del rischio cardiovascolare e della pressione sanguigna diastolica e un migliore controllo della glicemia con l'esercizio fisico vigoroso rispetto a quello moderato a parità di dispendio energetico (Swain & Franklin, 2006).

La capacità dell'organismo di svolgere lavoro muscolare sotto massimale in modo prolungato presuppone adattamenti specifici dell'apparato cardiocircolatorio e del sistema muscolare sia a livello metabolico sia strutturale, ma il processo di condizionamento organico si verifica molto lentamente, necessita di un allenamento adeguato ed è reversibile in tempi relativamente brevi (McArdle et al., 2009).

La funzionalità cardiaca può essere migliorata mediante la pratica regolare di attività motoria ed esercizio fisico generici, mentre il miglioramento della capacità aerobica richiede lo svolgimento di lavoro muscolare specifico con un'adeguata frequenza e intensità per periodi relativamente lunghi, oltre al coinvolgimento dei principali distretti muscolari interessati nella specifica attività motoria o disciplina sportiva (McArdle et al., 2009). I principali adattamenti indotti dall'esercizio aerobico prolungato consistono nel potenziamento del metabolismo aerobico alattacido mediante l'aumento della componente enzimatica e del numero e dimensioni dei mitocondri nelle cellule muscolari e nel miglioramento della vascolarizzazione capillare e capacità di redistribuzione del flusso sanguigno, in modo da favorire il trasporto e l'utilizzo dell'ossigeno nei distretti corporei in attività (McArdle et al., 2009). Altri adattamenti consistono nell'aumento della massa e volume cardiaci, del massimo volume di scarica sistolica e massima gettata cardiaca, del volume plasmatico e del numero di globuli rossi nel sangue, nonché nella diminuzione della frequenza cardiaca a riposo e durante l'esercizio fisico sotto massimale (McArdle et al., 2009).

L'efficacia e sostenibilità di un programma di esercizio fisico strutturato dipendono sostanzialmente dall'adeguatezza e dalla strategia di modulazione del carico di lavoro, nonché dalla predisposizione genetica e dall'attitudine psicologica dell'individuo a perseguire e raggiungere determinati obiettivi in termini di prestazione. L'interazione tra il genotipo e gli stimoli ambientali determina l'espressione del fenotipo, ovvero l'insieme delle caratteristiche morfologiche, funzionali e comportamentali che contraddistinguono l'individuo, mentre per quanto riguarda la capacità di prestazione è stato stimato che la componente genetica incide sulla massima potenza aerobica per il 20%-30%, sulla massima frequenza cardiaca per il 50% e sull'attitudine e predisposizione al lavoro di resistenza muscolare per il 70% (McArdle et al., 2009).

La modulazione e l'adeguamento del carico di lavoro rispetto a obiettivi, condizione di salute e livello di fitness dell'individuo possono essere effettuati agendo sulla tipologia, intensità, durata, volume e frequenza delle esercitazioni (da Cunha et al., 2011; Garber et al., 2011). La tipologia di esercizio fisico è facilmente classificabile, la durata, il volume e la frequenza delle esercitazioni sono facilmente misurabili, mentre l'intensità di esercizio è un parametro complesso che necessita di un'accurata valutazione e interpretazione. L'intensità di esercizio può essere valutata attraverso variabili psicofisiologiche o grandezze fisiche attinenti al lavoro muscolare correlate all'attività metabolica dell'organismo e quantificata sia in modo assoluto sia relativo rispetto alla massima capacità dell'individuo. Nella programmazione dell'allenamento un'intensità di esercizio insufficiente impedisce il raggiungimento degli obiettivi, mentre un'intensità eccessiva espone al rischio di sovrallenamento con conseguenze negative a medio e lungo termine sulla capacità di prestazione e sullo stato di salute generale dell'individuo (Jeukendrup & VanDiemen, 1998; Kuipers & Keizer, 1988).

L'intensità dell'esercizio aerobico può essere valutata adeguatamente attraverso variabili strettamente correlate al dispendio energetico, come il consumo di ossigeno, la potenza erogata, la velocità e la frequenza cardiaca dell'individuo (Jeukendrup & VanDiemen, 1998). La scelta del metodo di valutazione dell'intensità di esercizio dipende sostanzialmente dalla tipologia di attività motoria o di esercizio fisico praticati e dal contesto. Solitamente la potenza erogata e il consumo di ossigeno mediante l'analisi dei gas respiratori sono utilizzati in laboratorio per gestire il carico di lavoro nella valutazione funzionale, per quantificare la capacità aerobica e anaerobica dell'organismo e per determinare la relazione con la frequenza cardiaca (Astrand, 1984; Hawley & Noakes, 1992; Jeukendrup et al., 1996; Kuipers et al., 1985), mentre la velocità e la frequenza cardiaca sono utilizzate sul campo per valutare l'intensità di esercizio durante l'allenamento e le competizioni (Jeukendrup & VanDiemen, 1998).

# CAPITOLO 2.

## Esercizio aerobico e deriva cardiovascolare

### 2.1 Temperatura corporea e deriva cardiovascolare

Durante l'esercizio fisico prolungato eseguito in ambiente caldo o neutro a intensità moderata e carico esterno costante (stato stazionario), dopo 10-20 minuti si verificano aggiustamenti dell'emodinamica cardiaca e vascolare direttamente proporzionali alla durata dell'esercitazione, ovvero la progressiva diminuzione del volume sistolico associata al parallelo aumento della frequenza cardiaca con mantenimento pressoché costante della gettata cardiaca e la riduzione della pressione arteriosa media polmonare e sistemica (Coyle, 1998; Coyle & González-Alonso, 2001; Ekelund, 1967; Rowell, 1986). Questi aggiustamenti cardiovascolari in risposta alla durata e all'intensità del lavoro muscolare di tipo aerobico sono denominati deriva cardiovascolare.

La prima ipotesi sui meccanismi fisiologici alla base del fenomeno della deriva cardiovascolare suppone che durante l'esercizio fisico prolungato l'intensa attività metabolica e il lavoro muscolare determinerebbero l'incremento della temperatura corporea e la redistribuzione del volume ematico dal nucleo al tessuto cutaneo per favorire la dissipazione termica e dal nucleo al tessuto muscolare per sostenere il lavoro (Coyle & González-Alonso, 2001; Rowell, 1986). In questo scenario, lo spostamento di parte del volume ematico in periferia determinerebbe la diminuzione del ritorno venoso al cuore e della pressione di riempimento ventricolare con conseguente riduzione del volume telediastolico e del volume sistolico che, a sua volta, stimolerebbe l'aumento della frequenza cardiaca per mantenere la gettata cardiaca necessaria a sostenere un adeguato flusso sanguigno nei distretti corporei in attività (Coyle & González-Alonso, 2001; Rowell, 1986). Tuttavia, studi sperimentali hanno dimostrato che durante l'esercizio fisico prolungato l'aumento del flusso sanguigno cutaneo tende a stabilizzarsi dopo 20-30 minuti indipendentemente dalle condizioni ambientali e non mostra correlazione con la progressiva diminuzione del volume sistolico (González-Alonso et al., 2000; Johnson & Rowell, 1975; Nose et al., 1994). Inoltre, è stato dimostrato che durante l'esercizio fisico prolungato il blocco parziale dei recettori  $\beta^1$  attraverso la somministrazione di betabloccanti (~7 mg di atenololo) impedisce sia l'aumento della frequenza cardiaca sia la diminuzione del volume sistolico lasciando invariato l'andamento del flusso sanguigno cutaneo rispetto al gruppo di controllo (Coyle & González-Alonso, 2001; Fritzsche et al., 1999).

La seconda ipotesi sui meccanismi alla base della deriva cardiovascolare suppone che durante l'esercizio fisico prolungato l'incremento della temperatura corporea a livello del nucleo insieme all'aumento dell'attività del sistema nervoso simpatico e alla diminuzione della pressione arteriosa media dovuti all'attività metabolica e al lavoro muscolare determinerebbero l'incremento della frequenza cardiaca e di conseguenza la riduzione del tempo disponibile per il riempimento ventricolare, del volume telediastolico e del volume sistolico (Coyle & González-Alonso, 2001). Inoltre, il rilascio di catecolamine dovuto all'aumento dell'attività del sistema nervoso simpatico determinerebbe vasocostrizione a livello cutaneo con conseguente compromissione della capacità di termoregolazione e ulteriore incremento della temperatura corporea, mentre la disidratazione con conseguente riduzione del volume ematico contribuirebbe alla diminuzione del volume sistolico e del flusso sanguigno cutaneo peggiorando ulteriormente la capacità di dissipazione del calore (Coyle & González-Alonso, 2001).

Durante l'esercizio fisico prolungato eseguito a intensità moderata e in stato stazionario l'incremento della temperatura corporea a livello del nucleo e la disidratazione risultano essere correlati all'aumento della frequenza cardiaca e alla diminuzione del volume sistolico (Coyle & González-Alonso, 2001). In condizioni di disidratazione circa la metà della diminuzione del volume sistolico può essere attribuita alla riduzione del volume ematico, mentre la restante parte agli effetti dell'ipertermia sull'apparato cardiocircolatorio (Coyle, 1998; González-Alonso et al., 1999; González-Alonso et al., 2000). L'ipovolemia dovuta alla disidratazione inevitabilmente determina la riduzione del ritorno venoso al cuore e di conseguenza la diminuzione del volume telediastolico e del volume sistolico (Fortney & Vroman, 1985; Gisolfi & Wenger, 1984). L'ipotensione dovuta all'ipovolemia e correlata al ridotto volume sistolico provoca una risposta simpatico-adrenergica tramite il riflesso barocettivo che compete con la vasodilatazione cutanea e con l'attività delle ghiandole sudoripare ostacolando la dissipazione del calore e incrementando la temperatura corporea (Fortney & Vroman, 1985; González-Alonso et al., 1995; González-Alonso et al., 1999). L'innalzamento della temperatura corporea a livello del nucleo potrebbe determinare l'aumento della frequenza cardiaca agendo direttamente sulla frequenza di scarica intrinseca del nodo senoatriale (Jose et al., 1970), attivando termo-riflessi muscolari (Rowell et al., 1996) o stimolando l'attività del sistema nervoso simpatico (Escourrou et al., 1982; Fritzsche et al., 1999). Inoltre, l'affaticamento del sistema neuromuscolare durante l'esercizio aerobico prolungato potrebbe stimolare ulteriormente l'attività del sistema nervoso simpatico e alimentare il fenomeno fisiologico della deriva cardiovascolare (Coyle & González-Alonso, 2001).

Il lento e progressivo aumento della frequenza cardiaca durante l'esercizio aerobico prolungato si associa all'aumento della temperatura corporea del nucleo e non all'andamento del flusso sanguigno cutaneo, della perfusione dell'avambraccio o della temperatura cutanea media (Trinity et al., 2010). La diminuzione della volemia dovuta alla disidratazione può ridurre il volume sistolico del 7%, mentre in associazione all'ipertermia può ridurlo fino al 20%-28% attraverso un effetto sinergico (Coyle & González-Alonso, 2001; González-Alonso et al., 1997; González-Alonso et al., 2000; González-Alonso et al., 1995; Montain & Coyle, 1992). L'aumento della frequenza cardiaca correlato all'incremento della temperatura del nucleo riduce il tempo disponibile per il riempimento ventricolare e di conseguenza il volume telediastolico e il volume sistolico (González-Alonso et al., 2000; Bevegård et al., 1967). Pertanto, l'incremento della frequenza cardiaca sembra essere il principale responsabile del declino del volume sistolico quando la temperatura corporea del nucleo aumenta (Coyle & González-Alonso, 2001). La deriva cardiovascolare, oltre a dipendere dalla temperatura corporea a livello del nucleo e dalla volemia, sembra essere influenzata dalla quantità di massa muscolare coinvolta nella specifica tipologia di esercizio fisico (Kounalakis et al, 2008b), mentre la frequenza delle contrazioni muscolari con effetto pompa sulla circolazione sanguigna periferica non sembra avere un ruolo significativo sulla manifestazione del fenomeno fisiologico (Kounalakis et al., 2008a) sebbene le evidenze sperimentali siano contrastanti (Kounalakis & Geladas, 2012).

La deriva cardiovascolare classica caratterizzata dal progressivo aumento della frequenza cardiaca e diminuzione del volume sistolico si verifica durante le prime 4-6 ore di esercizio aerobico continuo eseguito a intensità moderata e in stato stazionario, mentre proseguendo l'esercizio fisico fino a 12 ore gli andamenti della frequenza cardiaca e del volume sistolico si invertono fino a normalizzarsi ai livelli iniziali (Mattsson et al., 2011). Proseguendo ulteriormente l'esercizio fisico fino a superare le 50 ore continuative i cambiamenti cardiovascolari si caratterizzano dalla riduzione delle resistenze periferiche totali e della pressione arteriosa media, dall'aumento del volume sistolico e dalla diminuzione della frequenza cardiaca con conseguente diminuzione del lavoro del cuore e aumento del rapporto tra consumo di ossigeno e frequenza cardiaca rispetto alla fase iniziale dell'esercitazione (Mattsson et al., 2011).

Il consumo di ossigeno dell'organismo durante il lavoro muscolare stazionario a intensità moderata aumenta circa del 10% dopo 6 ore e circa del 17% dopo 12 ore per poi stabilizzarsi (Mattsson et al., 2010), mentre la gettata cardiaca rimane pressoché costante indicando la presenza di specifici aggiustamenti dell'emodinamica cardiaca e vascolare durante le esercitazioni estremamente prolungate (Mattsson, et al., 2011).

## 2.2 Intensità di esercizio e deriva cardiovascolare

L'intensità dell'esercizio fisico di tipo aerobico può essere facilmente stimata utilizzando una percentuale della massima frequenza cardiaca o una percentuale della riserva di frequenza cardiaca (da Cunha et al., 2011; Garber et al., 2011). Questi metodi quantificano l'intensità di esercizio in modo relativo e sono basati sull'evidenza di una relazione lineare tra l'andamento della frequenza cardiaca e l'andamento del consumo di ossigeno durante esercitazioni incrementali di breve durata (Karvonen et al., 1957; Swain & Leutholtz, 1997). Il metodo che utilizza una percentuale della massima frequenza cardiaca tende a sovrastimare l'intensità metabolica, specialmente ai bassi regimi, mentre quello che utilizza una percentuale della riserva di frequenza cardiaca mostra un livello di accuratezza superiore (Davis & Convertino, 1975).

Nell'esercizio aerobico prolungato eseguito a intensità moderata la stabilità della relazione tra frequenza cardiaca e consumo di ossigeno può essere compromessa dal fenomeno fisiologico della deriva cardiovascolare con potenziali ripercussioni sulla stima dell'intensità metabolica assoluta e di conseguenza del dispendio energetico (da Cunha et al., 2011; Jeukendrup & Diemen, 1998; Polsinelli et al., 2021; Vogt et al., 2006). Infatti, al progressivo aumento della frequenza cardiaca durante il lavoro muscolare stazionario non corrisponde un incremento dell'impegno metabolico assoluto dell'organismo o del carico esterno; analogamente, per mantenere costante la frequenza cardiaca è necessario diminuire progressivamente il carico esterno e di conseguenza l'intensità metabolica assoluta. Prove di laboratorio, successivamente confermate sul campo, hanno dimostrato che per mantenere una frequenza cardiaca del 5% inferiore a quella della soglia anaerobica per 60 minuti è necessario diminuire l'intensità del carico esterno complessivamente del 17% con conseguente riduzione del consumo di ossigeno del 7% (Boulay et al., 1997; Jeukendrup & Diemen, 1998).

La frequenza cardiaca durante il lavoro muscolare stazionario con concentrazione plasmatica di lattato stabile o decrescente può aumentare fino a 20 battiti ogni 20-60 minuti (Kindermann et al., 1979; Mognoni et al., 1990). L'aumento della frequenza cardiaca risulta essere maggiore durante l'esercizio fisico prolungato eseguito in ambiente caldo o in condizioni di disidratazione (Gliner et al., 1975; Lafrenz et al., 2008). Infatti, con una temperatura ambiente di 33 °C e senza assunzione di liquidi la frequenza cardiaca può aumentare di 40 battiti dopo 100 minuti di lavoro muscolare stazionario eseguito al 62%-67% del massimo consumo di ossigeno (Montain & Coyle, 1992), mentre una temperatura ambiente neutra ( $\leq 22$  °C) e un'adeguata idratazione possono attenuare la deriva cardiovascolare, ma non impedire l'aumento della frequenza cardiaca completamente (Earhart et al., 2015; Hamilton et al., 1991).

Alcune ricerche hanno evidenziato una progressiva riduzione della massima potenza aerobica dell'organismo quando si manifesta la deriva cardiovascolare in ambiente caldo (Arngrímsson et al., 2003; Wingo et al., 2012a). Nel dettaglio, dopo 45 minuti di ciclismo o corsa a 35 °C oppure 120 minuti di ciclismo senza ingestione di liquidi a 30 °C eseguiti in stato stazionario con intensità iniziale pari al 60% del massimo consumo di ossigeno l'aumento della frequenza cardiaca dell'11%-19% e la concomitante diminuzione del volume sistolico del 10%-20% si associano alla riduzione della massima capacità di consumo di ossigeno del 9%-19% (Ganio et al., 2006; Lafrenz et al., 2008; Wingo & Cureton, 2006a; Wingo & Cureton, 2006b; Wingo et al., 2005; Wingo et al., 2020). Infatti, la diminuzione del volume sistolico dovuta alla deriva cardiovascolare potrebbe persistere durante un successivo sforzo incrementale massimale, necessario per misurare il massimo consumo di ossigeno, limitando la capacità aerobica dell'organismo (Wingo et al., 2012a).

Durante l'esercizio fisico prolungato eseguito a intensità moderata in ambiente caldo ( $\geq 30$  °C) la diminuzione della massima capacità di consumo di ossigeno dell'organismo risulta essere significativa e proporzionale ai cambiamenti fisiologici dell'emodinamica cardiaca (Wingo et al., 2012a), mentre in ambiente termicamente neutro ( $\leq 22$  °C) la deriva cardiovascolare risulta essere attenuata e la riduzione della massima capacità di consumo di ossigeno trascurabile (Lafrenz et al., 2008; Wingo et al., 2012b). La compromissione della capacità aerobica dell'organismo durante il lavoro muscolare prolungato risulta essere favorita dall'elevata temperatura ambiente (Arngrímsson et al., 2003; Lafrenz et al., 2008), dalla disidratazione (Ganio et al., 2006) e dalla diminuzione del volume sistolico (Wingo et al., 2012a), mentre sembra essere poco influenzata dalla tipologia di esercizio fisico praticato (ciclismo, corsa o marcia) indipendentemente dalla termoregolazione (Wingo et al., 2012b; Wingo et al., 2020) e dalla ventilazione dell'aria (4,5 m/s) durante lo sforzo incrementale massimale (Wingo et al., 2019), nonché dalla fase del ciclo mestruale (Stone et al., 2021).

La progressiva riduzione della capacità aerobica dell'organismo durante l'esercizio fisico prolungato in ambiente caldo determina la compromissione della capacità di prestazione (Wingo et al., 2012a). Nel dettaglio, durante il ciclismo eseguito in stato stazionario con intensità iniziale pari al 60% del massimo consumo di ossigeno, dopo 45 minuti a 35 °C la massima potenza erogata aerobica si riduce del 12%-17% e il tempo di esaurimento del 28%-37%, mentre dopo 120 minuti a 30 °C e senza ingestione di liquidi la massima potenza erogata aerobica si riduce del 13% e il tempo di esaurimento del 27% (Ganio et al., 2006; Lafrenz et al., 2008; Wingo & Cureton, 2006a; Wingo & Cureton, 2006b; Wingo et al., 2005).

Nelle situazioni di lavoro muscolare prolungato in cui la temperatura ambiente elevata e lo stato di disidratazione contribuiscono in modo determinante alla manifestazione della deriva cardiovascolare la progressiva riduzione della capacità aerobica e della capacità di prestazione possono influenzare la valutazione dell'intensità metabolica relativa con importanti implicazioni sulla prescrizione dell'esercizio fisico (Wingo et al., 2012a). Infatti, quando la massima capacità di lavoro muscolare diminuisce l'intensità relativa aumenta essendo calcolata in percentuale rispetto a quella massima.

La progressiva riduzione della massima potenza aerobica dell'organismo determina un proporzionale incremento della percentuale del massimo consumo di ossigeno (intensità metabolica relativa) che si associa al parallelo aumento della frequenza cardiaca dovuto alla deriva cardiovascolare nonostante il lavoro muscolare stazionario (Wingo et al., 2012a). Pertanto, la linearità della relazione tra frequenza cardiaca e intensità metabolica relativa risulta essere preservata durante l'esercizio aerobico prolungato eseguito in ambiente caldo (Arngrímsson et al., 2003; Wingo et al., 2012a). In questo scenario caratterizzato da esercizio fisico prolungato, temperatura ambiente elevata e disidratazione, il mantenimento costante del lavoro muscolare determina un notevole e progressivo incremento del carico interno e della temperatura corporea con potenziale compromissione della sostenibilità dell'esercitazione o del programma di allenamento, mentre il mantenimento costante del carico interno e di conseguenza della frequenza cardiaca implica una notevole e progressiva riduzione del lavoro muscolare con potenziale compromissione dello stimolo allenante dell'esercitazione o dell'efficacia del programma di allenamento (Wingo et al., 2012a).

Nelle situazioni più confortevoli e auspicabili caratterizzate da condizioni ambientali neutre e un'adeguata assunzione di liquidi, sebbene la compromissione della capacità aerobica dell'organismo e di conseguenza della capacità di prestazione possa essere trascurabile (Ganio et al., 2006; Lafrenz et al., 2008; Wingo et al., 2012b), l'esercizio aerobico prolungato eseguito tra il 50% e il 75% della massima potenza aerobica può comunque determinare un significativo aumento della frequenza cardiaca attribuibile alla deriva cardiovascolare (Earhart et al., 2015; Shaffrath & Adams, 1984), anche in ambiente ventilato a una velocità di circa 3 m/s (Hamilton et al., 1991). In ogni caso, l'aumento della frequenza cardiaca dovuto alla deriva cardiovascolare rispecchiando le variazioni relative e non assolute dell'intensità metabolica determina la sovrastima del dispendio energetico nei metodi di valutazione dell'intensità di esercizio basati sul monitoraggio della frequenza cardiaca (da Cunha et al., 2011; Polsinelli et al., 2021) con potenziali ripercussioni sui programmi di allenamento finalizzati alla gestione della composizione corporea (LaForgia et al., 2006; Tremblay et al., 1994).

## 2.3 Termoregolazione durante l'esercizio fisico prolungato

Nell'esercizio fisico dinamico che coinvolge grandi masse muscolari inizialmente si verifica una vasocostrizione cutanea dovuta all'innalzamento dell'attività del sistema nervoso simpatico adrenergico sia in condizioni ambientali neutre sia in condizioni di temperatura elevata (Johnson, 1992; Kellogg Jr et al., 1991a); trascorsa la fase iniziale la temperatura corporea a livello del nucleo aumenta progressivamente e inizia ad aumentare anche il flusso sanguigno cutaneo, ma a una soglia di temperatura superiore rispetto a quella presente durante l'esposizione al calore in condizione di riposo (Johnson & Park, 1981; Kellogg Jr et al., 1991b; Taylor et al., 1988). Tuttavia, il ritardo nell'attivazione della vasodilatazione cutanea durante l'esercizio aerobico prolungato sembra essere correlato all'incremento dell'osmolarità plasmatica e non all'aumento dell'attività simpatico-adrenergica (Kellogg Jr et al., 1991b; Mitono et al., 2005; Shibasaki et al., 2009; Takamata et al., 1998; Wong & Hollowed, 2016).

All'aumentare della durata del lavoro muscolare e di conseguenza della temperatura corporea la perfusione cutanea aumenta, quasi linearmente, fino a stabilizzarsi quando la temperatura corporea a livello del nucleo raggiunge 38-39 °C (Brenzelmann et al., 1977; Johnson, 1992; Wong & Hollowed, 2016). Questo limite risulta essere significativamente inferiore rispetto alla massima capacità vasodilatatoria cutanea e sembra non risentire di ulteriori incrementi della temperatura corporea del nucleo (Smith & Johnson, 2016). Pertanto, il contenimento della perfusione cutanea e l'innalzamento della relativa soglia di attivazione durante l'esercizio fisico prolungato sembrano essere dovuti sostanzialmente all'inibizione a livello centrale della vasodilatazione attiva (Johnson, 1992; Kellogg Jr et al., 1991b). Infatti, raggiunta la fase di stabilizzazione del flusso sanguigno cutaneo l'attività vasocostrittrice del sistema nervoso simpatico adrenergico è gradualmente soppressa, mentre è favorita la vasodilatazione cutanea passiva (Kellogg Jr et al., 1993). Il tessuto cutaneo umano non glabro è innervato da due derivazioni del sistema nervoso simpatico, ovvero da un ramo vasocostrittore simpatico-adrenergico e da un ramo vasodilatatore simpatico-colinergico, mentre il tessuto cutaneo glabro è sprovvisto di innervazione colinergica e di conseguenza un eventuale aumento del flusso sanguigno cutaneo può verificarsi principalmente in modo passivo attraverso la diminuzione dell'attività del sistema nervoso simpatico adrenergico (Wong & Hollowed, 2016).

Il lavoro muscolare, nonostante la relativa efficienza dei processi di conversione dell'energia metabolica in energia meccanica, genera un'elevata quantità di calore e la rapida attivazione del sistema nervoso simpatico colinergico con stimolazione della sudorazione e della vasodilatazione attiva a livello del tessuto cutaneo non glabro

(Smith & Johnson, 2016). La sudorazione e la vasodilatazione attiva a livello cutaneo sono mediate dall'attività del sistema nervoso simpatico colinergico che sembra agire attraverso un meccanismo di co-trasmissione, ovvero l'acetilcolina potrebbe regolare la produzione di sudore e un neurotrasmettitore sconosciuto la vasodilatazione cutanea (Kellogg Jr et al., 1995). Tuttavia, la complessità del sistema di regolazione del flusso sanguigno cutaneo, come quello a livello del muscolo scheletrico, ostacola la completa comprensione degli specifici meccanismi coinvolti (Wong & Hollowed, 2016).

La sudorazione, parallelamente all'aumento del flusso sanguigno cutaneo, contribuisce in modo determinante alla dissipazione del calore eccedente nel processo di mantenimento dell'omeostasi termica dell'organismo attraverso il fenomeno endotermico dell'evaporazione, ovvero la cessione di energia cinetica all'ambiente circostante mediante l'allontanamento delle molecole d'acqua dalla superficie corporea. La sudorazione può essere stimolata dalle sollecitazioni termiche, ma anche direttamente dal lavoro muscolare indipendentemente dall'aumento della temperatura corporea a livello del nucleo, del muscolo scheletrico o della cute (Smith & Johnson, 2016). Infatti, sia durante l'esercizio fisico dinamico intermittente sia durante quello continuo con variazioni sinusoidali dell'intensità metabolica l'andamento della sudorazione rispecchia lo schema del carico di lavoro e non la variazione della temperatura corporea (Yamazaki et al., 1996; Yamazaki, Sone & Ikegami, 1994). Quando l'assunzione di liquidi è insufficiente a compensare le perdite si instaura una condizione di disidratazione che compromette la capacità aerobica dell'organismo (Sawka et al., 1998). Infatti, la profusa sudorazione riduce la frazione plasmatica del volume ematico determinando ipovolemia e nei casi più gravi iperosmolarità (Smith & Johnson, 2016; Sawka et al., 1985). Queste condizioni innescano processi compensativi finalizzati alla preservazione del volume ematico e al mantenimento della funzione cardiocircolatoria, quali la riduzione della sudorazione e della perfusione cutanea e l'innalzamento delle corrispettive soglie di attivazione (Fortney et al., 1984; Gisolfi & Wenger, 1984; Montain et al., 1995; Morimoto & Itoh, 1998).

L'essere umano in ambiente caldo può eseguire volontariamente esercizio fisico fino a superare la temperatura corporea del nucleo di 40 °C indicando una compromissione significativa della capacità di termoregolazione e l'esistenza di un limite imposto dal lavoro muscolare sulla circolazione sanguigna cutanea (Smith & Johnson, 2016). Durante l'esercizio aerobico prolungato il lavoro muscolare e la disidratazione contribuiscono al progressivo aumento della temperatura corporea e della frequenza cardiaca compromettendo la capacità di prestazione ed esponendo l'organismo a potenziali rischi per la salute (Sawka et al., 1985; Smith & Johnson, 2016).

# CAPITOLO 3.

## Previsione della deriva cardiovascolare: un protocollo di studio

### 3.1 Introduzione

#### 3.1.1 Razionale dello studio

L'esercizio fisico di tipo aerobico eseguito regolarmente con intensità e durata appropriate migliora la fitness cardiorespiratoria dell'organismo e contribuisce al mantenimento dello stato di salute generale (Garber et al., 2011). Gli adattamenti fisiologici responsabili dell'aumento della capacità aerobica dell'organismo, ovvero della capacità di ricavare energia attraverso l'ossidazione dei substrati energetici, dipendono principalmente dall'intensità del lavoro muscolare delle esercitazioni (Gormley et al., 2008; Swain & Franklin, 2002). Pertanto, la valutazione accurata dell'intensità di esercizio durante l'allenamento è indispensabile per raggiungere i risultati desiderati ed evitare il sovrallenamento (Kuipers & Keizer, 1988).

L'intensità metabolica è definita come la quantità di energia necessaria nell'unità di tempo per eseguire uno specifico lavoro muscolare e può essere valutata attraverso variabili strettamente correlate al dispendio energetico, come il consumo di ossigeno e la potenza erogata (Jeukendrup & Diemen, 1998). Solitamente l'analisi dei gas respiratori per calcolare il consumo di ossigeno si effettua in laboratorio mediante strumentazioni costose e scomode da indossare, mentre la potenza erogata può essere monitorata mediante un cicloergometro o costosi misuratori di potenza integrati nel sistema di trasmissione della bicicletta (Jeukendrup & Diemen, 1998).

Nell'esercizio aerobico l'intensità può essere facilmente stimata utilizzando una percentuale della massima frequenza cardiaca o una percentuale della riserva di frequenza cardiaca (da Cunha et al., 2011; Garber et al., 2011). Questi metodi si basano sull'evidenza di una relazione lineare tra frequenza cardiaca e consumo di ossigeno durante esercitazioni incrementali di breve durata (Davis & Convertino, 1975; Swain & Leutholtz, 1997). Tuttavia, durante l'esercizio aerobico prolungato la stabilità di questa relazione può essere compromessa dal fenomeno della deriva cardiovascolare con potenziali ripercussioni sulla stima dell'intensità metabolica (da Cunha et al., 2011; Jeukendrup & Diemen, 1998; Polsinelli et al., 2021; Vogt et al., 2006).

La deriva cardiovascolare si manifesta dopo 10-15 minuti di lavoro muscolare stazionario eseguito a intensità moderata in ambiente neutro o caldo e consiste in un progressivo aumento della frequenza cardiaca e una concomitante diminuzione del volume sistolico e della pressione arteriosa media, senza variazioni significative della gettata cardiaca (Ekelund, 1967; Rowell, 1974). Questi aggiustamenti fisiologici dell'emodinamica cardiaca e vascolare dipendenti dal tempo durante l'esercizio aerobico prolungato si associano al progressivo aumento della temperatura corporea a livello del nucleo (Fritzsche et al., 1999) e sono esacerbati dalla disidratazione attraverso la riduzione del volume ematico e la conseguente compromissione della capacità di termoregolazione dell'organismo (Coyle & González-Alonso, 2001).

In questo scenario, il monitoraggio della temperatura corporea del nucleo durante l'esercizio aerobico prolungato potrebbe consentire la quantificazione delle eventuali variazioni della frequenza cardiaca attribuibili alla deriva cardiovascolare e di conseguenza il miglioramento dei modelli di previsione dell'intensità metabolica basati sulla frequenza cardiaca (Polsinelli et al., 2021). Infatti, quando il carico di lavoro assoluto è mantenuto costante durante l'esercizio fisico prolungato eseguito a intensità moderata l'aumento della frequenza cardiaca determina la sovrastima dell'intensità metabolica con importanti implicazioni sulla prescrizione dell'esercizio fisico e la stima del dispendio energetico dell'organismo (da Cunha et al., 2011).

Il sito più affidabile per il monitoraggio della temperatura corporea del nucleo è l'arteria polmonare, in quanto trasporta il sangue proveniente direttamente dai distretti interni (Moran & Mendal, 2002), ma può essere raggiunto solamente attraverso procedure particolarmente invasive e in determinati contesti clinici (Hooper & Andrews, 2006). Altri siti utilizzabili per il monitoraggio della temperatura corporea del nucleo sono il retto, l'esofago (Moran & Mendal, 2002) e il tratto gastrointestinale (Lim et al., 2008). Il retto e l'esofago possono essere raggiunti tramite l'inserimento di sonde cablate rispettivamente dallo sfintere anale e dalle cavità nasali, ma questi metodi invasivi sono poco tollerati dagli individui e spesso costituiscono un'importante fonte di disagio (Lim et al., 2008). Il tratto gastrointestinale può essere raggiunto tramite l'ingestione di un sensore telemetrico senza implicare particolari disagi e probabilmente rappresenta la soluzione migliore per il monitoraggio della temperatura corporea a livello del nucleo durante l'esercizio fisico sul campo (Lim et al., 2008). Tuttavia, i costi elevati dei sensori telemetrici monouso e dei relativi dispositivi ricevitori attualmente sul mercato possono ostacolare l'utilizzo di questo metodo e la sua diffusione al di fuori dell'ambito clinico o della ricerca.

Nei casi in cui non è appropriato o conveniente misurare direttamente la temperatura corporea del nucleo possono essere utilizzati siti alternativi facilmente accessibili, come il cavo orale e il condotto uditivo esterno (Lim et al., 2008). In ambito clinico la temperatura sublinguale nel cavo orale è raccomandata come surrogato della temperatura corporea del nucleo considerando la semplicità della misurazione e la sufficiente affidabilità (Hooper & Andrews, 2006), ma i tempi necessari per la stabilizzazione termica del sito durante la misurazione, le possibili interferenze derivanti dalla respirazione e dall'ingestione di liquidi o alimenti ne scoraggiano l'utilizzo durante e dopo l'esercizio fisico (Lim et al., 2008; Moran & Mendal, 2002).

Un sito alternativo potenzialmente adeguato al monitoraggio della temperatura corporea durante l'esercizio fisico potrebbe essere il condotto uditivo esterno, in quanto la membrana timpanica è localizzata nelle vicinanze dell'arteria carotide interna e dei centri termoregolatori ipotalamici (Yeoh et al., 2017), sebbene la sua affidabilità come surrogato della temperatura corporea del nucleo sia controversa (Hooper & Andrews, 2006). La misurazione della temperatura timpanica può essere effettuata in modo non invasivo mediante un termometro a infrarossi, ma può essere influenzata da fattori ambientali, dall'anatomia del condotto uditivo esterno, dalla presenza di cerume e dall'abilità dell'operatore (Moran & Mendal, 2002). Inoltre, il termometro timpanico a infrarossi essendo concepito per il campionamento manuale non consente il monitoraggio della temperatura corporea in continuo (Lim et al., 2008).

### 3.1.2 Obiettivi dello studio

L'obiettivo principale dello studio è stimare l'entità dell'associazione tra l'andamento della frequenza cardiaca e l'andamento della temperatura nel condotto uditivo esterno durante l'esercizio fisico prolungato eseguito a intensità moderata e in stato stazionario. L'individuazione di una forte correlazione potrebbe consentire a studi futuri di sviluppare modelli di previsione dell'intensità metabolica capaci di stimare l'aumento della frequenza cardiaca attribuibile alla deriva cardiovascolare attraverso il monitoraggio della temperatura corporea a livello auricolare (Polsinelli et al., 2021).

La temperatura nel condotto uditivo esterno può essere monitorata sia misurando il trasferimento di calore per conduzione dalla parete mediante una sonda a contatto sia misurando il trasferimento di calore per irraggiamento dalla membrana timpanica mediante un termometro timpanico a infrarossi. Pertanto, l'obiettivo secondario dello studio è valutare il grado di concordanza tra la temperatura auricolare e la temperatura timpanica a riposo e durante l'esercizio fisico incrementale fino all'80% della massima frequenza cardiaca teorica e il successivo defaticamento in stato stazionario.

### 3.1.3 Ipotesi di ricerca

Durante l'esercizio aerobico prolungato eseguito a intensità moderata e in stato stazionario l'aumento della frequenza cardiaca dovuto alla deriva cardiovascolare si associa all'aumento della temperatura corporea nel condotto uditivo esterno.

## 3.2 Metodi

### 3.2.1 Campione

Trenta ciclisti adulti di entrambi i sessi e con un livello di prestazione  $\geq 3$  su una scala da 1 a 5 (Decroix et al., 2016; De Pauw et al., 2013) saranno reclutati per lo studio.

### 3.2.2 Criteri di selezione del campione

Criteri di inclusione:

1. Soggetti di entrambi i sessi e di età compresa tra 18 e 45 anni.
2. Indice di massa corporea (IMC) di 18,5-24,9 kg/m<sup>2</sup>.
3. Avere la certificazione medica valida di idoneità al ciclismo agonistico.
4. Esperienza di allenamento ciclistico  $\geq 3$  anni per entrambi i sessi.
5. Frequenza di allenamento ciclistico settimanale  $\geq 3$  giorni per entrambi i sessi.
6. Tempo di allenamento ciclistico settimanale  $\geq 5$  ore per entrambi i sessi.
7. Massima potenza erogata aerobica (PEA<sub>max</sub>) assoluta  $\geq 320$  W per i maschi e  $\geq 235$  W per le femmine.
8. Massima potenza erogata aerobica (PEA<sub>max</sub>) relativa  $\geq 4,6$  W/kg per i maschi e  $\geq 3,8$  W/kg per le femmine.
9. Massimo consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_2$ max) relativo  $\geq 55$  mL · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup> per i maschi e  $\geq 48$  mL · min<sup>-1</sup> · kg<sup>-1</sup> per le femmine.
10. Massimo consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_2$ max) assoluto  $\geq 4,2$  L/minuto per i maschi e  $\geq 3$  L/minuto per le femmine.

Criteri di esclusione:

1. Presenza di patologie cardiovascolari.
2. Presenza di patologie dell'orecchio o ostruzioni del condotto uditivo esterno.
3. Presenza di patologie capaci di influenzare la termoregolazione.
4. Uso di farmaci capaci di influenzare la frequenza cardiaca, il volume ematico, la pressione sanguigna o la termoregolazione.
5. Uso di farmaci capaci di influenzare le capacità psicofisiche.
6. Essere in stato di gravidanza o in menopausa (per le femmine).

### 3.2.3 Reclutamento dei soggetti

Il reclutamento dei soggetti nello studio sarà effettuato in modo sequenziale sul territorio della provincia di Frosinone (Italia), in particolare nelle città limitrofe all'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale. Nel dettaglio, presso associazioni sportive dilettantistiche, palestre, manifestazioni sportive e attività commerciali specializzate attraverso il passaparola e la disseminazione di annunci pubblicitari (Appendice A). Dopo l'adesione, l'illustrazione dettagliata dello studio e la concessione di un periodo di tempo ragionevole per elaborare le informazioni ricevute e confrontarsi con terze persone saranno acquisiti il consenso informato e l'autorizzazione al trattamento dei dati personali attraverso la sottoscrizione della relativa documentazione. Il consenso informato dovrà essere espresso personalmente, liberamente e consapevolmente e sarà revocabile in qualsiasi momento. Inoltre, sarà informato il medico di medicina generale dei singoli partecipanti per accogliere eventuali obiezioni od osservazioni in merito alla partecipazione allo studio.

### 3.2.4 Raccolta dei dati di base

Nella fase iniziale dello studio saranno registrati i dati personali dei partecipanti, depositate le copie di un documento di riconoscimento e della certificazione medica di idoneità al ciclismo agonistico, assegnato un codice identificativo per garantire l'anonimato, verificati i criteri di inclusione ed esclusione ed effettuate le principali misurazioni antropometriche e la familiarizzazione con le procedure sperimentali.

La composizione corporea sarà stimata tramite la densità corporea (Heyward & Wagner, 2004; Siri, 1993) precedentemente stimata tramite la plicometria, ovvero misurando lo spessore delle pliche cutanee addominale, tricipitale, pettorale, medio ascellare, sottoscapolare, sovrailiaca e quadricipitale (Jackson & Pollock, 1985; Pollack et al., 1980). Lo spessore delle pliche cutanee sarà misurato mediante un plicometro meccanico professionale (Skinfold Caliper, GIMA 27320, Metrica S.p.A.) ripetendo per tre volte l'operazione. Inoltre, con i soggetti seduti in posizione comoda e dopo un periodo di rilassamento di almeno 20 minuti, sarà misurata alternativamente per tre volte la temperatura timpanica di entrambi gli orecchi mediante un termometro timpanico a infrarossi professionale (Genius 2, Covidien llc) con l'obiettivo di stimare l'eventuale differenza tra orecchio destro e orecchio sinistro; la medesima procedura di misurazione sarà ripetuta dopo aver isolato per 5 minuti il condotto uditivo esterno di entrambi gli orecchi mediante un archetto antirumore preriscaldato (JAZZ-BAND 2, Moldex-Metric AG & Co. KG) e ripetuta nuovamente dopo 5 minuti dalla rimozione

con l'obiettivo di stimare l'eventuale effetto dell'isolamento dall'ambiente esterno sulla temperatura timpanica. Il preriscaldamento sarà effettuato posizionando l'archetto antirumore sotto gli indumenti dei soggetti a livello addominale per almeno 10 minuti prima dell'utilizzo. Per garantire le migliori condizioni igieniche entrambi gli inserti auricolari dell'archetto antirumore saranno isolati con un rivestimento monouso ricavato da un guanto in nitrile di massa ridotta (~3 g) e taglia piccola (S) per uso alimentare (nyte, walking, Brenta S.r.l. oppure Reflexx 77, Reflexx S.p.A.).

### 3.2.5 Prove ciclistiche e misure fisiologiche

Nella fase centrale dello studio saranno effettuate due prove ciclistiche sotto massimali con monitoraggio non invasivo della frequenza cardiaca, della temperatura auricolare e della temperatura timpanica. Le prove ciclistiche saranno distanziate da un minimo di 24 ore fino a un massimo di 10 giorni. Nelle femmine, sarà evitato di eseguire le prove sperimentali durante la fase luteinica media del ciclo mestruale per limitare le influenze ormonali sulla temperatura corporea e sulla frequenza cardiaca (Janse de Jonge, 2003). Prima di eseguire le prove ciclistiche i valori basali della frequenza cardiaca e della temperatura auricolare saranno monitorati per 10 minuti con i soggetti seduti in una posizione comoda e dopo un periodo di rilassamento di almeno 20 minuti. I valori basali saranno ottenuti calcolando la media dei valori misurati negli ultimi 5 minuti del monitoraggio, mentre il valore basale della temperatura timpanica sarà ottenuto effettuando una misurazione al termine del monitoraggio delle altre variabili fisiologiche per evitare di influenzare la frequenza cardiaca.

La prima prova ciclistica consisterà in un'esercitazione incrementale fino all'80% della massima frequenza cardiaca teorica stimata mediante la formula  $220 - \text{età}$  (Fox et al., 1971) e sarà utilizzata per valutare il grado di concordanza tra le misurazioni della temperatura auricolare a livello della parete del condotto uditivo esterno effettuate in continuo e quelle della temperatura timpanica effettuate manualmente. Inoltre, questa prova ciclistica sarà utilizzata per stimare la relazione soggetto-specifica tra frequenza cardiaca e potenza erogata necessaria per determinare la potenza corrispondente all'intensità target della seconda prova ciclistica.

Protocollo della prova ciclistica incrementale:

1. Intensità iniziale di 100 W per i maschi e 50 W per le femmine a 70-90 rpm e incrementi di 25 W ogni 3 minuti fino al raggiungimento e mantenimento dell'80% della massima frequenza cardiaca teorica per 3 minuti.
2. 10 minuti di defaticamento con intensità di 50-100 W a 70-90 rpm.

La seconda prova ciclistica consisterà in un'esercitazione prolungata in stato stazionario con intensità al limite superiore del moderato e in ambiente neutro e sarà utilizzata per valutare l'associazione tra l'andamento della frequenza cardiaca e l'andamento della temperatura nel condotto uditivo esterno. L'intensità di esercizio moderata della seconda prova ciclistica sarà stimata utilizzando una percentuale della riserva di frequenza cardiaca (da Cunha et al., 2011; Earhart et al., 2015; Garber et al., 2011; Karvonen et al., 1957; Lounana et al., 2007). Nelle esercitazioni di resistenza aerobica un livello moderato di intensità è compreso tra il 40% e il 59% della riserva di frequenza cardiaca o della riserva di consumo di ossigeno (Garber et al., 2011).

La frequenza cardiaca target (FCtarget) corrispondente all'intensità di esercizio desiderata sarà calcolata utilizzando la seguente equazione:

$$FC_{target} = \{[(FC_{max} - FC_{riposo}) \times \% FC_{riserva}] / 100\} + FC_{riposo}$$

dove FCmax è la massima frequenza cardiaca, FCriposo la frequenza cardiaca a riposo e % FCriserva la percentuale della riserva di frequenza cardiaca. La frequenza cardiaca target sarà convertita in potenza target utilizzando la relazione soggetto-specifica tra frequenza cardiaca e potenza erogata precedentemente stimata tramite la prima prova ciclistica. L'individuazione della potenza target consentirà di mantenere costante il carico di lavoro assoluto dell'esercitazione e di conseguenza l'intensità metabolica.

Protocollo della prova ciclistica in stato stazionario:

1. 10 minuti di riscaldamento con intensità crescente fino al raggiungimento del target (5 minuti al 50% del target, 3 minuti all'80% del target e 2 minuti al 90% del target) a 70-90 rpm.
2. 120 minuti con intensità pari alla potenza erogata corrispondente al 59% della riserva di frequenza cardiaca a 70-90 rpm.
3. 10 minuti di defaticamento con intensità pari al 50% del target a 70-90 rpm.

Le prove ciclistiche saranno eseguite con le biciclette utilizzate abitualmente dai singoli partecipanti per massimizzare il comfort e indossando una divisa da ciclismo estiva. Le biciclette saranno montate su un rullo da allenamento professionale munito di freno magnetico con 30 posizioni certificate (MagneticDays JARVIS, O.R.F. S.r.l.) e di software (MD Training, O.R.F. S.r.l.) per sviluppare i protocolli di allenamento, acquisire e trasferire i dati e visualizzare in tempo reale i parametri di lavoro (tempo trascorso, velocità, cadenza di pedalata, potenza erogata, coppia motrice e frequenza cardiaca). Questo attrezzo tramite una specifica funzione (AUTO) e l'impostazione del carico di lavoro desiderato è capace di mantenere costante la potenza erogata regolando automaticamente la resistenza sul volano in base alla cadenza di pedalata.

Durante le prove ciclistiche saranno monitorate la frequenza cardiaca, la temperatura auricolare dell'orecchio destro e la temperatura timpanica (radiazione infrarossa) dell'orecchio sinistro. Prima di effettuare le misurazioni della temperatura, sarà ispezionato visivamente il condotto uditivo esterno di entrambi gli orecchi per verificare l'assenza di ostruzioni o anomalie.

La frequenza cardiaca sarà monitorata mediante un cardiofrequenzimetro wireless a fascia toracica (Soft Strap Premium Heart Rate Monitor, Garmin Ltd) posizionato sotto il petto dei soggetti. Per il trasferimento dei dati il cardiofrequenzimetro sarà associato al rullo da allenamento tramite una connessione wireless a corto raggio (ant+).

La temperatura auricolare sarà monitorata nell'orecchio destro mediante misurazioni in continuo con un dispositivo indossabile (C-Temp, Cosinuss GmbH) costituito da un modulo retro-auricolare e da una sonda a contatto regolabile. Il dispositivo presenta una modifica del firmware apportata su richiesta dal produttore per ottenere valori di temperatura senza correzioni. Per il trasferimento dei dati il dispositivo sarà associato a uno smartphone o tablet tramite una connessione wireless a corto raggio (Bluetooth). L'applicazione software (cosinuss° saveXport, Cosinuss GmbH oppure cosinuss° Lab, Cosinuss GmbH) fornita dal produttore permette di visualizzare in tempo reale la temperatura misurata e di acquisire i dati per il successivo trasferimento su PC. Per garantire le migliori condizioni igieniche la sonda a contatto e l'intero modulo retro-auricolare del dispositivo indossabile saranno isolati con un rivestimento monouso ricavato da un guanto in nitrile di massa ridotta (~3 g) e taglia piccola (S) per uso alimentare (nyte, walking, Brenta S.r.l. oppure Reflexx 77, Reflexx S.p.A.) (Figura 2).

Per evitare la fuoriuscita della sonda del dispositivo indossabile dal condotto uditivo esterno o per limitare movimenti indesiderati sarà utilizzato un archetto antirumore opportunamente modificato (JAZZ-BAND 2, Moldex-Metric AG & Co. KG) (Figura 1; Figura 2). La modifica consiste nella rimozione parziale del supporto dell'insero auricolare destro e nell'inserimento sulla parte restante di un piccolo cilindro in cloruro di polivinile (PVC) plastificato atossico capace di accogliere la base della sonda ed esercitare una leggera pressione (~1,2 N). L'insero auricolare controlaterale dell'archetto antirumore sarà posizionato normalmente all'ingresso del condotto uditivo esterno sinistro. Per garantire le migliori condizioni igieniche entrambe le estremità dell'archetto antirumore saranno isolate con un sottile rivestimento monouso in nitrile (Figura 2), come nel caso del dispositivo auricolare. Inoltre, per regolare la lunghezza utile della sonda e ridistribuire la pressione esercitata dall'archetto antirumore modificato saranno applicati tra la sonda e l'ingresso del condotto uditivo esterno due anelli monouso ricavati da tamponi di cotone idrofilo.

**Figura 1. Rapporti spaziali tra il dispositivo indossabile per la misurazione in continuo della temperatura auricolare e l'archetto antirumore modificato senza il rivestimento monouso in nitrile.**



**Figura 2. Rapporti spaziali tra il dispositivo indossabile per la misurazione in continuo della temperatura auricolare e l'archetto antirumore modificato con il rivestimento monouso in nitrile.**



La temperatura timpanica sarà monitorata nell'orecchio sinistro mediante campionamento manuale con un termometro timpanico a infrarossi professionale (Genius 2, Covidien llc) effettuando la manovra otoscopica di raddrizzamento del condotto uditivo esterno e dirigendo la sonda verso la membrana timpanica. Questa manovra, che sarà eseguita da un operatore addestrato, consiste in una moderata trazione posteriormente e superiormente del padiglione auricolare effettuata nel punto medio tra l'apice dell'elice e l'estremità inferiore del lobulo e consente di ottenere misurazioni della temperatura timpanica più accurate (Terndrup & Rajk, 1992). Il termometro timpanico sarà impostato in modalità orecchio (EAR) per ottenere valori di temperatura senza correzioni per l'equivalenza con altri siti. Inoltre, questo strumento è munito di cappucci copri sonda sostituibili (Tympanic Probe Covers, 303030, Covidien llc) per garantire le migliori condizioni igieniche ad ogni utilizzo. La temperatura timpanica sarà misurata ogni 3 minuti durante la prova ciclistica incrementale e ogni 5 minuti durante la prova ciclistica prolungata. Prima di eseguire le misurazioni della temperatura timpanica l'estremità sinistra dell'archetto antirumore sarà temporaneamente spostata per consentire l'accesso al condotto uditivo esterno.

### 3.2.6 Indicazioni generali

Durante la prova ciclistica prolungata in stato stazionario per limitare la disidratazione, ovvero una riduzione della massa corporea  $>2\%$ , i soggetti dovranno assumere ogni 10 minuti una dose di acqua minerale (SANGEMINI, Acque Minerali d'Italia S.p.A.) a temperatura ambiente per un quantitativo totale compreso tra 0,4 e 0,8 L ogni ora in base alla massa corporea iniziale (American College of Sports Medicine et al., 2007).

Idratazione in base alla massa corporea dei soggetti:

1. 50-<60 kg = 0,4 L/ora.
2. 60-<70 kg = 0,5 L/ora.
3. 70-<80 kg = 0,6 L/ora.
4. 80-<90 kg = 0,7 L/ora.
5.  $\geq 90$  kg = 0,8 L/ora.

Per prevenire disturbi o disagi dovuti alla permanenza sulla bicicletta, durante la prova ciclistica prolungata i soggetti potranno eseguire un fuori sella ogni 10-20 minuti della durata di ~5 secondi. La massa corporea dei soggetti sarà misurata prima e dopo le prove ciclistiche con una bilancia digitale (RD-953, innerScan DUAL, TANITA Corporation) per valutare la disidratazione. Queste misurazioni saranno effettuate con il corpo asciutto in indumenti intimi e possibilmente dopo aver urinato.

Prima delle prove ciclistiche, i partecipanti allo studio dovrebbero:

1. Assumere almeno 1,9 L/giorno di acqua nelle 48 ore precedenti.
2. Assumere un'adeguata quantità di carboidrati (~60% delle kcal/giorno) nelle 48 ore precedenti.
3. Astenersi dall'assumere caffeina, alcol, nicotina o altri stimolanti per  $\geq 4$  ore.
4. Assumere l'ultimo pasto 4-6 ore prima.
5. Astenersi dall'attività fisica moderata per  $\geq 2$  ore e dall'attività fisica strenua per  $\geq 14$  ore.
6. Assumere 500 mL di acqua minerale nei 60 minuti precedenti.
7. Riposare per  $\geq 20$  minuti prima di monitorare i valori basali fisiologici.

Durante lo studio i soggetti dovranno redigere un diario riguardante la dieta e l'esercizio fisico nelle 48 ore precedenti le prove ciclistiche (Appendice B) per consentire di valutare la congruenza dei comportamenti con le indicazioni fornite. Al termine delle prove ciclistiche i soggetti riceveranno bevande e cibi confezionati e un questionario auto-compilato per indagare il livello di comfort o di disagio percepito durante le procedure sperimentali (Appendice C). Il questionario è basato su scale Likert a cinque punti e riguarda l'utilizzo della strumentazione (cardiofrequenzimetro a fascia toracica, polsi-ossimetro con sensore da dito, dispositivo auricolare con sonda a contatto supportato dall'archetto antirumore e termometro timpanico a infrarossi) e del rullo da allenamento e la sostenibilità dell'esercitazione ciclistica prolungata.

### 3.2.7 Analisi statistica

I dati numerici (età, indice di massa corporea, % massa grassa, FCriposo, FCmax teorica e massima potenza erogata all'80% FCmax) saranno presentati utilizzando media e deviazione standard nel caso di distribuzioni normali o mediana e range interquartile nel caso di distribuzioni non normali, mentre i dati categorici (sesso e livello di prestazione) saranno presentati attraverso tabelle di frequenza.

Il grado di concordanza tra due tipologie di misurazione della temperatura corporea nel condotto uditivo esterno, ovvero tra la temperatura auricolare dell'orecchio destro e la temperatura timpanica dell'orecchio sinistro, sarà valutato mediante l'analisi di Bland-Altman (Bland & Altman, 1986). L'associazione tra due serie temporali di dati numerici, ovvero tra la frequenza cardiaca e la temperatura auricolare e tra la frequenza cardiaca e la temperatura timpanica, sarà valutata attraverso l'analisi della correlazione incrociata (Nelson-Wong et al., 2009).

La significatività statistica sarà fissata a un livello di  $p < 0,05$ .

### 3.2.8 Ambiente di lavoro

Lo studio sarà effettuato in un locale predisposto e munito di servizi igienici presso il Laboratorio di Fisiologia dell'esercizio fisico e dello sport "Marco Marchetti" del Dipartimento di Scienze Umane, Società e della Salute dell'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale. Nel locale destinato alla sperimentazione dovranno essere garantiti un adeguato ricambio di aria tra l'ambiente interno e quello esterno, una temperatura compresa tra 18 °C e 25 °C considerando il periodo dell'anno e l'adattamento al clima dei singoli soggetti e un'umidità relativa compresa tra il 40% e il 65%. Le condizioni ambientali dovranno essere confortevoli per i partecipanti e adeguate allo svolgimento dell'esercizio aerobico prolungato indossando una divisa da ciclismo estiva. Una volta individuati i valori di temperatura e umidità relativa ideali, questi dovranno essere mantenuti il più possibile stabili durante le procedure sperimentali dello studio per limitare eventuali influenze sull'andamento delle variabili fisiologiche di interesse. Inoltre, durante lo studio le condizioni ambientali all'interno del locale saranno monitorate mediante un termo-igrometro munito di registratore dati e di schermo per la visualizzazione dei valori di temperatura e umidità relativa misurati (PCE-THB 40, PCE Deutschland GmbH).

### 3.2.9 Sicurezza delle procedure

Lo studio è stato approvato da un comitato etico indipendente (Comitato Etico "Lazio 2" con Protocollo n. 0219118 del 11.12.2019) e sarà effettuato in conformità con le norme di Buona pratica clinica (Good Clinical Practice) dell'Unione europea e in accordo con la Dichiarazione di Helsinki. Le procedure sperimentali dello studio dovranno essere eseguite da esperti nel settore delle scienze motorie e da un medico. Per garantire adeguati standard di sicurezza il locale destinato alla sperimentazione dovrà essere dotato di un equipaggiamento di pronto soccorso per la rianimazione cardiopolmonare comprensivo di defibrillatore semiautomatico esterno, pallone di rianimazione Ambu per adulti con mascherina, assortimento di cannule di Guedel sterili, pinza tiralingua e apribocca elicoidale conico. Inoltre, saranno adottate specifiche misure di contenimento per limitare il rischio di trasmissione di eventuali malattie infettive con particolare riferimento a SARS-CoV-2. Infatti, il locale destinato alla sperimentazione dovrà essere sanificato periodicamente, le superfici di appoggio e gli strumenti disinfettati accuratamente prima e dopo l'utilizzo e garantito un continuo ricambio di aria tra l'ambiente interno e quello esterno, mentre gli operatori coinvolti nello studio dovranno lavarsi accuratamente le mani e indossare guanti monouso in nitrile e mascherine monouso FFP2.

### 3.2.10 Trattamento dei dati personali

I dati personali dei soggetti che parteciperanno allo studio saranno processati in forma anonima e utilizzati esclusivamente per la realizzazione dello studio e le finalità di ricerca scientifica, in conformità alla normativa nazionale (D.lgs. 196/2003 e successivo adeguamento D.lgs. 101/2018) e alle disposizioni del regolamento europeo (GDPR 679/2016) in materia di protezione dei dati personali.

### 3.2.11 Coinvolgimento dei partecipanti e del pubblico

Alcuni atleti e rappresentanti delle organizzazioni ciclistiche hanno collaborato per migliorare il protocollo sperimentale e offerto la loro disponibilità per facilitare il processo di reclutamento dei ciclisti potenzialmente idonei. Al termine dello studio sarà consegnato ai partecipanti e al pubblico interessato un documento divulgativo per illustrare i risultati e le potenziali applicazioni pratiche di questa ricerca. Inoltre, saranno organizzati eventi divulgativi sia in ambito accademico sia sportivo.

### 3.2.12 Possibili variazioni del protocollo sperimentale

Nella prima prova ciclistica, ovvero l'esercitazione incrementale necessaria per valutare il grado di concordanza tra due metodi di monitoraggio della temperatura corporea nel condotto uditivo esterno, l'intensità da raggiungere e mantenere per 3 minuti potrebbe essere stabilita utilizzando il 70% della riserva di frequenza cardiaca oppure il 70%-80% della massima potenza erogata aerobica, in alternativa all'80% della massima frequenza cardiaca (Arts & Kuipers 1994; Garber et al., 2011). Nella seconda prova ciclistica, ovvero l'esercitazione prolungata in stato stazionario necessaria per valutare l'associazione tra l'andamento della frequenza cardiaca e l'andamento della temperatura corporea nel condotto uditivo esterno, l'intensità da mantenere costante per 120 minuti potrebbe essere stabilita utilizzando il 55%-60% della massima potenza erogata aerobica, in alternativa al 59% della riserva di frequenza cardiaca. Inoltre, in caso di difficoltà nel reclutare ciclisti con un livello di prestazione  $\geq 3$ , si potrebbero ridurre la durata dell'esercitazione prolungata in stato stazionario del 50% e i criteri di selezione a un livello di prestazione  $\geq 2$  (Decroix et al., 2016; De Pauw et al., 2013). L'utilizzo dei metodi di valutazione dell'intensità di esercizio basati sulla frequenza cardiaca potrebbe limitare l'affidabilità dello studio, mentre l'esecuzione di una prova massimale con monitoraggio dei gas respiratori richiederebbe maggiori risorse e un'adeguata assistenza clinica che limiterebbero notevolmente la fattibilità dello studio, specialmente in ambito non ospedaliero.

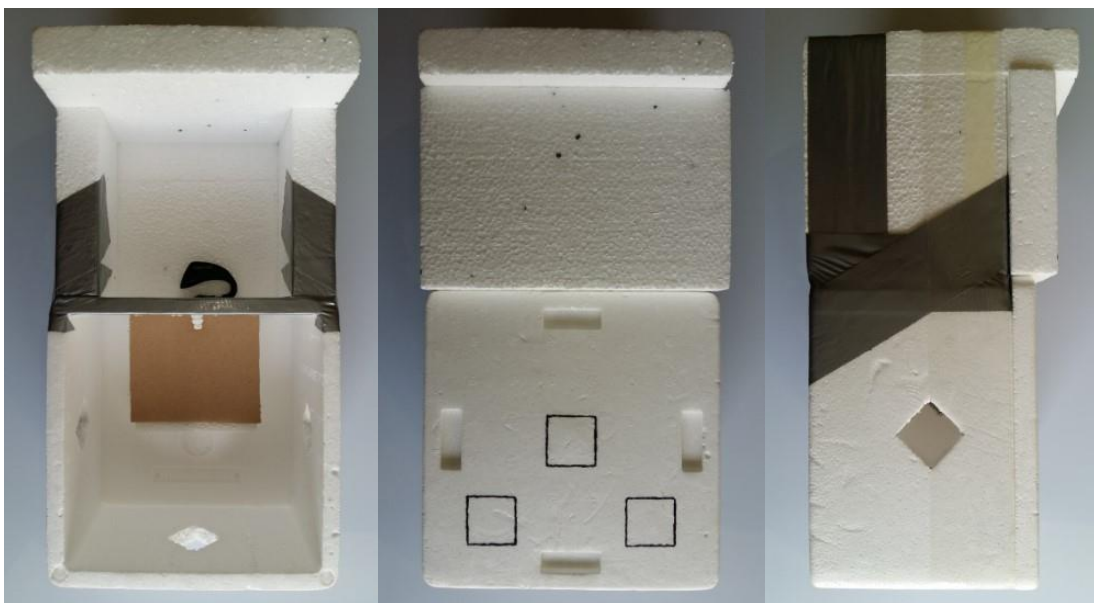
### 3.3 Taratura della strumentazione

La pressione esercitata dalla morsa del plicometro meccanico professionale (Skinfold Caliper, GIMA 27320, Metrica S.p.A.) necessario per la misurazione dello spessore delle pliche cutanee sarà verificata prima di ogni utilizzo mediante un'apposita lamina dinamometrica in dotazione con lo strumento.

Il freno magnetico del rullo da allenamento professionale (MagneticDays JARVIS, O.R.F. S.r.l.) necessario per lo svolgimento delle prove ciclistiche è stato tarato dal produttore in 30 posizioni, ovvero da 50 W a 700 W e ha mostrato una differenza media rispetto alle misurazioni effettuate con lo strumento di riferimento del 0,60%. Il confronto è stato effettuato con un torsionometro certificato ACCREDIA fino a 100 Nm.

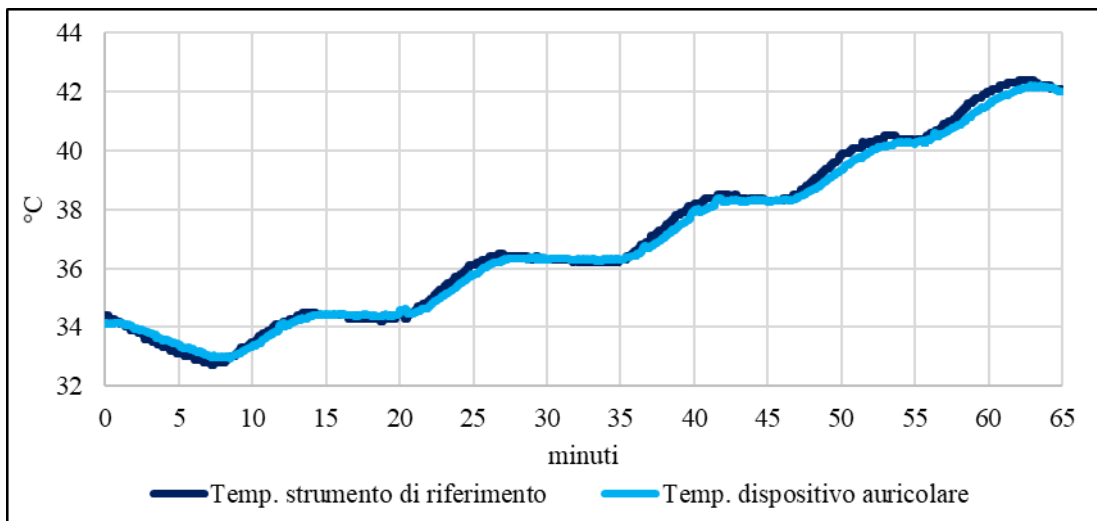
Il dispositivo indossabile per la misurazione della temperatura auricolare (C-Temp, Cosinuss GmbH) è stato tarato presso i laboratori del Parco Scientifico e Tecnologico del Lazio Meridionale (Pa.L.Mer. S.c.a.r.l.) convenzionato con l'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale. La procedura di taratura è stata eseguita mediante una camera climatica, uno strumento di riferimento e un contenitore di polistirene espanso a due compartimenti realizzato appositamente (Figura 3). La sonda auricolare del dispositivo indossabile e i sensori di temperatura dello strumento di riferimento sono stati posizionati nel compartimento munito di fori di aerazione per modulare le variazioni termiche, mentre il modulo retro-auricolare del dispositivo indossabile nel compartimento isolato per evitare l'esposizione diretta alle sollecitazioni termiche.

**Figura 3. Contenitore in polistirene espanso a due camere utilizzato per la taratura del dispositivo auricolare all'interno della camera climatica.**

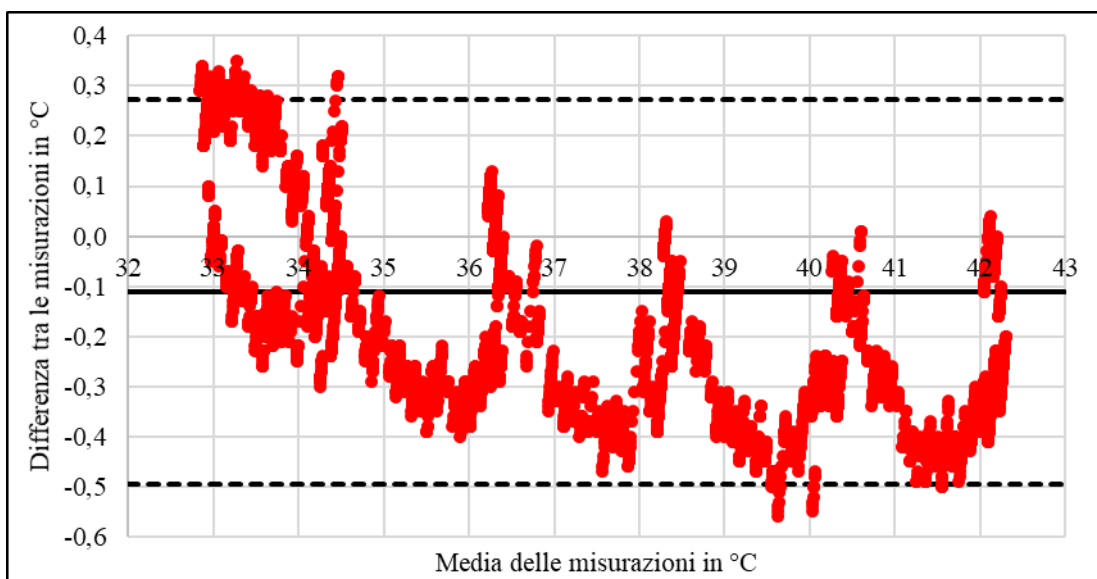


Nell'intervallo da circa 33 °C a circa 42 °C le misurazioni della temperatura effettuate con il dispositivo auricolare hanno mostrato una differenza media di  $-0,11$  °C con intervallo di confidenza (IC) al 95%  $[-0,50; 0,27]$  rispetto a quelle corrispondenti effettuate con lo strumento di riferimento (Figura 4; Figura 5). La piccola differenza osservata tra le misure di temperatura ottenute mediante i due metodi potrebbe essere dovuta alla struttura e al posizionamento del rispettivo sensore di temperatura, ovvero sotto una delle flange in silicone della sonda nel caso del dispositivo auricolare e direttamente esposto all'ambiente esterno nel caso dello strumento di riferimento.

**Figura 4. Confronto tra la temperatura rilevata dal dispositivo auricolare e quella rilevata dallo strumento di riferimento nell'intervallo da 33 °C a 42 °C.**



**Figura 5. Differenza media tra la temperatura rilevata dal dispositivo auricolare e quella rilevata dallo strumento di riferimento nell'intervallo da 33 °C a 42 °C.**



# CAPITOLO 4.

## Previsione della deriva cardiovascolare: uno studio pilota

### 4.1 Presentazione del campione

Quattro ciclisti sani, di sesso maschile ed età media di 33 anni (deviazione standard di 3,7 anni) sono stati reclutati e hanno completato tutte le fasi dello studio pilota. Le caratteristiche individuali dei soggetti reclutati sono state presentate nella Tabella 1.

**Tabella 1. Caratteristiche dei soggetti reclutati nello studio pilota.**

	<b>Unità di misura</b>	<b>Soggetto 01</b>	<b>Soggetto 02</b>	<b>Soggetto 03</b>	<b>Soggetto 04</b>
<b>IMC</b>	kg/m <sup>2</sup>	21,9	21,7	24,8	20,7
<b>% Mgrassa</b>		14,1	9,4	12,9	9,1
<b>Mmagra</b>	kg	66,6	71,1	65,4	55,7
<b>% SpO<sub>2</sub> a riposo</b>		97	97	99	99
<b>FCriposo PI</b>	bpm	70	50	51	69
<b>FCriposo PII</b>	bpm	78	48	57	61
<b>FCmax*</b>	bpm	186	175	176	179
<b>PEAmax assoluta*</b>	W	298	315	291	201
<b>PEAmax relativa</b>	W/kg	3,9	4	3,9	3,3
<b>ṂO<sub>2</sub>max assoluto**</b>	L/min	3,8	4	3,8	2,7
<b>ṂO<sub>2</sub>max relativo</b>	mL · min <sup>-1</sup> · kg <sup>-1</sup>	50	51	50	45

IMC, indice di massa corporea; Mgrassa, massa grassa; Mmagra, massa magra; SpO<sub>2</sub>, saturazione dell'ossiemoglobina periferica; FCriposo, frequenza cardiaca a riposo; PI, prima prova ciclistica; PII, seconda prova ciclistica; FCmax, massima frequenza cardiaca; PEAmax, massima potenza erogata aerobica; ṂO<sub>2</sub>max, massimo consumo di ossigeno.

\*, ottenuto dai soggetti indipendentemente da questo studio ed entro 30 giorni dalla prima prova ciclistica mediante prove di valutazione funzionale caratterizzate da una partenza di 50-100 W e incrementi di 25 W ogni 2-3 minuti fino all'esaurimento volontario (Decroix et al., 2016; De Pauw et al., 2013); \*\*, stimato mediante l'equazione  $\dot{V}O_2\text{max (L/min)} = 0,01141 \times \text{PEAmax (W)} + 0,435$  (Hawley & Noakes, 1992).

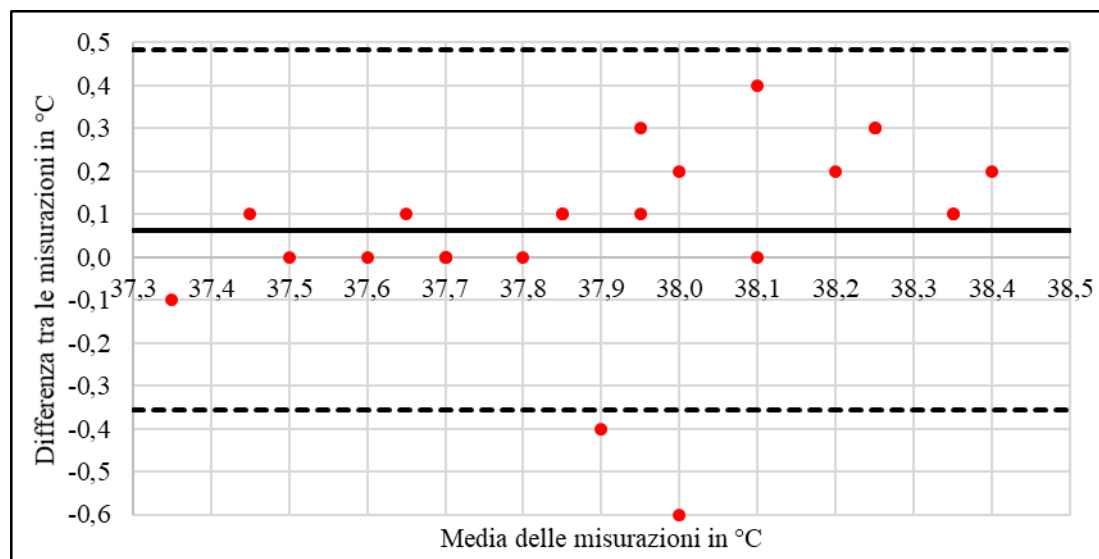
## 4.2 Risultati preliminari

### 4.2.1 Confronto tra condotto uditivo esterno chiuso e aperto

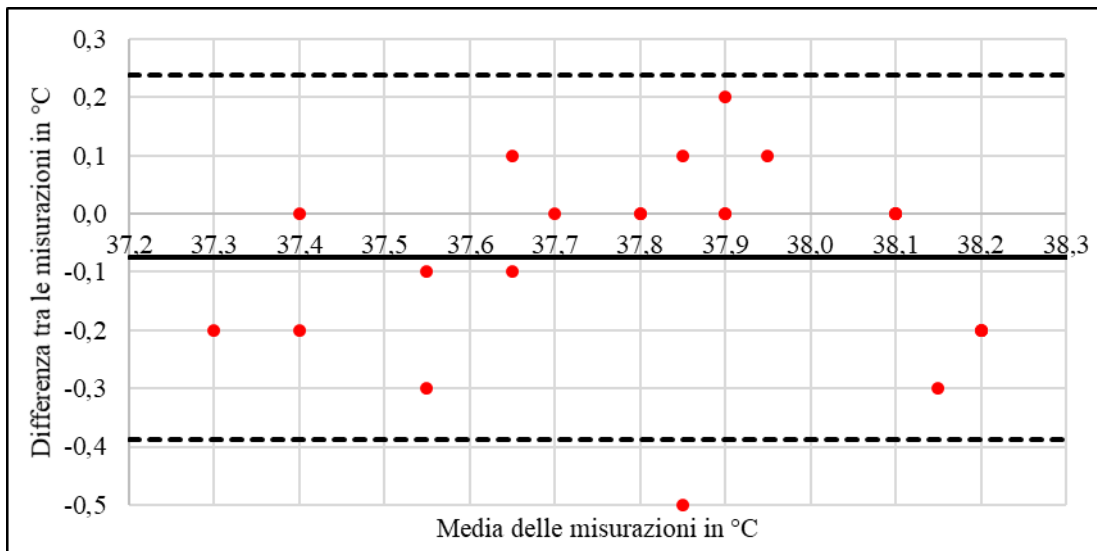
Lo studio prevede il monitoraggio della temperatura corporea a livello auricolare durante le prove ciclistiche mantenendo il condotto uditivo esterno chiuso, ovvero nell'orecchio destro dalla sonda a contatto del dispositivo auricolare e nell'orecchio sinistro, fino a 1-2 secondi prima del campionamento manuale con il termometro timpanico a infrarossi, dall'inserito auricolare sinistro integro dell'archetto antirumore modificato. Pertanto, è stata effettuata una prova composta da tre fasi successive per valutare l'effetto dell'isolamento del condotto uditivo esterno sulla temperatura timpanica in condizioni di riposo e ambiente neutro.

La temperatura timpanica è stata misurata in entrambi gli orecchi con il condotto uditivo esterno aperto (T0), dopo aver indossato un archetto antirumore per 5 minuti (T1) e dopo 5 minuti dalla rimozione dello stesso (T2). La prova è durata circa 24 minuti, nei quali la temperatura ambiente è stata di 20,3 °C con deviazione standard (DS) di 0,7 °C (DS nelle singole prove  $\leq 0,3$ ) e l'umidità relativa del 53% con DS del 5,8%. Le misurazioni della temperatura timpanica effettuate in T1 con il condotto uditivo esterno chiuso hanno mostrato una differenza media di 0,06 °C con IC al 95% [-0,36; 0,48] rispetto a quelle corrispondenti effettuate in T0 con il condotto uditivo esterno aperto (Figura 6), mentre quelle effettuate in T2 con il condotto uditivo esterno nuovamente aperto hanno mostrato una differenza media di -0,07 °C con IC al 95% [-0,39; 0,24] rispetto a quelle corrispondenti effettuate in T0 (Figura 7).

**Figura 6. Differenza media tra la temperatura timpanica in T1 e quella in T0 presentata mediante l'analisi di Bland-Altman.**



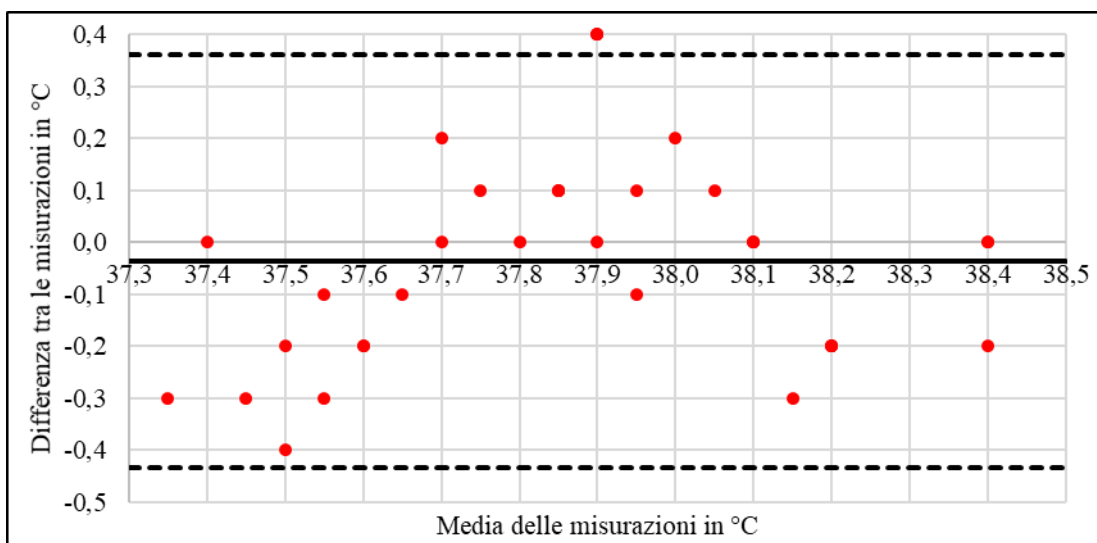
**Figura 7. Differenza media tra la temperatura timpanica in T2 e quella in T0 presentata mediante l'analisi di Bland-Altman.**



#### 4.2.2 Confronto tra orecchio destro e sinistro

Lo studio prevede il monitoraggio della temperatura corporea a livello auricolare in entrambi gli orecchi in modo parallelo. Pertanto, è stata utilizzata la prova descritta precedentemente per effettuare il confronto tra la temperatura timpanica dell'orecchio destro e quella dell'orecchio sinistro. Le misurazioni della temperatura timpanica dell'orecchio destro hanno mostrato una differenza media di  $-0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$  con IC al 95%  $[-0,43; 0,36]$  rispetto a quelle corrispondenti dell'orecchio sinistro (Figura 8).

**Figura 8. Differenza media tra la temperatura timpanica dell'orecchio destro e quella dell'orecchio sinistro presentata mediante l'analisi di Bland-Altman.**



### 4.2.3 Prima prova ciclistica

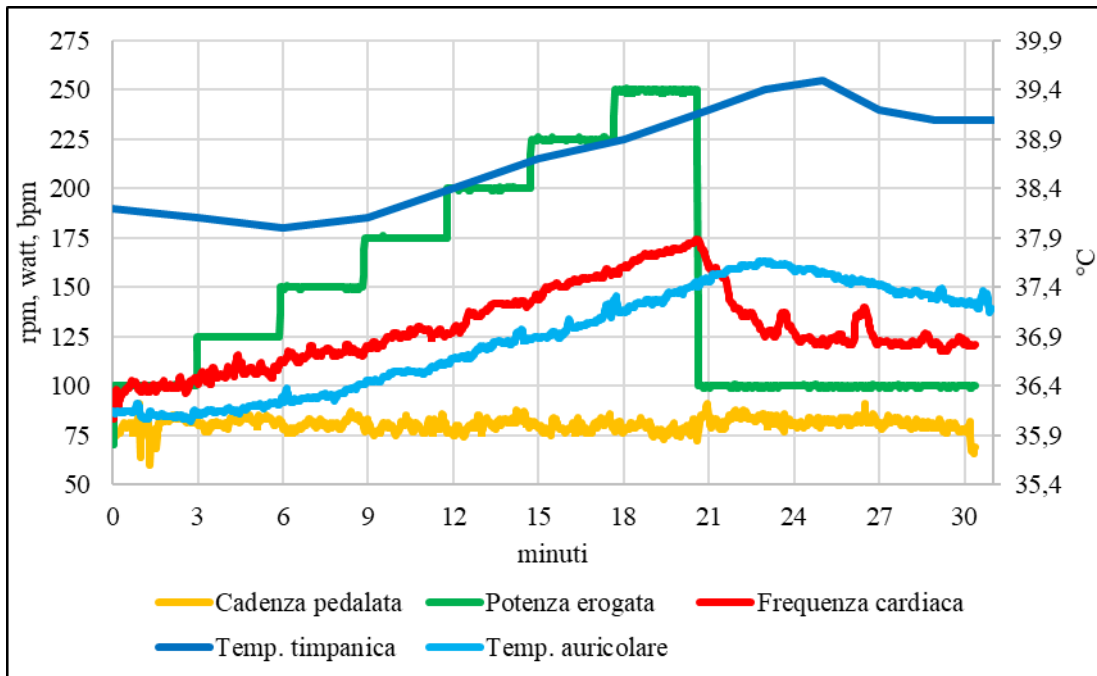
La prima prova ciclistica è stata utilizzata per confrontare la temperatura timpanica e la temperatura auricolare sia in condizioni di riposo sia di lavoro muscolare aerobico. Infatti, la successiva prova ciclistica necessaria per verificare l'ipotesi di ricerca prevede il campionamento manuale della temperatura timpanica nell'orecchio sinistro con un termometro timpanico a infrarossi professionale (Genius 2, Covidien llc) e la misurazione in continuo della temperatura auricolare nell'orecchio destro con un dispositivo indossabile munito di sonda a contatto (C-Temp, Cosinuss GmbH).

Per il confronto tra i due metodi di misurazione della temperatura corporea nel condotto uditivo esterno in condizioni di riposo sono state considerate le misurazioni effettuate al termine del monitoraggio dei valori basali relativi alle due prove ciclistiche dello studio, mentre per quello in condizioni di lavoro muscolare sono state considerate le misurazioni effettuate durante la prima prova ciclistica caratterizzata da una fase incrementale fino all'80% della massima potenza erogata aerobica e da una seguente fase di defaticamento in stato stazionario. L'intensità da raggiungere nella fase incrementale è stata stabilita approssimando per eccesso, se lo scarto è risultato  $<15$  W, l'80% della massima potenza erogata aerobica considerando un'intensità iniziale di 100 W e incrementi di 25 W ogni 3 minuti. Le misurazioni della temperatura timpanica sono state effettuate ogni 3 minuti durante la fase incrementale e ogni 2 minuti durante la fase in stato stazionario della durata di 10 minuti, mentre quelle della temperatura auricolare sono state registrate ogni secondo. Per valutare la differenza media tra le misurazioni effettuate con i due metodi è stata calcolata la media dei valori della temperatura auricolare negli intervalli di tempo corrispondenti ai campionamenti manuali della temperatura timpanica. Nel dettaglio, al termine del monitoraggio dei valori basali a riposo è stata calcolata la media delle misurazioni della temperatura auricolare registrate nel minuto in cui è stata campionata la temperatura timpanica, mentre durante la prima prova ciclistica è stata calcolata la media delle misurazioni registrate negli intervalli da 3 minuti della fase incrementale e negli intervalli da 2 minuti della fase in stato stazionario in cui è stata campionata la temperatura timpanica.

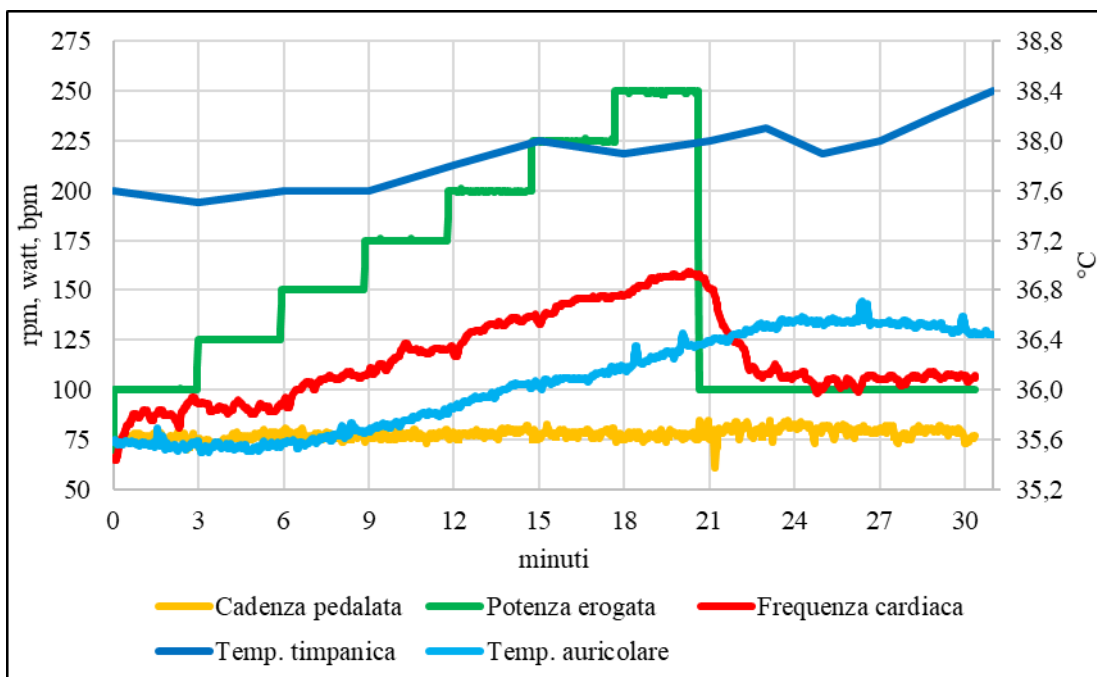
Durante le misurazioni della temperatura auricolare e della temperatura timpanica effettuate in condizioni di riposo la temperatura ambiente è stata di 20 °C con DS di 1,6 °C (DS nelle singole prove  $\leq 0,1$ ) e l'umidità relativa del 50,4% con DS del 5%, mentre durante quelle effettuate in condizioni di lavoro muscolare la temperatura ambiente è stata di 21,2 °C con DS di 0,7 °C (DS nelle singole prove  $\leq 0,3$ ) e l'umidità relativa del 51,9% con DS del 5,7%. Inoltre, al termine della prima prova ciclistica la massa corporea è diminuita del 0,5% con DS del 0,2% senza assunzione di liquidi.

### 4.2.3.1 Rappresentazione grafica in forma individuale

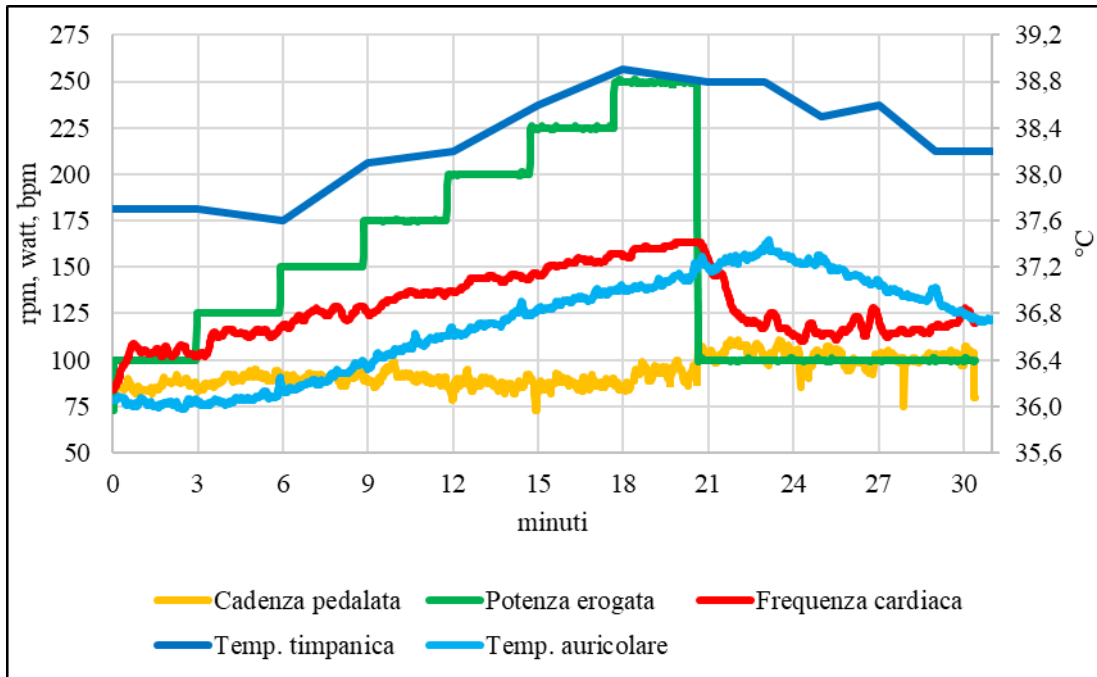
**Figura 9. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 01 durante l'esercitazione ciclistica incrementale con defaticamento stazionario.**



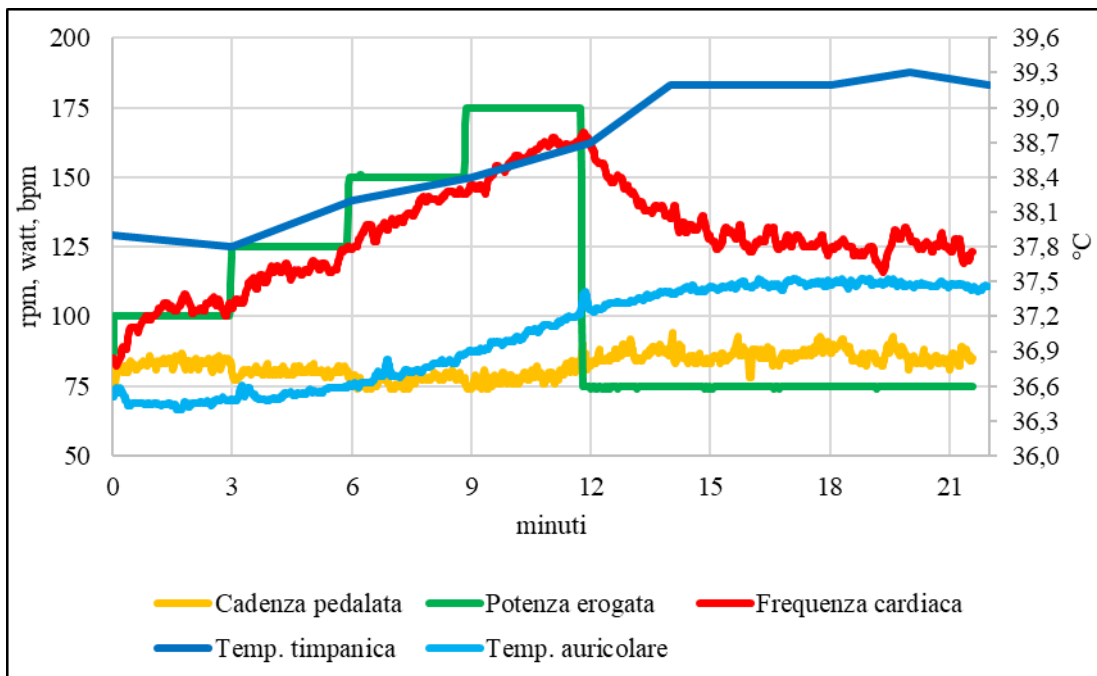
**Figura 10. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 02 durante l'esercitazione ciclistica incrementale con defaticamento stazionario.**



**Figura 11. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 03 durante l'esercitazione ciclistica incrementale con defaticamento stazionario.**



**Figura 12. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 04 durante l'esercitazione ciclistica incrementale con defaticamento stazionario.**

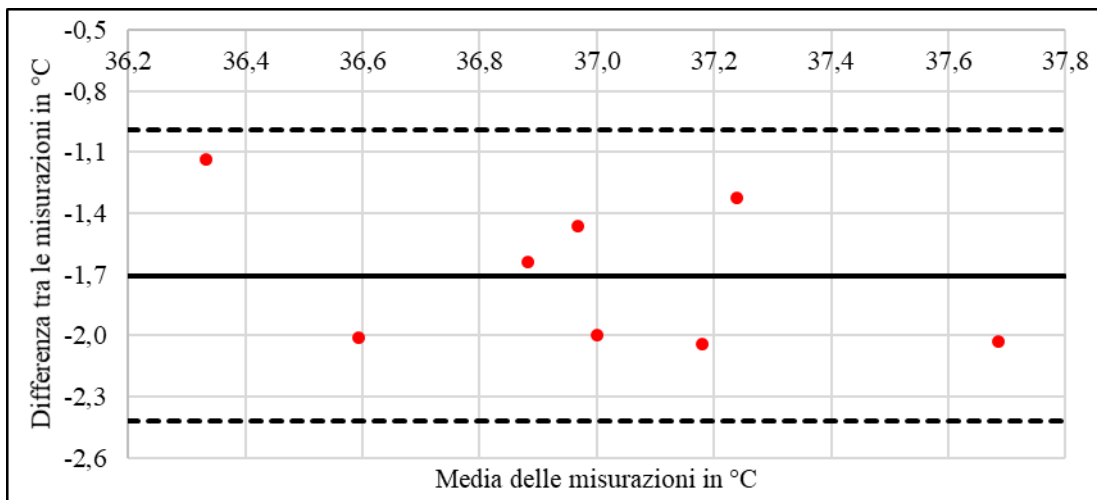


Il ritardo nell'andamento delle variabili gestite dal rullo da allenamento è dovuto a un artefatto generato dal software durante il salvataggio dei dati in formato CSV.

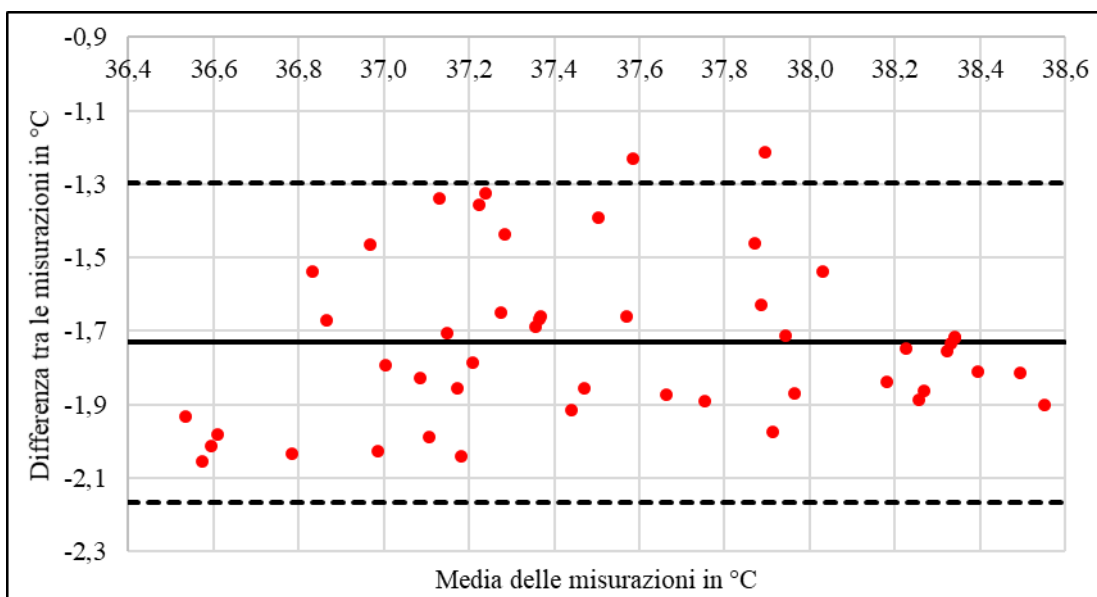
#### 4.2.3.2 Confronto tra temperatura auricolare e timpanica in condizioni di riposo e di lavoro muscolare

In condizioni di riposo le medie delle misurazioni in continuo della temperatura auricolare hanno mostrato una differenza media di  $-1,70\text{ }^{\circ}\text{C}$  con IC al 95%  $[-2,42; -0,99]$  rispetto alle corrispondenti misurazioni manuali della temperatura timpanica (Figura 13), mentre in condizioni di lavoro muscolare le stesse variabili hanno mostrato una differenza media di  $-1,73\text{ }^{\circ}\text{C}$  con IC al 95%  $[-2,17; -1,30]$  (Figura 14).

**Figura 13. Differenza media tra la temperatura auricolare e quella timpanica in condizioni di riposo presentata mediante l'analisi di Bland-Altman.**



**Figura 14. Differenza media tra la temperatura auricolare e quella timpanica in condizioni di lavoro muscolare presentata mediante l'analisi di Bland-Altman.**



#### 4.2.4 Seconda prova ciclistica

La raccolta dati dello studio pilota è iniziata nel mese di novembre 2021, ovvero nel periodo successivo alla stagione agonistica per quanto riguarda il ciclismo su strada caratterizzato da intensità, volume e frequenza degli allenamenti ridotti. Considerando la riduzione del carico di lavoro dell'allenamento settimanale e il livello di prestazione dei soggetti reclutati inferiore a quello previsto dallo studio sono state diminuite la durata e l'intensità della seconda prova ciclistica rispettivamente del 50% e del 3%-14% in base al caso specifico e al metodo di valutazione. I parametri della seconda prova ciclistica, incluse le condizioni ambientali, sono stati presentati nella Tabella 2.

**Tabella 2. Parametri della seconda prova ciclistica dello studio pilota.**

	<b>Unità di misura</b>	<b>Soggetto 01</b>	<b>Soggetto 02</b>	<b>Soggetto 03</b>	<b>Soggetto 04</b>
<b>Durata della fase centrale</b>	minuti	60	60	60	60
<b>Intensità in % PE<sub>Amax</sub>*</b>		50	52	48	55
<b>Intensità in % FC<sub>riserva</sub>*</b>		48	57	53	50
<b>Intensità in % FC<sub>riserva</sub>*,**</b>		48	54	50	45
<b>Temperatura ambiente (DS)*</b>	°C	21,5 (0,1)	18,5 (0,2)	18,3 (0,1)	18,5 (0,2)
<b>% Umidità relativa (DS)*</b>	°C	48,2 (4)	56,1 (3)	62,5 (4,4)	50,8 (0,9)
<b>Ventilazione ambiente***</b>	m/s	~1,5	≤0,2	≤0,2	≤0,2
<b>Diff. % MC dopo-prima</b>		-0,45	-0,95	-1,33	0
<b>Assunzione di acqua minerale in base alla MC</b>	L/ora	0,6	0,6	0,6	0,5

PE<sub>Amax</sub>, massima potenza erogata aerobica; FC<sub>riserva</sub>, riserva di frequenza cardiaca; DS, deviazione standard; Diff., differenza; MC, massa corporea.

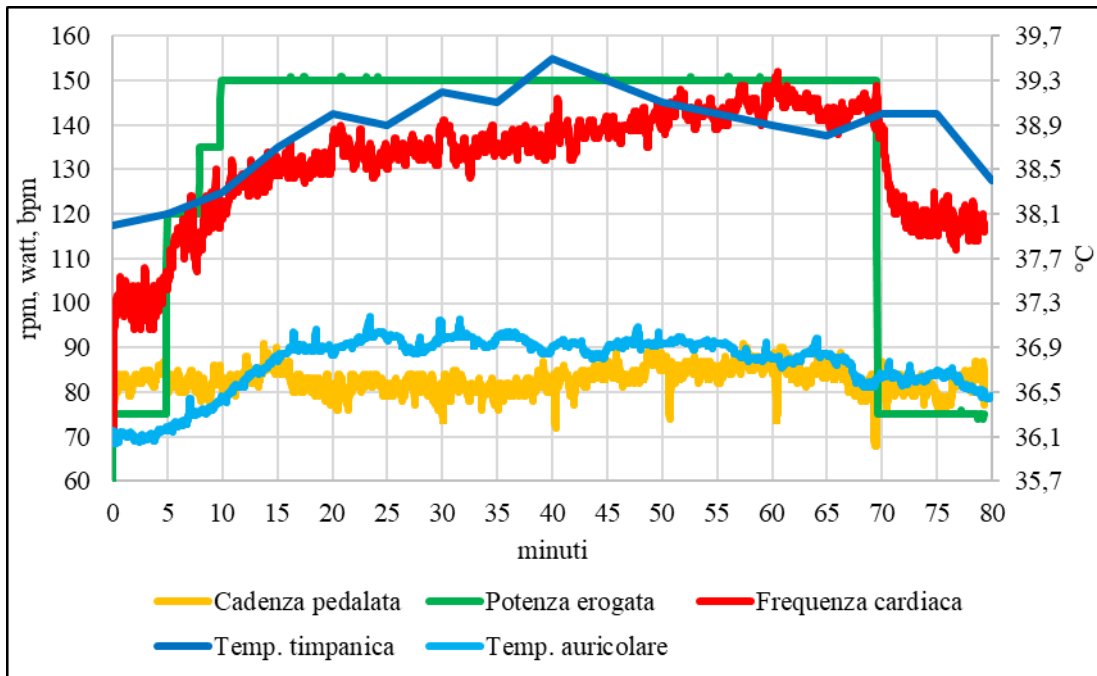
\*, riferito alla fase centrale della prova; \*\*, massima frequenza cardiaca calcolata mediante la formula  $220 - \text{età}$  (Fox et al., 1971); \*\*\*, ventilazione >0,2 m/s effettuata frontalmente con un ventilatore industriale da pavimento (Zephir ZDC60CM, Westim S.p.A.).

Nella seconda prova ciclistica del soggetto 01 la durata complessiva dell'esercitazione è stata di 80 (10 + 60 + 10) minuti e sono stati eseguiti il riscaldamento in maniera piramidale e il defaticamento di 10 minuti e mantenuta una temperatura ambiente di 21,5 °C con DS di 0,1 °C. Inoltre, su richiesta del soggetto stesso (01) è stata effettuata una ventilazione frontale dell'aria di circa 1,5 m/s mediante un ventilatore industriale da pavimento (Zephir ZDC60CM, Westim S.p.A.) e non è stata indossata la parte superiore della divisa da ciclismo. Nella seconda prova ciclistica dei soggetti 02, 03 e 04 la durata complessiva dell'esercitazione è stata di 75 (10 + 60 + 5) minuti e sono state ottimizzate la fase iniziale e quella finale eseguendo un riscaldamento in maniera piramidale inversa (2 minuti al 50% del target, 3 minuti all'80% del target e 5 minuti al 100% del target) per anticipare la stabilizzazione della frequenza cardiaca e dimezzando la durata del defaticamento. La temperatura ambiente in queste tre prove è stata di 18,4 °C con DS di 0,2 °C e l'umidità relativa del 56,5% con DS del 5,9%.

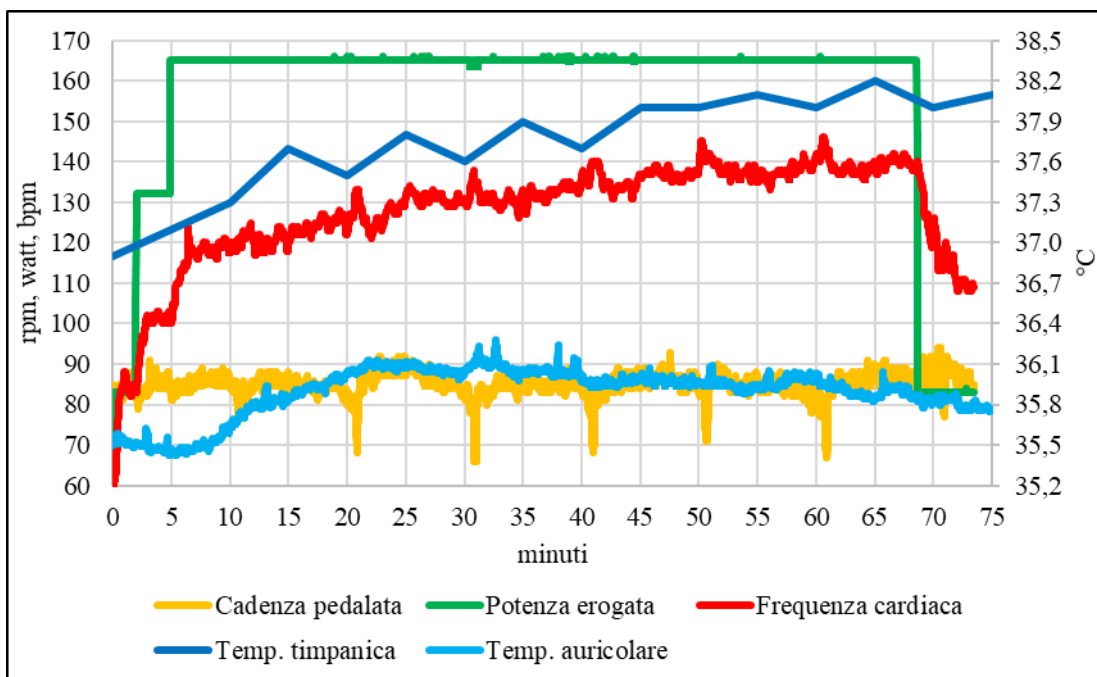
I soggetti reclutati hanno effettuato indipendentemente da questo studio ed entro 30 giorni dalla prima prova ciclistica una prova di valutazione funzionale caratterizzata da una partenza di 50-100 W e incrementi di 25 W ogni 2-3 minuti fino all'esaurimento volontario (Decroix et al., 2016; De Pauw et al., 2013). Pertanto, l'intensità target della seconda prova ciclistica è stata stabilita utilizzando una percentuale della massima potenza erogata aerobica (% PEAm<sub>ax</sub>), come nel caso della prima prova ciclistica, in quanto questo metodo è stato ritenuto più affidabile rispetto all'utilizzo di una percentuale della riserva di frequenza cardiaca (% FCriserva). La scelta dell'intensità target nell'intervallo del moderato è stata effettuata individualmente considerando il carico di lavoro dell'allenamento settimanale praticato dai soggetti reclutati. Infatti, i soggetti 01 e 03 hanno mantenuto rispettivamente un basso e medio-basso carico di lavoro settimanale durante il periodo intercorso tra la prima e la seconda prova ciclistica con conseguente aumento della frequenza cardiaca a riposo rispettivamente dell'11,4% e dell'11,8%, mentre i soggetti 02 e 04 hanno mantenuto rispettivamente un medio e medio-alto carico di lavoro settimanale durante il periodo intercorso tra la prima e la seconda prova ciclistica con conseguente diminuzione della frequenza cardiaca a riposo rispettivamente del 4% e dell'11,6%. Il periodo di tempo intercorso tra le prove ciclistiche dei soggetti 01, 02, 03 e 04 è stato rispettivamente di 5, 21, 82 e 34 giorni. Durante la seconda prova ciclistica i soggetti 01, 02 e 03 hanno effettuato un fuori sella della durata di 5-10 secondi ogni 10 minuti, mentre il soggetto 04 ha effettuato un fuori sella della durata di 10-20 secondi ogni 10 minuti. Inoltre, i soggetti hanno assunto 0,5-0,6 L/ora di acqua minerale (SANGEMINI, Acque Minerali d'Italia S.p.A.) in base alla massa corporea iniziale (American College of Sports Medicine et al., 2007) a una temperatura inferiore di circa 5 °C rispetto a quella dell'ambiente.

#### 4.2.4.1 Rappresentazione grafica in forma individuale

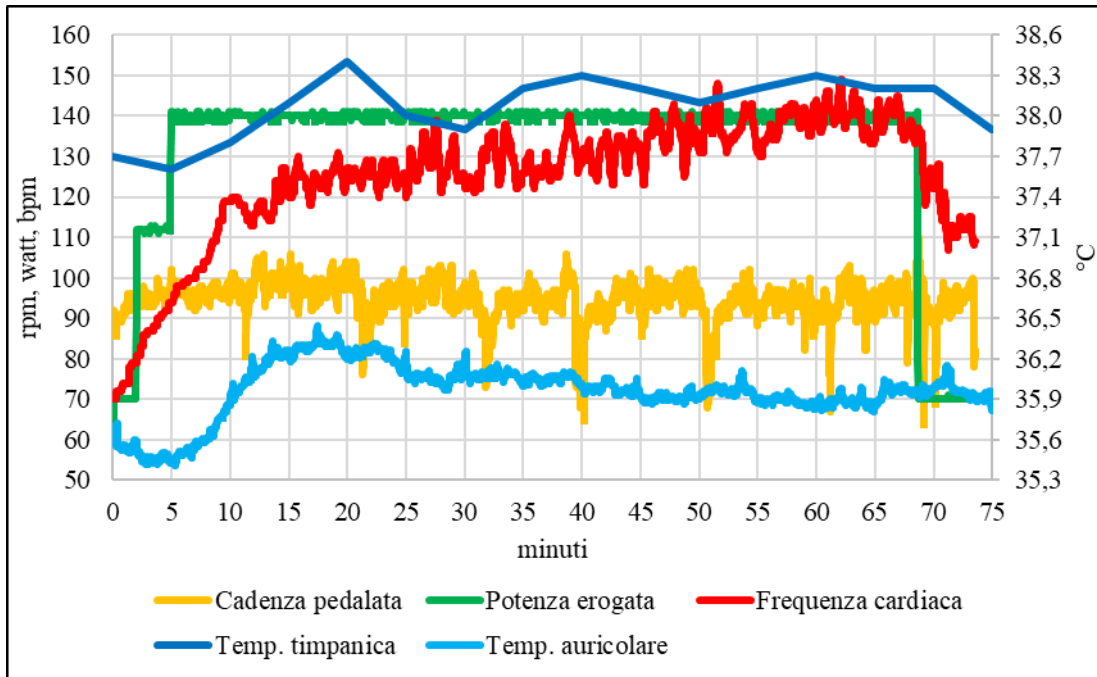
**Figura 15.** Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 01 durante l'esercitazione ciclistica a intensità moderata e in stato stazionario.



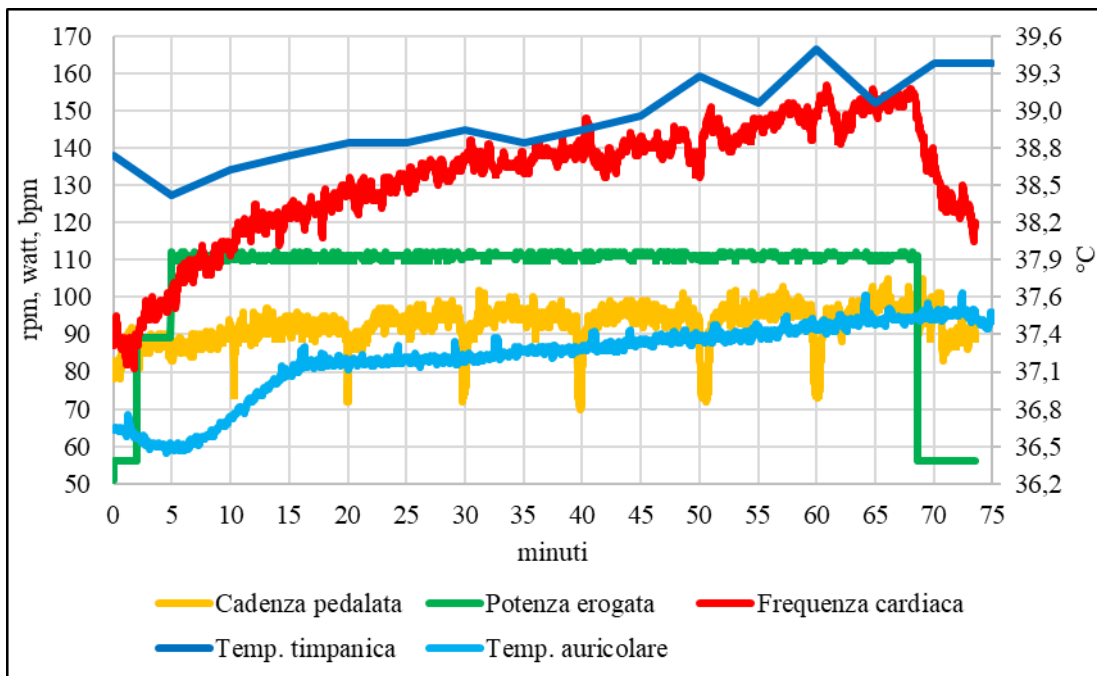
**Figura 16.** Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 02 durante l'esercitazione ciclistica a intensità moderata e in stato stazionario.



**Figura 17. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 03 durante l'esercitazione ciclistica a intensità moderata e in stato stazionario.**



**Figura 18. Andamenti delle variabili meccaniche e fisiologiche del soggetto 04 durante l'esercitazione ciclistica a intensità moderata e in stato stazionario.**



Il ritardo nell'andamento delle variabili gestite dal rullo da allenamento è dovuto a un artefatto generato dal software durante il salvataggio dei dati in formato CSV.

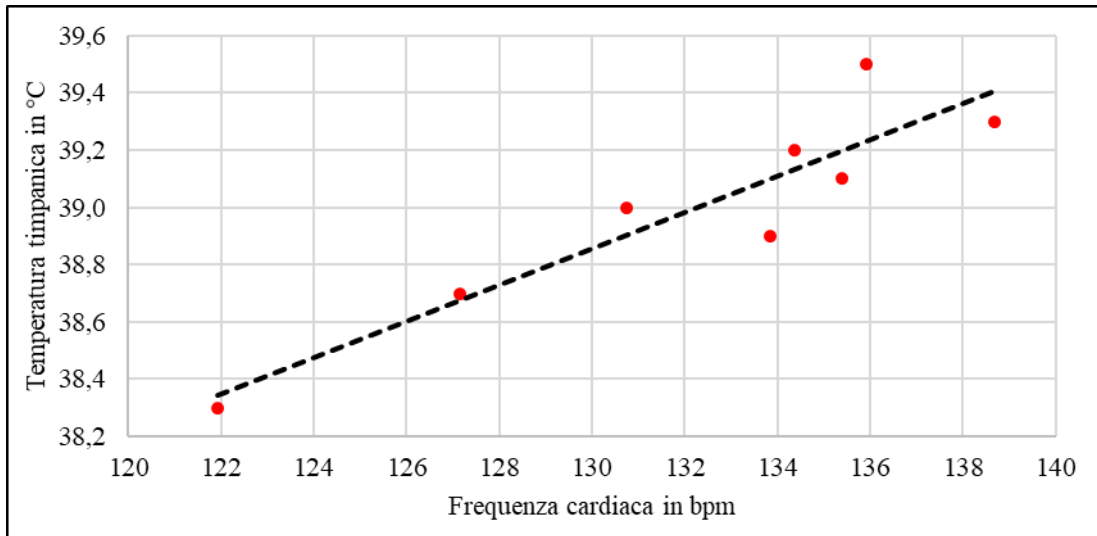
#### 4.2.4.2 Associazione tra frequenza cardiaca e temperatura corporea nel condotto uditivo esterno

La seconda prova ciclistica è stata effettuata per valutare l'associazione tra l'andamento della frequenza cardiaca e gli andamenti della temperatura corporea nel condotto uditivo esterno, ovvero la temperatura auricolare dell'orecchio destro e la temperatura timpanica dell'orecchio sinistro. Durante le prove ciclistiche la frequenza cardiaca e la temperatura auricolare sono state misurate in continuo, mentre la temperatura timpanica è stata campionata manualmente ogni 5 minuti. Pertanto, è stata effettuata una media dei valori delle variabili misurate in continuo con intervalli di 5 minuti. I dati raccolti nello studio pilota sono stati elaborati e analizzati mediante il software di produttività e statistica Microsoft Excel (Microsoft 365). In particolare, in questo studio pilota l'associazione tra gli andamenti lineari delle variabili fisiologiche di interesse è stata valutata mediante il coefficiente di correlazione di Pearson ( $r$ ).

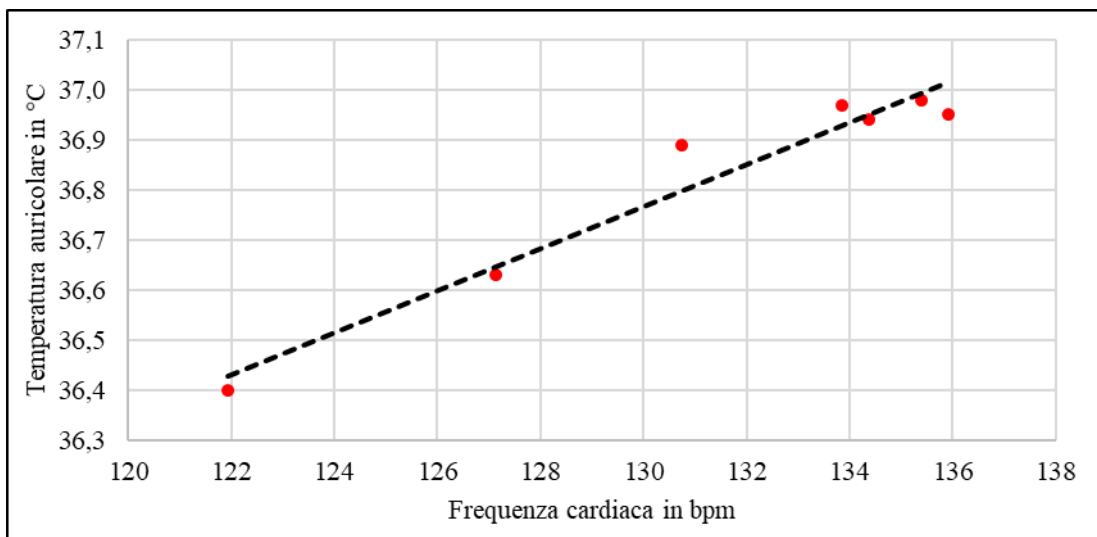
Nella seconda prova ciclistica dei soggetti 01 (Figura 15), 02 (Figura 16) e 03 (Figura 17) l'intensità target della fase centrale è stata simile, ovvero del 50% della massima potenza erogata aerobica (PEAmax) con DS del 2%; analogamente, l'aumento della frequenza cardiaca durante il lavoro muscolare stazionario della fase centrale nell'intervallo da 0 a 60 minuti è stato del 17,1% con DS del 1,6%. In questi soggetti (01, 02 e 03) è stata riscontrata una profusa sudorazione con conseguente perdita di liquidi e riduzione della massa corporea del 0,9% con DS del 0,4% dopo 75-80 minuti di esercizio fisico continuativo, inclusi riscaldamento e defaticamento, nonostante l'assunzione di un adeguato quantitativo di acqua minerale pari a 0,6 L/ora.

Nel soggetto 01 (Figura 15), nella fase centrale di 60 minuti della seconda prova ciclistica la temperatura timpanica è aumentata del 2,9% nell'intervallo da 0 a 35 minuti e diminuita dello 0,8% in quello da 35 a 60 minuti, mentre la temperatura auricolare è aumentata dell'1,6% nell'intervallo da 0 a 25 minuti e diminuita dello 0,8% in quello da 25 a 60 minuti in associazione all'aumento della sudorazione. Nell'intervallo da 0 a 35 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato fortemente correlato all'aumento della temperatura timpanica ( $r = 0,92$ ) (Figura 19), mentre in quello da 35 a 60 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato fortemente correlato alla diminuzione della temperatura timpanica ( $r = -0,98$ ). Nell'intervallo da 0 a 25 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato fortemente correlato all'aumento della temperatura auricolare ( $r = 0,98$ ) (Figura 20), mentre in quello da 25 a 60 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato moderatamente correlato alla diminuzione della temperatura auricolare ( $r = -0,63$ ).

**Figura 19. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura timpanica nell'intervallo 0-35 minuti ( $r = 0,92$ ) del soggetto 01.**



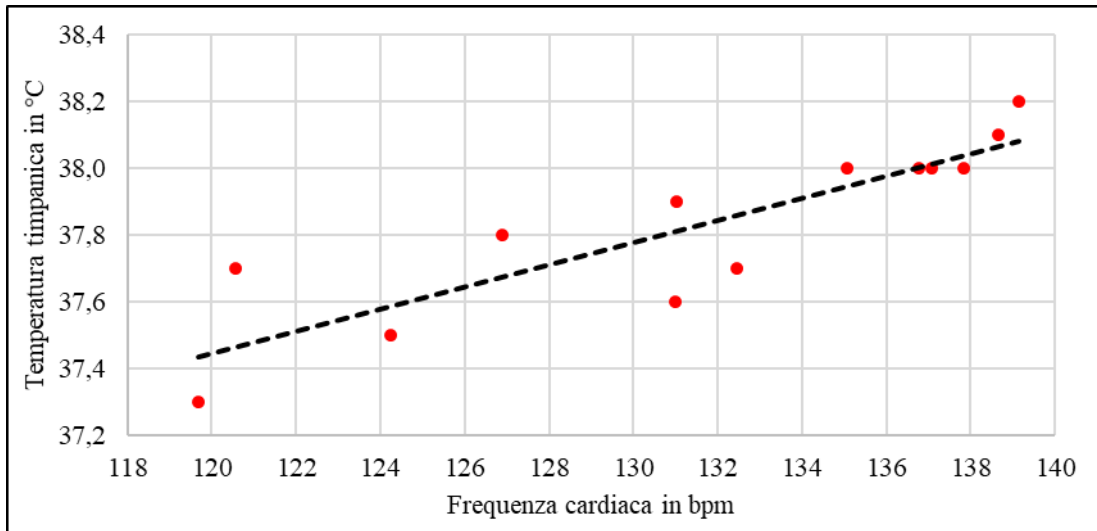
**Figura 20. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura auricolare nell'intervallo 0-25 minuti ( $r = 0,98$ ) del soggetto 01.**



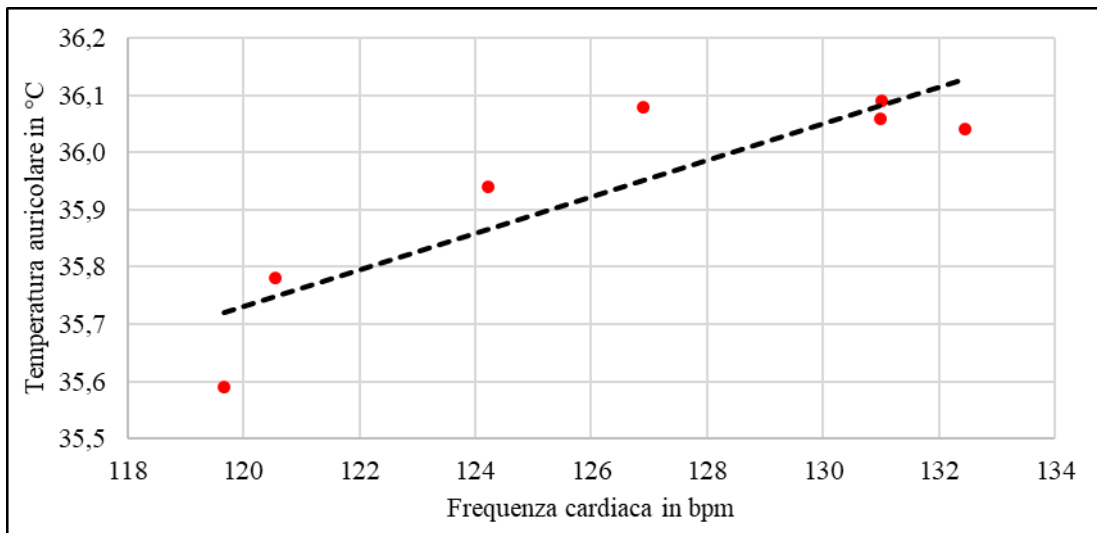
Nel soggetto 02 (Figura 11), nella fase centrale di 60 minuti della seconda prova ciclistica la temperatura timpanica è aumentata del 2,1%, mentre la temperatura auricolare è aumentata dell'1,3% nell'intervallo da 0 a 30 minuti e diminuita dello 0,4% in quello da 30 a 60 minuti in associazione all'aumento della sudorazione. Nell'intervallo da 0 a 60 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato fortemente correlato all'aumento della temperatura timpanica ( $r = 0,87$ ) (Figura 21). Nell'intervallo da 0 a 30 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato fortemente correlato all'aumento della temperatura auricolare ( $r = 0,88$ ) (Figura 22),

mentre in quello da 30 a 60 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato moderatamente correlato alla diminuzione della temperatura auricolare ( $r = -0,66$ ).

**Figura 21. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura timpanica nell'intervallo 0-60 minuti ( $r = 0,87$ ) del soggetto 02.**



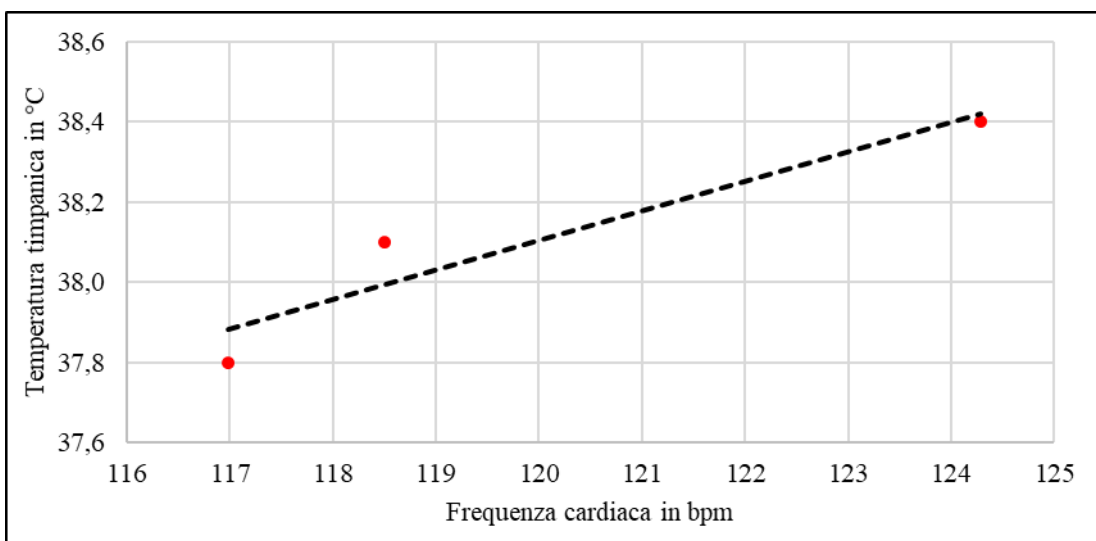
**Figura 22. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura auricolare nell'intervallo 0-30 minuti ( $r = 0,88$ ) del soggetto 02.**



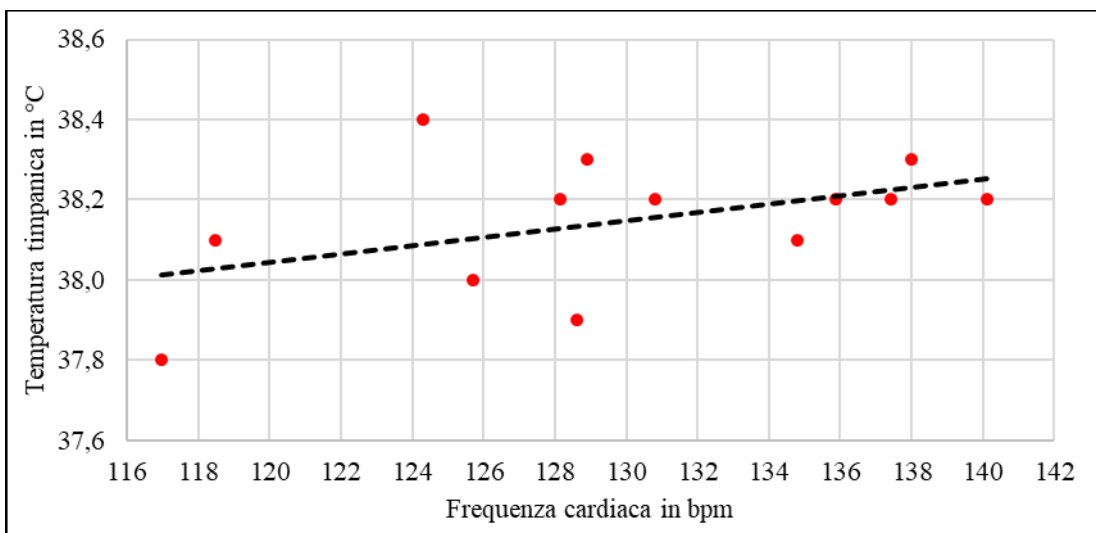
Nel soggetto 03 (Figura 17), nella fase centrale di 60 minuti della seconda prova ciclistica la temperatura timpanica è aumentata dell'1,6% e dell'1,1% rispettivamente negli intervalli da 0 a 10 minuti e da 0 a 60 minuti, mentre la temperatura auricolare è aumentata dell'1,3% nell'intervallo da 0 a 10 minuti e diminuita dell'1,1% in quello da 10 a 60 minuti in associazione all'aumento della sudorazione. Nell'intervallo da 0 a 10 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato fortemente correlato

all'aumento della temperatura timpanica ( $r = 0,95$ ) (Figura 23), mentre in quello da 0 a 60 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato debolmente correlato all'aumento della temperatura timpanica ( $r = 0,45$ ) (Figura 24). Nell'intervallo da 0 a 10 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato fortemente correlato all'aumento della temperatura auricolare ( $r = 0,88$ ) (Figura 25), mentre in quello da 10 a 60 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato fortemente correlato alla diminuzione della temperatura auricolare ( $r = -0,91$ ).

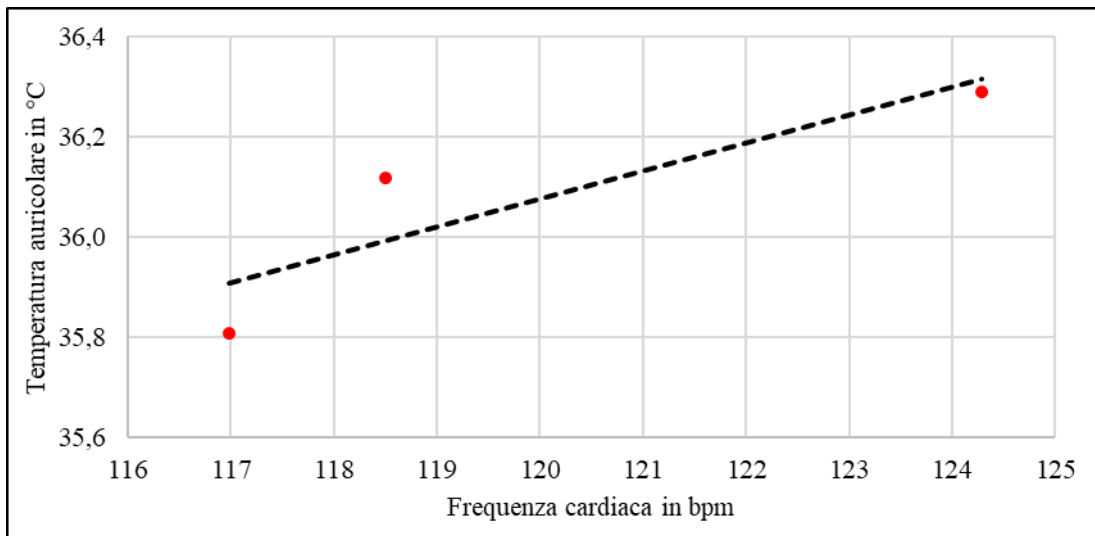
**Figura 23. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura timpanica nell'intervallo 0-10 minuti ( $r = 0,95$ ) del soggetto 03.**



**Figura 24. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura timpanica nell'intervallo 0-60 minuti ( $r = 0,45$ ) del soggetto 03.**



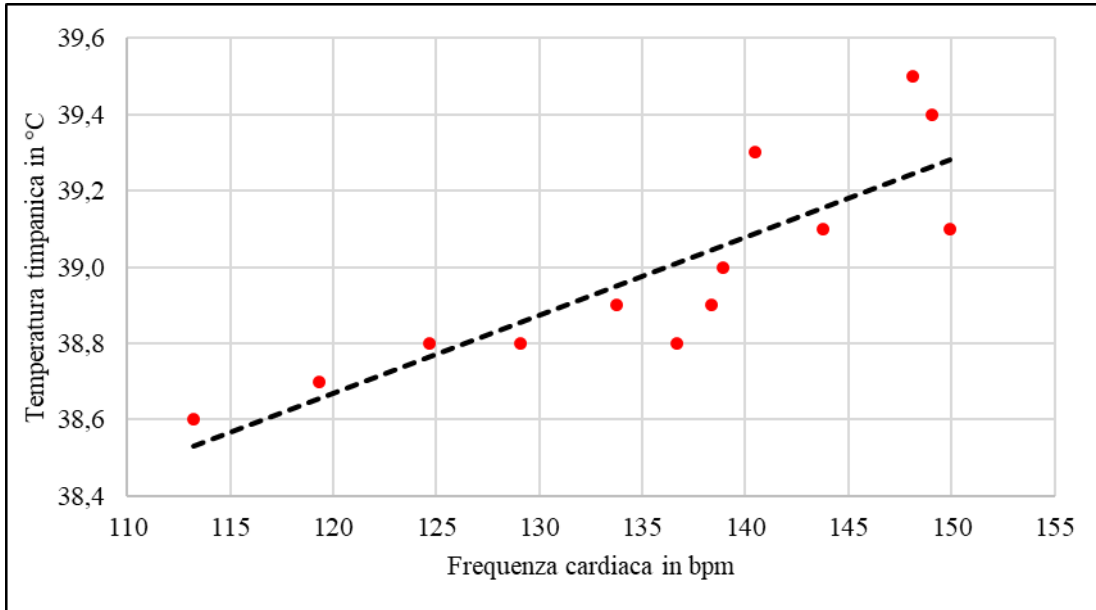
**Figura 25. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura auricolare nell'intervallo 0-10 minuti ( $r = 0,88$ ) del soggetto 03.**



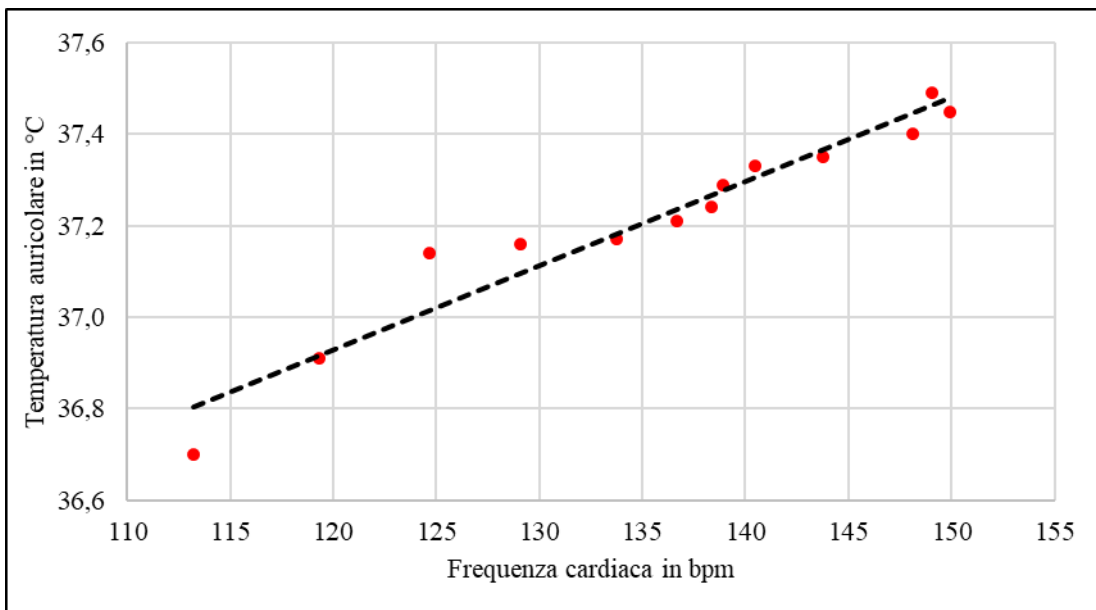
Nella seconda prova ciclistica del soggetto 04 (Figura 18) l'intensità target della fase centrale dell'esercitazione è stata del 55% della massima potenza erogata aerobica (PEAmax), ovvero del 3%-7% maggiore rispetto a quella degli altri soggetti reclutati nonostante un livello di prestazione inferiore del 16,1%. Infatti, nella fase di reclutamento i soggetti 01, 02 e 03 hanno presentato una massima potenza erogata aerobica relativa (PEAmax relativa) di 3,9-4 W/kg rispetto ai 3,3 W/kg del soggetto 04, sebbene in quest'ultimo caso il carico di lavoro dell'allenamento settimanale sia stato progressivamente aumentato tra la prima e la seconda prova ciclistica con probabile miglioramento del livello di prestazione, come suggerito dall'abbassamento dell'11,6% della frequenza cardiaca a riposo. Inoltre, a differenza degli altri soggetti, il soggetto 04 ha presentato una ridotta sudorazione durante l'esercizio fisico prolungato. Infatti, al termine della seconda prova ciclistica di 75 minuti, incluse le fasi di riscaldamento e defaticamento, non è stata riscontrata alcuna variazione della massa corporea con l'assunzione di un quantitativo di acqua minerale pari a 0,5 L/ora.

Per quanto riguarda i risultati della seconda prova ciclistica del soggetto 04, ovvero dell'ultimo ciclista reclutato nello studio pilota, nella fase centrale di 60 minuti in stato stazionario la frequenza cardiaca è aumentata del 32,1%, mentre la temperatura timpanica e la temperatura auricolare sono aumentate rispettivamente del 2,1% e del 2,2%. Conseguentemente nell'intervallo da 0 a 60 minuti l'aumento della frequenza cardiaca è risultato fortemente correlato sia all'aumento della temperatura timpanica ( $r = 0,85$ ) (Figura 26) sia all'aumento della temperatura auricolare ( $r = 0,97$ ) (Figura 27) confermando in entrambi i casi l'ipotesi di ricerca dello studio.

**Figura 26. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura timpanica nell'intervallo 0-60 minuti ( $r = 0,85$ ) del soggetto 04.**



**Figura 27. Rappresentazione grafica dell'associazione tra frequenza cardiaca e temperatura auricolare nell'intervallo 0-60 minuti ( $r = 0,97$ ) del soggetto 04.**



Lo studio pilota è stato concluso dopo il reclutamento dei quattro soggetti presentati in questo capitolo, in quanto le informazioni e i risultati ottenuti dall'analisi dei dati, oltre ai suggerimenti ricevuti dagli atleti stessi, sono stati ritenuti sufficienti per trarre le prime conclusioni e per l'ottimizzazione del protocollo sperimentale dello studio presentato nel terzo capitolo di questo lavoro di ricerca.

### 4.3 Discussione

I risultati preliminari ottenuti mediante lo studio pilota devono essere considerati parziali e finalizzati all'ottimizzazione del protocollo sperimentale definitivo. Infatti, in questo studio sono stati reclutati solamente quattro soggetti, il periodo di tempo intercorso tra la prima e la seconda prova ciclistica è stato mediamente superiore a quello previsto, mentre l'intensità di esercizio e le condizioni ambientali della seconda prova ciclistica sono state differenti. Nel dettaglio, l'intensità di esercizio della prova ciclistica utilizzata per verificare l'ipotesi di ricerca è stata stabilita in base al carico di lavoro dell'allenamento settimanale, mentre la temperatura ambiente e la presenza o assenza di ventilazione frontale in base alle abitudini personali dei singoli partecipanti.

Considerando le difficoltà riscontrate nel reclutare ciclisti con un livello di prestazione  $\geq 3$  e abituati a eseguire esercitazioni prolungate con lavoro muscolare rigorosamente costante, la durata della fase centrale della seconda prova ciclistica dovrebbe essere ridotta da 120 a 60 minuti per consentire il ridimensionamento dei criteri di selezione a un livello di prestazione  $\geq 2$  (Decroix et al., 2016; De Pauw et al., 2013). Inoltre, la fase di riscaldamento della prova ciclistica prolungata dovrebbe essere estesa per consentire la stabilizzazione della frequenza cardiaca prima dell'inizio della fase centrale, mentre la fase di defaticamento dovrebbe essere ridotta per limitare la durata complessiva dell'esercitazione. Nel dettaglio, la fase di riscaldamento dovrebbe essere composta da una parte iniziale di 5 minuti con intensità crescente, ovvero dal 50% del target fino al 90% del target, seguita da una parte finale di 5 minuti con intensità pari al 100% del target, mentre la durata della fase di defaticamento dovrebbe essere ridotta da 10 minuti a 5 minuti e l'intensità aumentata dal 50% del target al 70% del target.

Sulla base dei risultati dello studio pilota, l'intensità target dell'esercitazione ciclistica di 60 minuti in stato stazionario dovrebbe essere compresa approssimativamente tra il 55% e il 60% della massima potenza erogata aerobica o della riserva di frequenza cardiaca. Infatti, durante l'esercizio fisico prolungato eseguito in ambiente neutro e con un'adeguata assunzione di liquidi un'intensità  $< 55\%$  della massima potenza erogata aerobica o della riserva di frequenza cardiaca potrebbe limitare il fenomeno della deriva cardiovascolare. Tuttavia, nei soggetti con un livello di prestazione elevato un'intensità di esercizio prossima al limite superiore del moderato implica una notevole quantità di lavoro muscolare e di conseguenza un'elevata produzione di calore e incremento della temperatura corporea. In questo scenario, il notevole aumento della temperatura corporea del nucleo potrebbe determinare una massiccia attivazione dei sistemi di termoregolazione con profusa sudorazione e conseguente stabilizzazione o riduzione della temperatura corporea a livello cutaneo e auricolare.

Durante l'esercizio fisico prolungato eseguito in ambiente chiuso e termicamente neutro l'eccessivo aumento della temperatura corporea del nucleo nei soggetti con un livello di prestazione elevato oppure con una maggiore percentuale di massa grassa potrebbe essere contrastato mediante l'utilizzo di un ventilatore industriale da pavimento con diametro della ventola  $\geq 60$  centimetri. Tuttavia, una ventilazione artificiale  $\geq 1,5$  m/s effettuata frontalmente rispetto alla postazione potrebbe causare disagio nei soggetti non abituati, ridurre l'entità della deriva cardiovascolare e in associazione alla sudorazione raffreddare maggiormente i distretti corporei più esposti, come il capo, il collo e gli arti rispetto al tronco, con potenziale compromissione dell'affidabilità dei metodi di misurazione della temperatura corporea a livello auricolare. Nel dettaglio, la temperatura corporea misurata a livello della parete del condotto uditivo esterno (temperatura auricolare) mediante una sonda a contatto potrebbe essere maggiormente influenzata dalla sudorazione e dalla ventilazione rispetto a quella misurata a livello del timpano mediante un termometro timpanico a infrarossi. Infatti, nei casi in cui si è verificata una profusa sudorazione durante l'esercitazione ciclistica prolungata in stato stazionario dello studio pilota è stata osservata una divergenza tra l'andamento della temperatura auricolare e l'andamento della temperatura timpanica, sia in assenza sia in presenza di ventilazione frontale.

Una parte della differenza osservata tra le misurazioni della temperatura auricolare e quelle della temperatura timpanica nello studio pilota potrebbe essere dovuta al sottile rivestimento monouso in nitrile applicato sulla sonda auricolare del dispositivo indossabile per garantire le migliori condizioni igieniche oppure all'applicazione degli anelli monouso di cotone idrofilo tra la sonda e l'ingresso del condotto uditivo esterno per regolare la lunghezza utile e ridistribuire la pressione esercitata dall'archetto antirumore modificato. In particolare, l'eccessivo assorbimento di sudore da parte degli anelli di cotone idrofilo potrebbe influenzare le misurazioni della temperatura auricolare, oltre a determinare la progressiva perdita della funzione di cuscinetto.

Considerando l'eccessiva durata (~24 minuti) della procedura sperimentale prevista per effettuare il confronto tra la temperatura timpanica mantenendo il condotto uditivo esterno chiuso e mantenendolo aperto con potenziale variazione della temperatura corporea tra l'inizio e la fine della stessa, il numero delle misurazioni manuali della temperatura timpanica per ogni fase (T0, T1 e T2) e orecchio dovrebbe essere ridotto da tre a una o massimo due, mentre la durata degli intervalli tra le fasi dovrebbe essere ridotta da 5 minuti a 3 minuti. Infatti, nello studio pilota le misurazioni ripetute della temperatura timpanica sono risultate simili e un intervallo di 3 minuti dovrebbe essere sufficiente alla stabilizzazione termica del condotto uditivo esterno in ambiente neutro.

Nella prima prova ciclistica l'intensità della fase di defaticamento in stato stazionario dovrebbe essere stabilita utilizzando il 50% della massima potenza erogata aerobica o della riserva di frequenza cardiaca invece dei 50-100 W previsti, questo per adeguare il carico al livello di prestazione dei singoli partecipanti, mentre la durata della stessa dovrebbe essere ridotta da 10 minuti a 9 minuti per effettuare il campionamento della temperatura timpanica ogni 3 minuti, come nella precedente fase incrementale.

Durante l'esercitazione ciclistica prolungata in stato stazionario dello studio pilota sono state osservate differenze significative nella sudorazione e nella perdita di liquidi tra i partecipanti che potrebbero aver influenzato la temperatura corporea nel condotto uditivo esterno. Pertanto, il quantitativo di acqua minerale da somministrare ai soggetti durante la seconda prova ciclistica, ovvero di 0,4-0,8 L/ora per una massa corporea compresa tra 50 kg e  $\geq 90$  kg, dovrebbe essere approssimato sulla base di intervalli di massa corporea di 5 kg invece dei 10 kg previsti e stabilito considerando solamente la parte della prova ciclistica eseguita all'intensità target. Inoltre, il frazionamento del quantitativo totale di acqua minerale dovrebbe essere aumentato da sei parti in un'ora a dodici parti in un'ora per facilitare l'assunzione delle singole dosi durante lo sforzo. L'esecuzione dei fuori sella sul rullo da allenamento potrebbe risultare scomoda e causare l'incremento della frequenza cardiaca. In alternativa potrebbe essere utilizzato un supporto esterno con due appoggi posizionati in prossimità del bacino per consentire all'occorrenza di scaricare parte della forza peso tramite gli arti superiori.

Considerando la differenza minima tra la temperatura timpanica mantenendo il condotto uditivo esterno chiuso rispetto a mantenerlo aperto osservata nello studio pilota, durante le prove ciclistiche l'ostruzione del condotto uditivo esterno sinistro con l'archetto antirumore potrebbe essere evitata mediante un diverso posizionamento dell'inserito auricolare per limitare l'effetto occlusione e migliorare il comfort. Inoltre, considerando l'affidabilità dei cardiofrequenzimetri a fascia toracica e la necessità di limitare il rischio di contaminazione crociata, il monitoraggio della frequenza cardiaca potrebbe essere effettuato mediante i dispositivi personali utilizzati dai partecipanti.

Sulla base delle informazioni acquisite durante le prove ciclistiche dello studio pilota una temperatura dell'ambiente  $>22$  °C potrebbe essere eccessiva per lo svolgimento di esercizio fisico continuativo in ambiente chiuso. Pertanto, nel locale destinato alla sperimentazione la temperatura dovrebbe essere mantenuta a un valore compreso tra 18 °C e 22 °C e la ventilazione frontale a un valore compreso tra 0,2 m/s e 1 m/s con un ricambio di aria continuo con l'esterno. La temperatura e la ventilazione dell'aria nell'ambiente dovrebbero essere stabilite considerando il livello di prestazione, la percentuale di massa grassa e l'adattamento al clima dei singoli partecipanti.

# CONCLUSIONI

La valutazione dell'intensità di esercizio e del dispendio energetico supportata dallo sviluppo e diffusione della tecnologia indossabile ha acquisito un ruolo fondamentale nella teoria dell'allenamento e più in generale nelle scienze della salute. Tuttavia, l'intensità di esercizio rimane un parametro complesso, in quanto risulta essere difficile da valutare e interpretare, mentre i metodi più diffusi per stimare il dispendio energetico possono presentare problematiche di affidabilità in specifiche condizioni.

Attualmente la calorimetria indiretta attraverso il monitoraggio degli scambi gassosi a livello delle vie aeree superiori rappresenta la soluzione più accurata per stimare l'impegno metabolico e di conseguenza il dispendio energetico dell'organismo ed è solitamente utilizzata come riferimento per validare metodi alternativi meno complessi (Ferrannini, 1988; Kumahara et al., 2004; Spurr et al., 1988; Strath et al., 2002). Metodi più semplici e meno costosi per stimare il dispendio energetico sono basati sui dati raccolti da sensori di movimento e su variabili fisiologiche come la frequenza cardiaca e il metabolismo basale (Yang et al., 2016). Nel caso dei modelli di previsione del dispendio energetico basati sul monitoraggio della frequenza cardiaca sono stati raggiunti risultati soddisfacenti includendo anche la massa corporea, l'età, il sesso e possibilmente il massimo consumo di ossigeno (Keytel et al., 2005).

La frequenza cardiaca risulta essere una variabile fisiologica affidabile per valutare l'intensità metabolica relativa durante l'esercizio fisico di tipo aerobico (Garber et al., 2011; Wingo et al., 2012a), ma durante le esercitazioni prolungate eseguite a intensità moderata in ambiente caldo o neutro la relazione tra frequenza cardiaca e consumo di ossigeno dell'organismo risulta essere compromessa dall'aumento della frequenza cardiaca attribuibile alla deriva cardiovascolare con conseguente sovrastima del lavoro muscolare e dell'intensità metabolica assoluta (da Cunha et al., 2011; Jeukendrup & Diemen, 1998; Polsinelli et al., 2021; Vogt et al., 2006). Durante il lavoro muscolare sotto massimale prolungato si verifica un aumento del consumo di ossigeno, ovvero del 10% dopo 6 ore (Mattsson et al., 2010), ma risulta essere significativamente inferiore rispetto all'aumento della frequenza cardiaca, ovvero fino a 20 battiti ogni 20-60 minuti (Kindermann et al., 1979; Mognoni et al., 1990). Inoltre, questo modico aumento del consumo di ossigeno potrebbe essere dovuto al progressivo spostamento del metabolismo energetico dell'organismo verso l'utilizzo degli acidi grassi come substrato energetico preferenziale. Infatti, durante l'esercizio fisico prolungato in stato stazionario l'aumento del consumo di ossigeno si associa alla riduzione del quoziente respiratorio, ovvero del rapporto tra anidride carbonica prodotta e ossigeno consumato.

La deriva cardiovascolare è un fenomeno caratterizzato dall'aumento della frequenza cardiaca, diminuzione del volume sistolico, riduzione della pressione arteriosa media polmonare e sistemica e mantenimento pressoché costante della gettata cardiaca (Coyle & González-Alonso, 2001). Questo fenomeno fisiologico si manifesta durante l'esercizio fisico prolungato di tipo aerobico eseguito in ambiente caldo o neutro e dipende principalmente dalla durata e dall'intensità dello stesso, nonché dalla fitness cardiorespiratoria dell'individuo. La deriva cardiovascolare risulta essere correlata positivamente all'incremento della temperatura corporea del nucleo dovuto all'intensa attività metabolica e al prolungato lavoro muscolare ed è esacerbata dalla riduzione della volemia dovuta alla disidratazione e dalle condizioni ambientali sfavorevoli ai processi di dissipazione termica dell'organismo (Coyle & González-Alonso, 2001).

Per quanto riguarda i meccanismi fisiologici alla base della deriva cardiovascolare, oltre alla vasodilatazione periferica con diminuzione del ritorno venoso al cuore (Rowell, 1986) e al progressivo incremento della frequenza cardiaca dovuto all'aumento della temperatura corporea del nucleo con conseguente diminuzione del tempo disponibile per il riempimento ventricolare (Coyle & González-Alonso, 2001), durante l'esercizio aerobico particolarmente prolungato ( $\geq 1$  ora) o eseguito a intensità vigorosa l'aumento della concentrazione di catecolamine insieme all'incremento della produzione di ossido nitrico a livello del cuore potrebbero determinare un'ulteriore riduzione del volume sistolico e della pressione arteriosa media (Souissi et al., 2021). Nel dettaglio, l'aumento persistente della concentrazione di catecolamine potrebbe determinare la desensibilizzazione dei recettori adrenergici  $\beta_1$  e  $\beta_2$  (Eysmann et al., 1996) e la stimolazione dei recettori adrenergici  $\beta_3$  che presentano una soglia di attivazione superiore (Kayki Mutlu et al., 2018; Masutani et al., 2013). L'incremento della produzione di ossido nitrico e la desensibilizzazione dei recettori adrenergici  $\beta_1$  e  $\beta_2$  potrebbero determinare un effetto inotropo negativo (Eysmann et al., 1996; Massion et al., 2003), mentre l'attivazione dei recettori adrenergici  $\beta_3$  un effetto cronotropo positivo (Rozec & Gauthier, 2006; Sterin-Borda et al., 2006). Pertanto, la manifestazione di una deriva cardiovascolare caratterizzata dall'aumento della frequenza cardiaca e dalla diminuzione della forza di contrazione del cuore implica una relazione forza-frequenza negativa che potrebbe rappresentare un fattore cardioprotettivo durante l'esercizio fisico prolungato eseguito a intensità elevata (Souissi et al., 2021). La relazione forza-frequenza del cuore sembra aumentare fino a un punto critico e successivamente diminuire all'aumentare della durata e intensità del lavoro muscolare (Souissi et al., 2021). Questa diminuzione risulta essere compatibile con il progressivo aumento dell'intensità metabolica relativa durante l'esercizio fisico.

In riferimento alla parte sperimentale di questo lavoro di ricerca finalizzato al miglioramento dei modelli di previsione dell'intensità di esercizio basati sulla frequenza cardiaca sono stati ottenuti i primi risultati mediante lo studio pilota illustrato nel quarto capitolo e sono state raccolte le informazioni necessarie per l'ottimizzazione del protocollo sperimentale presentato nel terzo capitolo.

Per quanto riguarda l'obiettivo principale dello studio, ovvero valutare l'associazione tra l'andamento della frequenza cardiaca e l'andamento della temperatura corporea nel condotto uditivo esterno durante l'esercizio fisico prolungato in ambiente neutro e con un'adeguata idratazione, l'aumento della frequenza cardiaca dovuto alla deriva cardiovascolare sembra essere stimato dalla variazione della temperatura timpanica quando l'intensità del lavoro muscolare è  $>50\%$  della massima potenza erogata aerobica oppure in caso di ridotta sudorazione, mentre sembra essere stimato dalla variazione della temperatura auricolare solamente in caso di ridotta sudorazione. Infatti, in queste circostanze dello studio pilota è stata osservata una forte correlazione positiva tra l'andamento della temperatura corporea a livello auricolare e l'andamento della frequenza cardiaca ( $r \geq 0,85$ ). Quando si verifica una profusa sudorazione e l'intensità del lavoro muscolare è  $\leq 50\%$  della massima potenza erogata aerobica o quando è presente una ventilazione frontale  $\geq 1,5$  m/s l'aumento della frequenza cardiaca dovuto alla deriva cardiovascolare sembra essere stimato adeguatamente dalla variazione della temperatura timpanica solamente nei primi 10-35 minuti di esercizio fisico continuativo, mentre nelle medesime condizioni non sembra essere stimato dalla temperatura auricolare. Infatti, durante l'esercizio fisico prolungato la temperatura corporea a livello della parete del condotto uditivo esterno potrebbe essere influenzata significativamente dalla sudorazione e di conseguenza tendere alla stabilizzazione o alla diminuzione dopo un iniziale aumento, come nel caso della temperatura cutanea.

Per quanto riguarda il confronto tra condotto uditivo esterno chiuso e aperto la temperatura timpanica sembra essere leggermente più alta quando le misurazioni sono effettuate con il condotto uditivo esterno chiuso. Tuttavia, la differenza media osservata nello studio pilota è stata minima ( $0,06$  °C con IC al 95%  $[-0,36; 0,48]$ ), sebbene sia stata osservata anche una piccola diminuzione della temperatura corporea tra l'inizio e la fine della procedura sperimentale ( $-0,07$  °C con IC al 95%  $[-0,39; 0,24]$ ) favorita probabilmente dall'eccessiva durata della stessa (~24 minuti).

Per quanto riguarda il confronto tra orecchio destro e orecchio sinistro la temperatura timpanica sembra essere molto simile. Infatti, la differenza media osservata nello studio pilota tra le misurazioni della temperatura timpanica dell'orecchio destro e quelle dell'orecchio sinistro è stata trascurabile ( $-0,04$  °C con IC al 95%  $[-0,43; 0,36]$ ).

Per quanto riguarda il confronto tra la temperatura corporea misurata mediante una sonda a contatto con la parete del condotto uditivo esterno e quella misurata mediante un termometro timpanico a infrarossi, la temperatura auricolare risulta essere minore rispetto alla temperatura timpanica sia in condizioni di riposo sia di lavoro muscolare. Infatti, nello studio pilota la differenza media osservata tra le misurazioni della temperatura auricolare dell'orecchio destro e quelle della temperatura timpanica dell'orecchio sinistro è stata di circa  $-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-1,70\text{ }^{\circ}\text{C}$  con IC al 95%  $[-2,42; -0,99]$  a riposo e  $-1,73\text{ }^{\circ}\text{C}$  con IC al 95%  $[-2,17; -1,30]$  durante il lavoro muscolare).

Nel complesso, i risultati preliminari ottenuti tramite lo studio pilota sembrano essere incoraggianti, ma è necessario ottimizzare il protocollo sperimentale sulla base delle criticità e possibili soluzioni discusse nel quarto capitolo di questo lavoro di ricerca e proseguire lo studio fino al raggiungimento di un numero adeguato di soggetti ( $\geq 15$ ).

Un'alternativa al monitoraggio della temperatura nel condotto uditivo esterno per la previsione della deriva cardiovascolare potrebbe consistere nella misurazione diretta della temperatura corporea del nucleo a livello del tratto gastrointestinale. Infatti, l'ingestione di un sensore di temperatura telemetrico sembra essere la soluzione più affidabile per il monitoraggio della temperatura corporea durante l'esercizio fisico (Lim et al., 2008), sebbene sia un metodo ancora poco diffuso a causa dei costi elevati. Questa soluzione dovrebbe garantire la previsione della deriva cardiovascolare, in quanto è nota l'esistenza di una forte correlazione tra l'aumento della temperatura corporea del nucleo e l'aumento della frequenza cardiaca durante l'esercizio fisico prolungato in stato stazionario (Coyle & González-Alonso, 2001; Trinity et al., 2010). Un'ulteriore alternativa per la previsione della deriva cardiovascolare potrebbe consistere nello stimare l'aumento della frequenza cardiaca non attribuibile a un aumento di lavoro muscolare nelle principali condizioni ambientali e di esercizio aerobico. Tuttavia, questo approccio richiederebbe la conduzione di uno studio molto articolato finalizzato allo sviluppo di un modello di previsione della deriva cardiovascolare basato sul tempo trascorso in attività, intensità e tipologia di esercizio fisico, esposizione al calore o alla ventilazione e livello di prestazione dell'individuo.

Il monitoraggio della frequenza cardiaca durante l'esercizio fisico di tipo aerobico consente di quantificare in modo semplice e affidabile l'intensità metabolica relativa e il carico percepito soggettivamente e considerando le implicazioni della deriva cardiovascolare di stimare l'intensità metabolica assoluta e il lavoro muscolare. Pertanto, i metodi di valutazione dell'intensità di esercizio basati sulla frequenza cardiaca possono essere considerati adeguati sia per il miglioramento della salute sia della prestazione, in particolare quando non è possibile quantificare il carico esterno.

# APPENDICE A

**Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale**

Dipartimento di Scienze Umane, Sociali e della Salute

## **RECLUTAMENTO DI CICLISTI ALLENATI PER LA PARTECIPAZIONE A UNO STUDIO SPERIMENTALE**



Nell'ambito della fisiologia applicata sarà condotto uno studio scientifico riguardante la valutazione dell'intensità di esercizio basata sulla frequenza cardiaca durante le prestazioni prolungate. Periodo 2021-2022.

### **Chi può partecipare?**

Ciclisti di entrambi i sessi, sani, allenati e normopeso con un'età compresa tra i 18 e i 45 anni. In particolare, è necessario essere in possesso della certificazione medica di idoneità all'attività sportiva agonistica del ciclismo (in corso di validità) e avere un'esperienza di allenamento ciclistico  $\geq 3$  anni con un tempo dedicato all'allenamento  $\geq 5$  ore/settimana.

### **In cosa consiste lo studio?**

Una fase iniziale di valutazione e familiarizzazione, lo svolgimento di due prove ciclistiche in giorni diversi (una incrementale e una a carico costante di 60-120 min) su un rullo da allenamento professionale e il monitoraggio della frequenza cardiaca e della temperatura corporea a livello auricolare.

### **Quali vantaggi per il partecipante?**

Valutazione del livello di prestazione e di fitness, miglioramento della stima dell'intensità di esercizio e del carico di lavoro (interno ed esterno), stima della relazione tra frequenza cardiaca e potenza erogata (watt), stima del metabolismo basale e della composizione corporea mediante plicometria.

**Impegno previsto:**  $\geq 3$  incontri da 1-3 ore.

Se interessati o per informazioni, contattare il dott. Giovanni Polsinelli  
e-mail: [giovanni.polsinelli@unicas.it](mailto:giovanni.polsinelli@unicas.it)

# APPENDICE B

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale      Diario sulla dieta e l'esercizio fisico

## Diario sulla dieta e l'esercizio fisico

Titolo dello studio: Relazione tra frequenza cardiaca e temperatura corporea durante il ciclismo prolungato in stato stazionario.

Tipologia di studio: sperimentazione interventistica, monocentrica e non sponsorizzata.

Promotore: Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Codice di riferimento assegnato dal promotore: V 1.1 del 05.11.2019

Comitato etico di riferimento: Comitato Etico "Lazio 2"

Codice di protocollo assegnato dal comitato etico: Protocollo n. 0219118 del 11.12.2019

Codice identificativo del soggetto interessato: \_\_\_\_\_

Gentile Partecipante,

per limitare le influenze dello stile di vita sulle variabili fisiologiche da monitorare durante lo studio, Le chiediamo di attenersi ad alcune indicazioni generali e di redigere un diario riguardante la dieta e l'esercizio fisico nelle 48 ore precedenti le due prove ciclistiche.

Indicazioni generali a cui attenersi prima dello svolgimento delle prove ciclistiche:

- Assumere almeno 1,9 L/giorno di acqua nelle 48 ore precedenti.
- Assumere un'adeguata quantità di carboidrati (~60% delle kcal/die) nelle 48 ore precedenti.
- Astenersi dall'assunzione di caffeina, alcool, nicotina o altri stimolanti per  $\geq 4$  ore.
- Assumere l'ultimo pasto 4-6 ore prima.
- Astenersi dall'attività fisica moderata per  $\geq 2$  ore e dall'attività fisica strenua per  $\geq 14$  ore.
- Assumere 500 mL di acqua minerale nei 60 minuti precedenti.
- Riposare per  $\geq 20$  minuti prima di monitorare i valori basali fisiologici.

Istruzioni per la compilazione del diario:

- Descrivere sinteticamente la composizione dei pasti indicando anche dei riferimenti quantitativi (es. una porzione standard o piccola o abbondante, un cucchiaino, un cucchiaio, una tazzina, un bicchiere, una tazza, un piatto, una ciotola oppure grammi, millilitri, centilitri, litri, ecc.).
- Descrivere sinteticamente la tipologia delle esercitazioni svolte nella sessione di allenamento indicando anche la durata (es. minuti, ore, ecc.) e l'intensità (es. molto leggera, leggera, moderata, vigorosa, quasi massimale, fino a massimale oppure RPE (Ratings of Perceived Exertion) scala 6-20, MET (Metabolic Exercise Training), % PE<sub>max</sub>, % FC<sub>max</sub>, % FC<sub>riserva</sub>, ecc.).
- Nel caso di pasti o sessioni di allenamento non effettuati lasciare lo spazio vuoto.

Pag. 1 di 5

Diario relativo alle 48 ore che precedono l'esercitazione incrementale

**Giorno -2** (data: \_\_\_\_\_)

Colazione: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Pranzo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Cena: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Bevande: \_\_\_\_\_

Eventuali integratori: \_\_\_\_\_

Sessione di allenamento (orario: \_\_\_\_\_):

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Giorno -1** (data: \_\_\_\_\_)

Colazione: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Pranzo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Cena: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Bevande: \_\_\_\_\_

Eventuali integratori: \_\_\_\_\_

Sessione di allenamento (orario: \_\_\_\_\_):

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Giorno dell'esercitazione incrementale sub-massimale** (data: \_\_\_\_\_)

Colazione: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Pranzo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Cena: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Bevande: \_\_\_\_\_

Eventuali integratori: \_\_\_\_\_

Sessione di allenamento (orario: \_\_\_\_\_):

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Note: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Diario relativo alle 48 ore che precedono l'esercitazione prolungata in stato stazionario

**Giorno -2** (data: \_\_\_\_\_)

Colazione: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Pranzo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Cena: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Bevande: \_\_\_\_\_

Eventuali integratori: \_\_\_\_\_

Sessione di allenamento (orario: \_\_\_\_\_):

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Giorno -1** (data: \_\_\_\_\_)

Colazione: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Pranzo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Cena: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Bevande: \_\_\_\_\_

Eventuali integratori: \_\_\_\_\_

Sessione di allenamento (orario: \_\_\_\_\_):

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Giorno dell'esercitazione prolungata in stato stazionario** (data: \_\_\_\_\_)

Colazione: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Pranzo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Merenda: \_\_\_\_\_

Cena: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Bevande: \_\_\_\_\_

Eventuali integratori: \_\_\_\_\_

Sessione di allenamento (orario: \_\_\_\_\_):

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Note: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# APPENDICE C

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale      Questionario procedure sperimentali

## Questionario sulle procedure sperimentali

Titolo dello studio: Relazione tra frequenza cardiaca e temperatura corporea durante il ciclismo prolungato in stato stazionario.

Tipologia di studio: sperimentazione interventistica, monocentrica e non sponsorizzata.

Promotore: Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Codice di riferimento assegnato dal promotore: V 1.1 del 05.11.2019

Comitato etico di riferimento: Comitato Etico "Lazio 2"

Codice di protocollo assegnato dal comitato etico: Protocollo n. 0219118 del 11.12.2019

Codice identificativo del soggetto interessato: \_\_\_\_\_

Gentile Partecipante,

nella fase finale dello studio Le chiediamo di riflettere sulle procedure sperimentali a cui si è sottoposto e di formulare un giudizio basato sulle sensazioni percepite.

In modo da agevolare l'operazione di analisi dei dati del questionario Le chiediamo di indicare con un segno di spunta su una scala a 5 livelli il grado di accordo con le affermazioni proposte, ovvero "Completamente d'accordo", "D'accordo", "Incerto", "In disaccordo" o "In completo disaccordo".

Ognuna delle seguenti affermazioni è indipendente dalle altre e richiede una particolare attenzione.

1. L'utilizzo del cardiofrequenzimetro a fascia toracica per il monitoraggio della frequenza cardiaca durante le esercitazioni ciclistiche risulta essere tollerabile, ovvero non comporta particolari disagi durante l'attività.

Completamente d'accordo	D'accordo	Incerto	In disaccordo	In completo disaccordo
1	2	3	4	5

2. L'utilizzo del sensore da dito del pulsio-ossimetro per il monitoraggio della frequenza cardiaca e della percentuale di saturazione dell'ossiemoglobina periferica durante il monitoraggio dei valori basali risulta essere tollerabile, ovvero non comporta particolari disagi.

Completamente d'accordo	D'accordo	Incerto	In disaccordo	In completo disaccordo
1	2	3	4	5

Pag. 1 di 2

3. L'utilizzo del dispositivo auricolare indossabile e dell'archetto antirumore modificato per il monitoraggio in continuo della temperatura auricolare durante le esercitazioni ciclistiche risulta essere tollerabile, ovvero non comporta particolari disagi durante l'attività.

Completamente d'accordo	D'accordo	Incerto	In disaccordo	In completo disaccordo
1	2	3	4	5

4. Il campionamento manuale della temperatura timpanica mediante il termometro timpanico a infrarossi durante le esercitazioni ciclistiche risulta essere tollerabile, ovvero non comporta particolari disagi durante l'attività.

Completamente d'accordo	D'accordo	Incerto	In disaccordo	In completo disaccordo
1	2	3	4	5

5. Il livello di allenamento richiesto per la partecipazione allo studio risulta essere adeguato alla durata e all'intensità dell'esercitazione ciclistica prolungata in stato stazionario.

Completamente d'accordo	D'accordo	Incerto	In disaccordo	In completo disaccordo
1	2	3	4	5

6. L'utilizzato del rullo da allenamento risulta essere confortevole e adeguato allo svolgimento di esercitazioni ciclistiche incrementali e di quelle prolungate in stato stazionario.

Completamente d'accordo	D'accordo	Incerto	In disaccordo	In completo disaccordo
1	2	3	4	5

Grazie della collaborazione.

Data \_\_\_\_\_

# APPENDICE D

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Scheda per la raccolta dati

## Scheda per la raccolta dati dello studio pilota

Titolo dello studio: Relazione tra frequenza cardiaca e temperatura corporea durante il ciclismo prolungato in stato stazionario.

Tipologia di studio: sperimentazione interventistica, monocentrica e non sponsorizzata.

Promotore: Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Codice di riferimento assegnato dal promotore: V 1.1 del 05.11.2019

Comitato etico di riferimento: Comitato Etico "Lazio 2"

Codice di protocollo assegnato dal comitato etico: Protocollo n. 0219118 del 11.12.2019

Codice identificativo del soggetto interessato: \_\_\_\_\_

### Informazioni generali

Sesso biologico:  maschile  femminile

Età anagrafica (anni): \_\_\_\_\_

### Informazioni sullo stato di salute

Certificazione medica di idoneità all'attività sportiva agonistica del ciclismo:  SÌ  NO

Scadenza della validità della certificazione: \_\_\_\_\_

Presenza di patologie dell'apparato cardiocircolatorio conclamate:  SÌ  NO

Presenza di patologie dell'orecchio conclamate:  SÌ  NO

Presenza di ostruzioni nel condotto uditivo esterno:  SÌ  NO

Presenza di patologie capaci di influenzare la frequenza cardiaca o la volemia:  SÌ  NO

Assunzione di farmaci capaci di influenzare la frequenza cardiaca o la volemia:  SÌ  NO

Assunzione di farmaci capaci di influenzare le capacità psicofisiche:  SÌ  NO

Presenza di infortuni o patologie infiammatorie a carico dell'apparato locomotore:  SÌ  NO

Specificare: \_\_\_\_\_

Pag. 1 di 13

Altre patologie o terapie farmacologiche

Presenza di patologie diverse da quelle precedentemente indicate:  SÌ  NO

Specificare: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assunzione di farmaci diversi da quelli precedentemente indicati:  SÌ  NO

Specificare: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Altre informazioni sullo stato di salute

Essere in stato di gravidanza (per le femmine):  SÌ  NO

(soggetti in stato di gravidanza non ammessi)

Essere in stato di sovraffaticamento:  SÌ  NO

Essere in stato di sovrallenamento:  SÌ  NO

Altro (specificare): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Informazioni sullo stile di vita e le abitudini alimentari

Essere un ciclista allenato (condizione necessaria):  SÌ  NO

Specificare se su strada, fuoristrada o misto: \_\_\_\_\_

Praticare tipologie di esercizio fisico o discipline diverse dalla precedente:  SÌ  NO

Specificare la tipologia: \_\_\_\_\_

Specificare il carico di allenamento: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Seguire un regime alimentare (dieta) specifico:  SÌ  NO

Specificare: \_\_\_\_\_

Specificare la ripartizione dei macronutrienti come percentuale delle kcal complessive:

Carboidrati (%): \_\_\_\_\_

Proteine (%): \_\_\_\_\_

Grassi (%): \_\_\_\_\_

Assunzione di integratori alimentari:  SÌ  NO

Specificare la tipologia e il dosaggio: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### Abitudine al fumo

Non essere fumatore:  SÌ  NO

(aver fumato nell'arco della vita meno di 100 sigarette e non fumare attualmente)

Essere fumatore:  SÌ  NO

(aver fumato nell'arco della vita almeno 100 sigarette ed essere fumatore attualmente o aver smesso di fumare da meno di sei mesi)

Essere ex fumatore:  SÌ  NO

(aver fumato nell'arco della vita almeno 100 sigarette, non essere fumatore attualmente e aver smesso di fumare da più di sei mesi)

#### Informazioni sul livello di prestazione

Esperienza di allenamento ciclistico (anni): \_\_\_\_\_

(≥3 anni sia per i maschi sia per le femmine).

Frequenza dell'allenamento ciclistico settimanale (giorni): \_\_\_\_\_

(≥3 giorni sia per i maschi sia per le femmine).

Tempo di allenamento ciclistico settimanale (ore): \_\_\_\_\_

( $\geq 5$  ore sia per i maschi sia per le femmine).

Distanza percorsa nell'allenamento ciclistico settimanale (km): \_\_\_\_\_

( $\geq 60$  km/settimana oppure  $\geq 3000$  km/anno).

Massima potenza erogata aerobica (PEAmax) assoluta (se disponibile) (W): \_\_\_\_\_

( $\geq 320$  W per i maschi e  $\geq 235$  W per le femmine).

Massima potenza erogata aerobica (PEAmax) relativa (se disponibile) (W/kg): \_\_\_\_\_

( $\geq 4,6$  W/kg per i maschi e  $\geq 3,8$  W/kg per le femmine).

Massimo consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_2$ max) relativo (se disponibile) ( $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ): \_\_\_\_\_

( $\geq 55$   $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  per i maschi e  $\geq 48$   $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  per le femmine).

Massimo consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_2$ max) assoluto (se disponibile) (L/minuto): \_\_\_\_\_

( $\geq 4,2$  L/minuto per i maschi e  $\geq 3$  L/minuto per le femmine).

Altro (specificare): \_\_\_\_\_

### Informazioni tecniche

Disponibilità a fornire per lo svolgimento delle prove ciclistiche una delle biciclette utilizzate abitualmente e di consentire il montaggio della stessa (fissaggio del carro posteriore) su un rullo da allenamento professionale:  SÌ  NO

Sistema di fissaggio delle ruote della bicicletta:  sgancio rapido  albero passante

Numero velocità del pacco pignoni posteriore della bicicletta: \_\_\_\_\_

### Dichiarazioni

Sottoscrizione del Consenso informato (condizione necessaria):  SÌ  NO

Sottoscrizione della Scheda informativa sullo studio (condizione necessaria):  SÌ  NO

Sottoscrizione della Scheda informativa sulla privacy (condizione necessaria):  SÌ  NO

Misure antropometriche

Massa corporea (kg): \_\_\_\_\_

Statura (cm): \_\_\_\_\_

Indice di massa corporea (IMC) ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ): \_\_\_\_\_

(compreso tra 18,5 e 24,9  $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

Circonferenze

Vita (cm): \_\_\_\_\_

Addome (cm): \_\_\_\_\_

Glutei/fianchi (cm): \_\_\_\_\_

Spessore pliche cutanee

Plica addominale DX (mm): \_\_\_\_\_

Plica tricipitale DX (mm): \_\_\_\_\_

Plica pettorale DX (mm): \_\_\_\_\_

Plica ascellare DX (mm): \_\_\_\_\_

Plica sottoscapolare DX (mm): \_\_\_\_\_

Plica sovrailiaca DX (mm): \_\_\_\_\_

Plica quadricipitale DX (mm): \_\_\_\_\_

Densità corporea mediante plicometria ( $\text{g}/\text{mL}$ ): \_\_\_\_\_

Altro (specificare): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Composizione corporea mediante plicometria

Massa grassa (%): \_\_\_\_\_

Massa grassa (kg): \_\_\_\_\_

Massa magra (%): \_\_\_\_\_

Massa magra (kg): \_\_\_\_\_

Composizione corporea mediante impedenziometria

Massa grassa (%): \_\_\_\_\_

Massa grassa (kg): \_\_\_\_\_

Massa magra (%): \_\_\_\_\_

Massa magra (kg): \_\_\_\_\_

Altri risultati dell'impedenziometria

\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_): \_\_\_\_\_

Altro (specificare): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## FASE INIZIALE DELLO STUDIO (misure fisiologiche)

## Indicazioni:

- Durante la prova monitorare la temperatura e l'umidità relativa nel locale.
- Prima di iniziare le misurazioni il soggetto deve restare a riposo per almeno 20 minuti.
- Durante la prova il soggetto deve restare seduto e rilassato, mantenere lo stesso abbigliamento (tuta sportiva) e astenersi dall'assunzione di liquidi o alimenti.
- Misurare manualmente la temperatura timpanica nell'orecchio destro e nell'orecchio sinistro in modo alternato eseguendo la manovra otoscopica di raddrizzamento del condotto uditivo esterno, ovvero una moderata trazione posteriormente e superiormente del padiglione auricolare effettuata nel punto medio tra l'apice dell'elice e l'estremità inferiore del lobulo.
- Attendere 5 minuti di pausa tra le fasi, ovvero tra T0 e T1 e tra T1 e T2.
- Durante la pausa tra la fase T0 e la fase T1 mantenere isolato il condotto uditivo esterno di entrambi gli orecchi mediante un archetto antirumore.
- Durante la pausa tra la fase T1 e la fase T2 e fino al termine della fase T2 lasciare aperto il condotto uditivo esterno di entrambi gli orecchi (senza archetto antirumore).

Confronto tra misurazioni della temperatura timpanica					
		Temperatura timpanica orecchio destro (DX)		Temperatura timpanica orecchio sinistro (SX)	
Fase	Misura	°C	Orario	°C	Orario
T0	1				
	2				
	3				
T1	1				
	2				
	3				
T2	1				
	2				
	3				

Data \_\_\_\_\_

## FASE CENTRALE DELLO STUDIO

### Protocollo dell'esercitazione incrementale:

- Intensità iniziale di 100 W per i maschi e 50 W per le femmine a 70-90 rpm e incrementi di 25 W ogni 3 minuti fino al raggiungimento e mantenimento per 3 minuti dell'80% PE<sub>Amax</sub>.
- Defaticamento di 10 minuti con intensità di 50-100 W a 70-90 rpm.

### Protocollo dell'esercitazione prolungata in stato stazionario:

- Riscaldamento di 10 minuti a 70-90 rpm con intensità crescente fino al raggiungimento del target (2 minuti al 50% del target, 3 minuti all'80% del target e 5 minuti al 100% del target).
- Esercitazione di 60 minuti con intensità pari al 50%-55% PE<sub>Amax</sub> a 70-90 rpm.
- Defaticamento di 5 minuti con intensità pari al 50% del target a 70-90 rpm.

### Misure fisiologiche non invasive:

- Frequenza cardiaca mediante cardiofrequenzimetro a fascia toracica e polsi-ossimetro (basali).
- Temperatura auricolare mediante dispositivo indossabile munito di sonda a contatto.
- Temperatura timpanica mediante termometro timpanico a infrarossi.

### Procedure operative elencate in ordine cronologico:

1. Preparare l'ambiente di lavoro, gli attrezzi e gli strumenti necessari.
2. Iniziare il monitoraggio della temperatura e dell'umidità relativa nel locale.
3. Misurare la massa corporea iniziale in indumenti intimi e possibilmente dopo aver urinato.
4. Posizionare il cardiofrequenzimetro a fascia toracica.
5. Indossare la divisa e le scarpe da ciclismo.
6. Restare a riposo per almeno 20 minuti.
7. Attivare e posizionare il dispositivo auricolare.
8. Posizionare l'archetto antirumore e il sensore da dito del polsi-ossimetro.
9. Monitorare i valori basali delle variabili fisiologiche di interesse restando seduto e rilassato.
10. Eseguire la prova ciclistica e il defaticamento monitorando le variabili fisiologiche di interesse.
11. Rimuovere l'archetto antirumore, il dispositivo auricolare e il sensore da dito.
12. Scendere dalla bicicletta e rimuovere le scarpe, la divisa e il cardiofrequenzimetro.
13. Asciugare il sudore tamponando il corpo con un asciugamano o carta assorbente.
14. Misurare la massa corporea finale in indumenti intimi e possibilmente dopo aver urinato.
15. Terminare il monitoraggio della temperatura e dell'umidità relativa nel locale.

**PRIMA PROVA CICLISTICA (esercitazione incrementale)**

Indicazioni:

- Durante la prova il soggetto deve mantenere lo stesso abbigliamento (divisa da ciclismo estiva) e astenersi dall'assunzione di liquidi o alimenti.
- Le misurazioni della temperatura timpanica mediante termometro a infrarossi devono essere effettuate manualmente eseguendo la manovra otoscopica di raddrizzamento del condotto uditivo esterno, ovvero una moderata trazione posteriormente e superiormente del padiglione auricolare effettuata nel punto medio tra l'apice dell'elice e l'estremità inferiore del lobulo.
- Prima di effettuare la misurazione della temperatura timpanica nell'orecchio sinistro del soggetto spostare momentaneamente l'insero auricolare sinistro dell'archetto antirumore.
- Durante l'esercitazione incrementale effettuare una misurazione della temperatura timpanica nell'orecchio sinistro del soggetto ogni 3 minuti, mentre durante il defaticamento ogni 2 minuti.

PRIMA PROVA CICLISTICA								
Monitoraggio valori basali FC, % SpO <sub>2</sub> e temperatura timpanica								
T	Orario	FC fascia toracica	Saturazione ossiemoglobina periferica			Frequenza cardiaca pulsio-ossimetro		
min	hh:mm:ss	bpm	%			bpm		
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10		Temperatura timpanica orecchio sinistro			°C			

PRIMA PROVA CICLISTICA					
Esercitazione incrementale					
Misura	Tempo	Temperatura timpanica orecchio sinistro (SX)	Orario	watt	
n.	min	°C	hh:mm:ss	Maschi	Femmine
1	3			100	50
2	6			125	75
3	9			150	100
4	12			175	125
5	15			200	150
6	18			225	175
7	21			250	200
8	24			275	225
9	27			300	250
10	30			325	275
11	33			350	300
12	36			375	325
13	39			400	350
Defaticamento					
	2				
	4				
	6				
	8				
	10				

Data \_\_\_\_\_

**SECONDA PROVA CICLISTICA (esercitazione prolungata in stato stazionario)**

Indicazioni:

- Durante la prova il soggetto deve mantenere lo stesso abbigliamento (divisa da ciclismo estiva) e astenersi dall'assunzione di alimenti.
- Le misurazioni della temperatura timpanica mediante termometro a infrarossi devono essere effettuate manualmente eseguendo la manovra otoscopica di raddrizzamento del condotto uditivo esterno, ovvero una moderata trazione posteriormente e superiormente del padiglione auricolare effettuata nel punto medio tra l'apice dell'elice e l'estremità inferiore del lobulo.
- Prima di effettuare la misurazione della temperatura timpanica nell'orecchio sinistro del soggetto spostare momentaneamente l'insero auricolare sinistro dell'archetto antirumore.
- Durante l'esercitazione prolungata effettuare una misurazione della temperatura timpanica nell'orecchio sinistro del soggetto ogni 5 minuti.

SECONDA PROVA CICLISTICA								
Monitoraggio valori basali FC, % SpO <sub>2</sub> e temperatura timpanica								
T	Orario	FC fascia toracica	Saturazione ossiemoglobina periferica			Frequenza cardiaca pulsio-ossimetro		
min	hh:mm:ss	bpm	%			bpm		
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10		Temperatura timpanica orecchio sinistro				°C		

SECONDA PROVA CICLISTICA					
Esercitazione prolungata in stato stazionario					
Tempo totale	Tempo	Temperatura timpanica orecchio sinistro (SX)	Orario	Spuntare	
min	min	°C	hh:mm:ss	fuori sella	acqua
Riscaldamento					
2+3	5				
10	10			○	○
Parte centrale					
15	5				
20	10			○	○
25	15				
30	20			○	○
35	25				
40	30			○	○
45	35				
50	40			○	○
55	45				
60	50			○	○
65	55				
70	60			○	○
Defaticamento					
75	5				

Data \_\_\_\_\_

REGISTRO INCONTRI					
n.	Data	Oggetto	Orario inizio	Orario fine	Firma
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Note:

I dati relativi alle variabili fisiologiche monitorate in continuo saranno acquisiti in formato digitale.

---



---



---



---



---

# BIBLIOGRAFIA

1. American College of Sports Medicine, Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J., & Stachenfeld, N. S. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(2), 377–390. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31802ca597>
2. Arngrímsson, S. A., Stewart, D. J., Borrani, F., Skinner, K. A., & Cureton, K. J. (2003). Relation of heart rate to percent  $\dot{V}O_2$  peak during submaximal exercise in the heat. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 94(3), 1162–1168. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00508.2002>
3. Arts, F. J., & Kuipers, H. (1994). The relation between power output, oxygen uptake and heart rate in male athletes. *International journal of sports medicine*, 15(5), 228–231. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021051>
4. Astrand, P. O. (1984). Principles in ergometry and their implications in sports practice. *International Journal of Sports Medicine*, 5(1), 102-105. <https://doi.org/10.2165/00007256-198401010-00001>
5. Barlow, C. E., LaMonte, M. J., Fitzgerald, S. J., Kampert, J. B., Perrin, J. L., & Blair, S. N. (2006). Cardiorespiratory fitness is an independent predictor of hypertension incidence among initially normotensive healthy women. *American journal of epidemiology*, 163(2), 142–150. <https://doi.org/10.1093/aje/kwj019>
6. Bartholomew, J. B., Morrison, D., & Ciccolo, J. T. (2005). Effects of acute exercise on mood and well-being in patients with major depressive disorder. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(12), 2032–2037. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000178101.78322.dd>
7. Bevegård, S., Jonsson, B., Karlöf, I., Lagergren, H., & Sowton, E. (1967). Effect of changes in ventricular rate on cardiac output and central pressures at rest and during exercise in patients with artificial pacemakers. *Cardiovascular research*, 1(1), 21–33. <https://doi.org/10.1093/cvr/1.1.21>
8. Bibeau, W. S., Moore, J. B., Mitchell, N. G., Vargas-Tonsing, T., & Bartholomew, J. B. (2010). Effects of acute resistance training of different intensities and rest periods on anxiety and affect. *Journal of strength and conditioning research*, 24(8), 2184–2191. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ae794b>

9. Bigaard, J., Frederiksen, K., Tjønneland, A., Thomsen, B. L., Overvad, K., Heitmann, B. L., & Sørensen, T. I. (2005). Waist circumference and body composition in relation to all-cause mortality in middle-aged men and women. *International journal of obesity (2005)*, *29*(7), 778–784. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802976>
10. Blair, S. N., Cheng, Y., & Holder, J. S. (2001). Is physical activity or physical fitness more important in defining health benefits?. *Medicine and science in sports and exercise*, *33*(6 Suppl), S379–S420. <https://doi.org/10.1097/00005768-200106001-00007>
11. Blair, S. N., Kohl, H. W., 3rd, Barlow, C. E., Paffenbarger, R. S., Jr, Gibbons, L. W., & Macera, C. A. (1995). Changes in physical fitness and all-cause mortality. *A prospective study of healthy and unhealthy men. JAMA*, *273*(14), 1093–1098.
12. Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet (London, England)*, *1*(8476), 307–310.
13. Boulay, M. R., Simoneau, J. A., Lortie, G., & Bouchard, C. (1997). Monitoring high-intensity endurance exercise with heart rate and thresholds. *Medicine and science in sports and exercise*, *29*(1), 125–132. <https://doi.org/10.1097/00005768-199701000-00018>
14. Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W., & Cable, N. T. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International journal of sports physiology and performance*, *12*(Suppl 2), S2161–S2170. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2017-0208>
15. Brengelmann, G. L., Johnson, J. M., Hermansen, L., & Rowell, L. B. (1977). Altered control of skin blood flow during exercise at high internal temperatures. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, *43*(5), 790–794. <https://doi.org/10.1152/jappl.1977.43.5.790>
16. Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., Carty, C., Chaput, J. P., Chastin, S., Chou, R., Dempsey, P. C., DiPietro, L., Ekelund, U., Firth, J., Friedenreich, C. M., Garcia, L., Gichu, M., Jago, R., Katzmarzyk, P. T., Lambert, E., ... Willumsen, J. F. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour.

- British journal of sports medicine*, 54(24), 1451–1462.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>
17. Chu, D. J., Al Rifai, M., Virani, S. S., Brawner, C. A., Nasir, K., & Al-Mallah, M. H. (2020). The relationship between cardiorespiratory fitness, cardiovascular risk factors and atherosclerosis. *Atherosclerosis*, 304, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2020.04.019>
  18. Church, T. S., LaMonte, M. J., Barlow, C. E., & Blair, S. N. (2005). Cardiorespiratory fitness and body mass index as predictors of cardiovascular disease mortality among men with diabetes. *Archives of internal medicine*, 165(18), 2114–2120. <https://doi.org/10.1001/archinte.165.18.2114>
  19. Conn, V. S., Hafdahl, A. R., & Brown, L. M. (2009). Meta-analysis of quality-of-life outcomes from physical activity interventions. *Nursing research*, 58(3), 175–183. <https://doi.org/10.1097/NNR.0b013e318199b53a>
  20. Coyle E. F. (1998). Cardiovascular drift during prolonged exercise and the effects of dehydration. *International journal of sports medicine*, 19 Suppl 2, S121–S124. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971975>
  21. Coyle, E. F., & González-Alonso, J. (2001). Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exercise and sport sciences reviews*, 29(2), 88–92. <https://doi.org/10.1097/00003677-200104000-00009>
  22. da Cunha, F. A., Farinatti, P., & Midgley, A. W. (2011). Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. *Journal of science and medicine in sport*, 14(1), 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.07.008>
  23. Davis, J. A., & Convertino, V. A. (1975). A comparison of heart rate methods for predicting endurance training intensity. *Medicine and science in sports*, 7(4), 295–298.
  24. Decroix, L., De Pauw, K., Foster, C., & Meeusen, R. (2016). Guidelines to Classify Female Subject Groups in Sport-Science Research. *International journal of sports physiology and performance*, 11(2), 204–213. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0153>
  25. de Koning, L., Merchant, A. T., Pogue, J., & Anand, S. S. (2007). Waist circumference and waist-to-hip ratio as predictors of cardiovascular events:

- meta-regression analysis of prospective studies. *European heart journal*, 28(7), 850–856. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm026>
26. De Pauw, K., Roelands, B., Cheung, S. S., de Geus, B., Rietjens, G., & Meeusen, R. (2013). Guidelines to classify subject groups in sport-science research. *International journal of sports physiology and performance*, 8(2), 111–122. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.2.111>
  27. Earhart, E. L., Weiss, E. P., Rahman, R., & Kelly, P. V. (2015). Effects of oral sodium supplementation on indices of thermoregulation in trained, endurance athletes. *Journal of sports science & medicine*, 14(1), 172–178.
  28. Ekelund, L. G. (1967). Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise of moderate intensity in the sitting position. *Acta physiologica Scandinavica*, 69(4), 327–340. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1967.tb03529.x>
  29. Escourrou, P., Freund, P. R., Rowell, L. B., & Johnson, D. G. (1982). Splanchnic vasoconstriction in heat-stressed men: role of renin-angiotensin system. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 52(6), 1438–1443. <https://doi.org/10.1152/jappl.1982.52.6.1438>
  30. Eysmann, S. B., Gervino, E., Vatner, D. E., Katz, S. E., Decker, L., & Douglas, P. S. (1996). Prolonged exercise alters beta-adrenergic responsiveness in healthy sedentary humans. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 80(2), 616–622. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.2.616>
  31. Ferrannini E. (1988). The theoretical bases of indirect calorimetry: a review. *Metabolism: clinical and experimental*, 37(3), 287–301. [https://doi.org/10.1016/0026-0495\(88\)90110-2](https://doi.org/10.1016/0026-0495(88)90110-2)
  32. FitzGerald, S. J., Barlow, C. E., Kampert, J. B., Morrow, J. R., Jackson, A. W., & Blair, S. N. (2004). Muscular fitness and all-cause mortality: prospective observations. *Journal of Physical Activity and Health*, 1(1), 7-18. <https://doi.org/10.1123/jpah.1.1.7>
  33. Fortney, S. M., & Vroman, N. B. (1985). Exercise, performance and temperature control: temperature regulation during exercise and implications for sports performance and training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 2(1), 8–20. <https://doi.org/10.2165/00007256-198502010-00002>

34. Fortney, S. M., Wenger, C. B., Bove, J. R., & Nadel, E. R. (1984). Effect of hyperosmolality on control of blood flow and sweating. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 57(6), 1688–1695. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.57.6.1688>
35. Fox, S. M., 3rd, Naughton, J. P., & Haskell, W. L. (1971). Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Annals of clinical research*, 3(6), 404–432.
36. Fritzsche, R. G., Switzer, T. W., Hodgkinson, B. J., & Coyle, E. F. (1999). Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 86(3), 799–805. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.3.799>
37. Ganio, M. S., Wingo, J. E., Carroll, C. E., Thomas, M. K., & Cureton, K. J. (2006). Fluid ingestion attenuates the decline in  $\dot{V}O_2$  peak associated with cardiovascular drift. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(5), 901–909. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000218127.14107.08>
38. Gale, C. R., Martyn, C. N., Cooper, C., & Sayer, A. A. (2007). Grip strength, body composition, and mortality. *International journal of epidemiology*, 36(1), 228–235. <https://doi.org/10.1093/ije/dyl224>
39. Galper, D. I., Trivedi, M. H., Barlow, C. E., Dunn, A. L., & Kampert, J. B. (2006). Inverse association between physical inactivity and mental health in men and women. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(1), 173–178. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000180883.32116.28>
40. Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. C., Swain, D. P., & American College of Sports Medicine (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(7), 1334–1359. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>
41. Giannopoulou, I., Ploutz-Snyder, L. L., Carhart, R., Weinstock, R. S., Fernhall, B., Goulopoulou, S., & Kanaley, J. A. (2005). Exercise is required for visceral fat loss in postmenopausal women with type 2 diabetes. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 90(3), 1511–1518. <https://doi.org/10.1210/jc.2004-1782>

42. Gillison, F. B., Skevington, S. M., Sato, A., Standage, M., & Evangelidou, S. (2009). The effects of exercise interventions on quality of life in clinical and healthy populations; a meta-analysis. *Social science & medicine (1982)*, *68*(9), 1700–1710. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2009.02.028>
43. Gisolfi, C. V., & Wenger, C. B. (1984). Temperature regulation during exercise: old concepts, new ideas. *Exercise and sport sciences reviews*, *12*, 339–372.
44. Gliner, J. A., Raven, P. B., Horvath, S. M., Drinkwater, B. L., & Sutton, J. C. (1975). Man's physiologic response to long-term work during thermal and pollutant stress. *Journal of applied physiology*, *39*(4), 628–632. <https://doi.org/10.1152/jappl.1975.39.4.628>
45. González-Alonso, J., Mora-Rodríguez, R., Below, P. R., & Coyle, E. F. (1995). Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *79*(5), 1487–1496. <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.79.5.1487>
46. González-Alonso, J., Mora-Rodríguez, R., Below, P. R., & Coyle, E. F. (1997). Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *82*(4), 1229–1236. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.4.1229>
47. González-Alonso, J., Mora-Rodríguez, R., & Coyle, E. F. (1999). Supine exercise restores arterial blood pressure and skin blood flow despite dehydration and hyperthermia. *The American journal of physiology*, *277*(2), H576–H583. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1999.277.2.H576>
48. González-Alonso, J., Mora-Rodríguez, R., & Coyle, E. F. (2000). Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, *278*(2), H321–H330. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.2.H321>
49. Gormley, S. E., Swain, D. P., High, R., Spina, R. J., Dowling, E. A., Kotipalli, U. S., & Gandrakota, R. (2008). Effect of intensity of aerobic training on  $\dot{V}O_2\text{max}$ . *Medicine and science in sports and exercise*, *40*(7), 1336–1343. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31816c4839>
50. Hamilton, M. T., Gonzalez-Alonso, J., Montain, S. J., & Coyle, E. F. (1991). Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevent cardiovascular drift. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *71*(3), 871–877. <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.71.3.871>

51. Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., Macera, C. A., Heath, G. W., Thompson, P. D., & Bauman, A. (2007). Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(8), 1423–1434. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180616b27>
52. Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 65(1), 79–83. <https://doi.org/10.1007/BF01466278>
53. Heitmann, B. L., Erikson, H., Ellsinger, B. M., Mikkelsen, K. L., & Larsson, B. (2000). Mortality associated with body fat, fat-free mass and body mass index among 60-year-old swedish men—a 22-year follow-up. The study of men born in 1913. *International journal of obesity and related metabolic disorders : journal of the International Association for the Study of Obesity*, 24(1), 33–37. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801082>
54. Heyward, V. H., & Wagner, D. R. (2004). *Applied body composition assessment* (No. Ed. 2). Human Kinetics.
55. Hooper, V. D., & Andrews, J. O. (2006). Accuracy of noninvasive core temperature measurement in acutely ill adults: the state of the science. *Biological research for nursing*, 8(1), 24–34. <https://doi.org/10.1177/1099800406289151>
56. Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International journal of sports physiology and performance*, 14(2), 270–273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>
57. Irving, B. A., Davis, C. K., Brock, D. W., Weltman, J. Y., Swift, D., Barrett, E. J., Gaesser, G. A., & Weltman, A. (2008). Effect of exercise training intensity on abdominal visceral fat and body composition. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(11), 1863–1872. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181801d40>
58. Jackson, A. S., & Pollock, M. L. (1985). Practical Assessment of Body Composition. *The Physician and sportsmedicine*, 13(5), 76–90. <https://doi.org/10.1080/00913847.1985.11708790>

59. Janse de Jonge, X. A. (2003). Effects of the menstrual cycle on exercise performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(11), 833–851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333110-00004>
60. Jose, A. D., Stitt, F., & Collison, D. (1970). The effects of exercise and changes in body temperature on the intrinsic heart rate in man. *American heart journal*, 79(4), 488–498. [https://doi.org/10.1016/0002-8703\(70\)90254-1](https://doi.org/10.1016/0002-8703(70)90254-1)
61. Johnson, J. M., & Park, M. K. (1981). Effect of upright exercise on threshold for cutaneous vasodilation and sweating. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 50(4), 814–818. <https://doi.org/10.1152/jappl.1981.50.4.814>
62. Johnson, J. M. (1992). Exercise and the cutaneous circulation. *Exercise and sport sciences reviews*, 20, 59–97.
63. Johnson, J. M., & Rowell, L. B. (1975). Forearm skin and muscle vascular responses to prolonged leg exercise in man. *Journal of applied physiology*, 39(6), 920–924. <https://doi.org/10.1152/jappl.1975.39.6.920>
64. Jeukendrup, A., & VanDiemen, A. (1998). Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *Journal of sports sciences*, 16 Suppl, S91–S99. <https://doi.org/10.1080/026404198366722>
65. Jeukendrup, A., Saris, W. H., Brouns, F., & Kester, A. D. (1996). A new validated endurance performance test. *Medicine and science in sports and exercise*, 28(2), 266–270. <https://doi.org/10.1097/00005768-199602000-00017>
66. Jurca, R., Lamonte, M. J., Barlow, C. E., Kampert, J. B., Church, T. S., & Blair, S. N. (2005). Association of muscular strength with incidence of metabolic syndrome in men. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(11), 1849–1855. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000175865.17614.74>
67. Karvonen, M. J., Kentala, E., & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annales medicinae experimentalis et biologiae Fenniae*, 35(3), 307–315.
68. Kayki Mutlu, G., Arioglu Inan, E., Karaomerlioglu, I., Altan, V. M., Yersal, N., Korkusuz, P., Rocchetti, M., & Zaza, A. (2018). Role of the  $\beta_3$ -adrenergic receptor subtype in catecholamine-induced myocardial remodeling. *Molecular and cellular biochemistry*, 446(1-2), 149–160. <https://doi.org/10.1007/s11010-018-3282-3>

69. Kellogg, D. L., Jr, Johnson, J. M., & Kosiba, W. A. (1991a). Competition between cutaneous active vasoconstriction and active vasodilation during exercise in humans. *The American journal of physiology*, 261(4 Pt 2), H1184–H1189. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1991.261.4.H1184>
70. Kellogg, D. L., Jr, Johnson, J. M., & Kosiba, W. A. (1991b). Control of internal temperature threshold for active cutaneous vasodilation by dynamic exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 71(6), 2476–2482. <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.71.6.2476>
71. Kellogg, D. L., Jr, Johnson, J. M., Kenney, W. L., Pérgola, P. E., & Kosiba, W. A. (1993). Mechanisms of control of skin blood flow during prolonged exercise in humans. *The American journal of physiology*, 265(2 Pt 2), H562–H568. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1993.265.2.H562>
72. Kellogg, D. L., Jr, Pérgola, P. E., Piest, K. L., Kosiba, W. A., Crandall, C. G., Grossmann, M., & Johnson, J. M. (1995). Cutaneous active vasodilation in humans is mediated by cholinergic nerve cotransmission. *Circulation research*, 77(6), 1222–1228. <https://doi.org/10.1161/01.res.77.6.1222>
73. Kenny, G. P., Notley, S. R., & Gagnon, D. (2017). Direct calorimetry: a brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. *European journal of applied physiology*, 117(9), 1765–1785. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3670-5>
74. Keytel, L. R., Goedecke, J. H., Noakes, T. D., Hiiloskorpi, H., Laukkanen, R., van der Merwe, L., & Lambert, E. V. (2005). Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. *Journal of sports sciences*, 23(3), 289–297. <https://doi.org/10.1080/02640410470001730089>
75. Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 42(1), 25–34. <https://doi.org/10.1007/BF00421101>
76. Kopelman, P. G. (2000). Obesity as a medical problem. *Nature*, 404(6778), 635–643. <https://doi.org/10.1038/35007508>
77. Kounalakis, S. N., & Geladas, N. D. (2012). Cardiovascular drift and cerebral and muscle tissue oxygenation during prolonged cycling at different pedalling cadences. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie*

- appliquee, nutrition et metabolisme*, 37(3), 407–417.  
<https://doi.org/10.1139/h2012-011>
78. Kounalakis, S. N., Keramidis, M. E., Nassis, G. P., & Geladas, N. D. (2008a). The role of muscle pump in the development of cardiovascular drift. *European journal of applied physiology*, 103(1), 99–107. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0662-x>
  79. Kounalakis, S. N., Nassis, G. P., Koskolou, M. D., & Geladas, N. D. (2008b). The role of active muscle mass on exercise-induced cardiovascular drift. *Journal of sports science & medicine*, 7(3), 395–401.
  80. Kramer, A. F., & Erickson, K. I. (2007). Capitalizing on cortical plasticity: influence of physical activity on cognition and brain function. *Trends in cognitive sciences*, 11(8), 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.06.009>
  81. Kuipers, H., & Keizer, H. A. (1988). Overtraining in elite athletes. Review and directions for the future. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 6(2), 79–92. <https://doi.org/10.2165/00007256-198806020-00003>
  82. Kuipers, H., Verstappen, F. T., Keizer, H. A., Geurten, P., & van Kranenburg, G. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *International journal of sports medicine*, 6(4), 197–201. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025839>
  83. Kumahara, H., Schutz, Y., Ayabe, M., Yoshioka, M., Yoshitake, Y., Shindo, M., Ishii, K., & Tanaka, H. (2004). The use of uniaxial accelerometry for the assessment of physical-activity-related energy expenditure: a validation study against whole-body indirect calorimetry. *The British journal of nutrition*, 91(2), 235–243. <https://doi.org/10.1079/BJN20031033>
  84. Laaksonen, D. E., Lakka, H. M., Salonen, J. T., Niskanen, L. K., Rauramaa, R., & Lakka, T. A. (2002). Low levels of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness predict development of the metabolic syndrome. *Diabetes care*, 25(9), 1612–1618. <https://doi.org/10.2337/diacare.25.9.1612>
  85. LaForgia, J., Withers, R. T., & Gore, C. J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of sports sciences*, 24(12), 1247–1264. <https://doi.org/10.1080/02640410600552064>
  86. Lafrenz, A. J., Wingo, J. E., Ganio, M. S., & Cureton, K. J. (2008). Effect of ambient temperature on cardiovascular drift and maximal oxygen uptake.

- Medicine and science in sports and exercise*, 40(6), 1065–1071.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181666ed7>
87. Larson, E. B., Wang, L., Bowen, J. D., McCormick, W. C., Teri, L., Crane, P., & Kukull, W. (2006). Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older. *Annals of internal medicine*, 144(2), 73–81. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-144-2-200601170-00004>
  88. Lee, D. C., Sui, X., Ortega, F. B., Kim, Y. S., Church, T. S., Winett, R. A., Ekelund, U., Katzmarzyk, P. T., & Blair, S. N. (2011). Comparisons of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness as predictors of all-cause mortality in men and women. *British journal of sports medicine*, 45(6), 504–510. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.066209>
  89. Lim, C. L., Byrne, C., & Lee, J. K. (2008). Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 37(4), 347–353.
  90. Lounana, J., Campion, F., Noakes, T. D., & Medelli, J. (2007). Relationship between %HRmax, %HR reserve, % $\dot{V}O_2$ max, and % $\dot{V}O_2$  reserve in elite cyclists. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(2), 350–357. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000246996.63976.5f>
  91. Martinsen E. W. (2008). Physical activity in the prevention and treatment of anxiety and depression. *Nordic journal of psychiatry*, 62 Suppl 47, 25–29. <https://doi.org/10.1080/08039480802315640>
  92. Massion, P. B., Feron, O., Dessy, C., & Balligand, J. L. (2003). Nitric oxide and cardiac function: ten years after, and continuing. *Circulation research*, 93(5), 388–398. <https://doi.org/10.1161/01.RES.0000088351.58510.21>
  93. Masutani, S., Cheng, H. J., Morimoto, A., Hasegawa, H., Han, Q. H., Little, W. C., & Cheng, C. P. (2013).  $\beta_3$ -Adrenergic receptor antagonist improves exercise performance in pacing-induced heart failure. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, 305(6), H923–H930. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00371.2012>
  94. Mattsson, C. M., Enqvist, J. K., Brink-Elfegoun, T., Johansson, P. H., Bakkman, L., & Ekblom, B. (2010). Reversed drift in heart rate but increased oxygen uptake at fixed work rate during 24 h ultra-endurance exercise. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(2), 298–304. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00878.x>

95. Mattsson, C. M., Ståhlberg, M., Larsen, F. J., Braunschweig, F., & Ekblom, B. (2011). Late cardiovascular drift observable during ultraendurance exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(7), 1162–1168. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318208f773>
96. McArdle, W. D., Katch, F. I., Katch, V. L., Fanò, G., & Miserocchi, G. (2009). *Fisiologia applicata allo sport: aspetti energetici, nutrizionali e performance*. Casa Editrice Ambrosiana.
97. McAuley, P., Myers, J., Emerson, B., Oliveira, R. B., Blue, C. L., Pittsley, J., & Froelicher, V. F. (2009). Cardiorespiratory fitness and mortality in diabetic men with and without cardiovascular disease. *Diabetes research and clinical practice*, 85(3), e30–e33. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2009.05.012>
98. Mead, G. E., Morley, W., Campbell, P., Greig, C. A., McMurdo, M., & Lawlor, D. A. (2009). Exercise for depression. *The Cochrane database of systematic reviews*, (3), CD004366. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004366.pub4>
99. Mitono, H., Endoh, H., Okazaki, K., Ichinose, T., Masuki, S., Takamata, A., & Nose, H. (2005). Acute hypoosmolality attenuates the suppression of cutaneous vasodilation with increased exercise intensity. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 99(3), 902–908. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00156.2005>
100. Mognoni, P., Sirtori, M. D., Lorenzelli, F., & Cerretelli, P. (1990). Physiological responses during prolonged exercise at the power output corresponding to the blood lactate threshold. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 60(4), 239–243. <https://doi.org/10.1007/BF00379389>
101. Montain, S. J., & Coyle, E. F. (1992). Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 73(3), 903–910. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.73.3.903>
102. Montain, S. J., Latzka, W. A., & Sawka, M. N. (1995). Control of thermoregulatory sweating is altered by hydration level and exercise intensity. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 79(5), 1434–1439. <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.79.5.1434>
103. Moran, D. S., & Mendal, L. (2002). Core temperature measurement: methods and current insights. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(14), 879–885. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232140-00001>

104. Morimoto, T., & Itoh, T. (1998). Thermoregulation and body fluid osmolality. *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology*, 9(1), 51–72. <https://doi.org/10.1515/jbcpp.1998.9.1.51>
105. Myers, J., McAuley, P., Lavie, C. J., Despres, J. P., Arena, R., & Kokkinos, P. (2015). Physical activity and cardiorespiratory fitness as major markers of cardiovascular risk: their independent and interwoven importance to health status. *Progress in cardiovascular diseases*, 57(4), 306–314. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2014.09.011>
106. Myers, J., Prakash, M., Froelicher, V., Do, D., Partington, S., & Atwood, J. E. (2002). Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *The New England journal of medicine*, 346(11), 793–801. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa011858>
107. Nelson, M. E., Rejeski, W. J., Blair, S. N., Duncan, P. W., Judge, J. O., King, A. C., Macera, C. A., & Castaneda-Sceppa, C. (2007). Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(8), 1435–1445. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180616aa2>
108. Nelson-Wong, E., Howarth, S., Winter, D. A., & Callaghan, J. P. (2009). Application of autocorrelation and cross-correlation analyses in human movement and rehabilitation research. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 39(4), 287–295. <https://doi.org/10.2519/jospt.2009.2969>
109. Newman, A. B., Kupelian, V., Visser, M., Simonsick, E. M., Goodpaster, B. H., Kritchevsky, S. B., Tylavsky, F. A., Rubin, S. M., & Harris, T. B. (2006). Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 61(1), 72–77. <https://doi.org/10.1093/gerona/61.1.72>
110. Nose, H., Takamata, A., Mack, G. W., Oda, Y., Kawabata, T., Hashimoto, S., Hirose, M., Chihara, E., & Morimoto, T. (1994). Right atrial pressure and forearm blood flow during prolonged exercise in a hot environment. *Pflugers Archiv : European journal of physiology*, 426(3-4), 177–182. <https://doi.org/10.1007/BF00374769>

111. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. (2000). *World Health Organization technical report series*, 894, i–253.
112. O’Leary, V. B., Marchetti, C. M., Krishnan, R. K., Stetzer, B. P., Gonzalez, F., & Kirwan, J. P. (2006). Exercise-induced reversal of insulin resistance in obese elderly is associated with reduced visceral fat. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 100(5), 1584–1589. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01336.2005>
113. Paterson, D. H., & Warburton, D. E. (2010). Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada’s Physical Activity Guidelines. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 7, 38. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-38>
114. Pedersen, B. K., & Saltin, B. (2015). Exercise as medicine - evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25 Suppl 3, 1–72. <https://doi.org/10.1111/sms.12581>
115. Pollack, M. L., Schmidt, D. H., & Jackson, A. S. (1980). Measurement of cardio-respiratory fitness and body composition in the clinical setting. *Comprehensive therapy*, 6(9), 12–27.
116. Pollock, M. L., Franklin, B. A., Balady, G. J., Chaitman, B. L., Fleg, J. L., Fletcher, B., Limacher, M., Piña, I. L., Stein, R. A., Williams, M., & Bazzarre, T. (2000). AHA Science Advisory. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benefits, rationale, safety, and prescription: An advisory from the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association; Position paper endorsed by the American College of Sports Medicine. *Circulation*, 101(7), 828–833. <https://doi.org/10.1161/01.cir.101.7.828>
117. Polsinelli, G., Rodio, A., & Federico, B. (2021). Estimation of cardiovascular drift through ear temperature during prolonged steady-state cycling: a study protocol. *BMJ open sport & exercise medicine*, 7(1), e000907. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000907>
118. Puetz, T. W. (2006). Physical activity and feelings of energy and fatigue: epidemiological evidence. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(9), 767–780. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636090-00004>

119. Reis, J. P., Macera, C. A., Araneta, M. R., Lindsay, S. P., Marshall, S. J., & Wingard, D. L. (2009). Comparison of overall obesity and body fat distribution in predicting risk of mortality. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, *17*(6), 1232–1239. <https://doi.org/10.1038/oby.2008.664>
120. Rejeski, W. J., & Mihalko, S. L. (2001). Physical activity and quality of life in older adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, *56* Spec No 2, 23–35. [https://doi.org/10.1093/gerona/56.suppl\\_2.23](https://doi.org/10.1093/gerona/56.suppl_2.23)
121. Rethorst, C. D., Wipfli, B. M., & Landers, D. M. (2009). The antidepressive effects of exercise: a meta-analysis of randomized trials. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, *39*(6), 491–511. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00004>
122. Rowell, L.B. (1986). *Human Circulation: Regulation During Physical Stress*. New York: Oxford University Press, pp. 363-406.
123. Rowell, L.B., O’Leary, D.S., & Kellogg, D.L. (1996). *Integration of cardiovascular control systems in dynamic exercise*. In: Handbook of Physiology. Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems. Bethesda, MD: Am. Physiol. Soc., sect. 12, chapt. 17, pp. 770-838.
124. Rozec, B., & Gauthier, C. (2006). beta3-adrenoceptors in the cardiovascular system: putative roles in human pathologies. *Pharmacology & therapeutics*, *111*(3), 652–673. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2005.12.002>
125. Ruscheweyh, R., Willemer, C., Krüger, K., Duning, T., Warnecke, T., Sommer, J., Völker, K., Ho, H. V., Mooren, F., Knecht, S., & Flöel, A. (2011). Physical activity and memory functions: an interventional study. *Neurobiology of aging*, *32*(7), 1304–1319. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2009.08.001>
126. Sallis, J. F., & McKenzie, T. L. (1991). Physical education’s role in public health. *Research quarterly for exercise and sport*, *62*(2), 124–137. <https://doi.org/10.1080/02701367.1991.10608701>
127. Sawka, M. N., Latzka, W. A., Matott, R. P., & Montain, S. J. (1998). Hydration effects on temperature regulation. *International journal of sports medicine*, *19* Suppl 2, S108–S110. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971971>
128. Sawka, M. N., Young, A. J., Francesconi, R. P., Muza, S. R., & Pandolf, K. B. (1985). Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded

- hypohydration levels. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 59(5), 1394–1401. <https://doi.org/10.1152/jappl.1985.59.5.1394>
129. Shaffrath, J. D., & Adams, W. C. (1984). Effects of airflow and work load on cardiovascular drift and skin blood flow. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 56(5), 1411–1417. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.56.5.1411>
130. Shibasaki, M., Aoki, K., Morimoto, K., Johnson, J. M., & Takamata, A. (2009). Plasma hyperosmolality elevates the internal temperature threshold for active thermoregulatory vasodilation during heat stress in humans. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 297(6), R1706–R1712. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00242.2009>
131. Siri, W. E. (1993). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 9(5), 480–492.
132. Smith, C. J., & Johnson, J. M. (2016). Responses to hyperthermia. Optimizing heat dissipation by convection and evaporation: Neural control of skin blood flow and sweating in humans. *Autonomic neuroscience : basic & clinical*, 196, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.01.002>
133. Smith, P. J., Blumenthal, J. A., Hoffman, B. M., Cooper, H., Strauman, T. A., Welsh-Bohmer, K., Browndyke, J. N., & Sherwood, A. (2010). Aerobic exercise and neurocognitive performance: a meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosomatic medicine*, 72(3), 239–252. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181d14633>
134. Souissi, A., Haddad, M., Dergaa, I., Ben Saad, H., & Chamari, K. (2021). A new perspective on cardiovascular drift during prolonged exercise. *Life sciences*, 287, 120109. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.120109>
135. Spurr, G. B., Prentice, A. M., Murgatroyd, P. R., Goldberg, G. R., Reina, J. C., & Christman, N. T. (1988). Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *The American journal of clinical nutrition*, 48(3), 552–559. <https://doi.org/10.1093/ajcn/48.3.552>
136. Sterin-Borda, L., Bernabeo, G., Ganzinelli, S., Joensen, L., & Borda, E. (2006). Role of nitric oxide/cyclic GMP and cyclic AMP in beta3 adrenoceptor-chronotropic response. *Journal of molecular and cellular cardiology*, 40(4), 580–588. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2006.01.017>

137. Stone, T., Earley, R. L., Burnash, S. G., & Wingo, J. E. (2021). Menstrual cycle effects on cardiovascular drift and maximal oxygen uptake during exercise heat stress. *European journal of applied physiology*, *121*(2), 561–572. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04542-y>
138. Strath, S. J., Bassett, D. R., Jr, Thompson, D. L., & Swartz, A. M. (2002). Validity of the simultaneous heart rate-motion sensor technique for measuring energy expenditure. *Medicine and science in sports and exercise*, *34*(5), 888–894. <https://doi.org/10.1097/00005768-200205000-00025>
139. Ströhle, A. (2009). Physical activity, exercise, depression and anxiety disorders. *Journal of neural transmission (Vienna, Austria : 1996)*, *116*(6), 777–784. <https://doi.org/10.1007/s00702-008-0092-x>
140. Sui, X., LaMonte, M. J., & Blair, S. N. (2007a). Cardiorespiratory fitness as a predictor of nonfatal cardiovascular events in asymptomatic women and men. *American journal of epidemiology*, *165*(12), 1413–1423. <https://doi.org/10.1093/aje/kwm031>
141. Sui, X., LaMonte, M. J., & Blair, S. N. (2007b). Cardiorespiratory fitness and risk of nonfatal cardiovascular disease in women and men with hypertension. *American journal of hypertension*, *20*(6), 608–615. <https://doi.org/10.1016/j.amjhyper.2007.01.009>
142. Sui, X., LaMonte, M. J., Laditka, J. N., Hardin, J. W., Chase, N., Hooker, S. P., & Blair, S. N. (2007). Cardiorespiratory fitness and adiposity as mortality predictors in older adults. *JAMA*, *298*(21), 2507–2516. <https://doi.org/10.1001/jama.298.21.2507>
143. Swain, D. P., & Leutholtz, B. C. (1997). Heart rate reserve is equivalent to % $\dot{V}O_2$  reserve, not to % $\dot{V}O_{2max}$ . *Medicine and science in sports and exercise*, *29*(3), 410–414. <https://doi.org/10.1097/00005768-199703000-00018>
144. Swain, D. P., & Franklin, B. A. (2002).  $\dot{V}O_2$  reserve and the minimal intensity for improving cardiorespiratory fitness. *Medicine and science in sports and exercise*, *34*(1), 152–157. <https://doi.org/10.1097/00005768-200201000-00023>
145. Swain, D. P., & Franklin, B. A. (2006). Comparison of cardioprotective benefits of vigorous versus moderate intensity aerobic exercise. *The American journal of cardiology*, *97*(1), 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2005.07.130>

146. Takamata, A., Nagashima, K., Nose, H., & Morimoto, T. (1998). Role of plasma osmolality in the delayed onset of thermal cutaneous vasodilation during exercise in humans. *The American journal of physiology*, 275(1), R286–R290. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1998.275.1.R286>
147. Taylor, W. F., Johnson, J. M., Kosiba, W. A., & Kwan, C. M. (1988). Graded cutaneous vascular responses to dynamic leg exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 64(5), 1803–1809. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.64.5.1803>
148. Terndrup, T. E., & Rajk, J. (1992). Impact of operator technique and device on infrared emission detection tympanic thermometry. *The Journal of emergency medicine*, 10(6), 683–687. [https://doi.org/10.1016/0736-4679\(92\)90525-x](https://doi.org/10.1016/0736-4679(92)90525-x)
149. Tolmunen, T., Laukkanen, J. A., Hintikka, J., Kurl, S., Viinamäki, H., Salonen, R., Kauhanen, J., Kaplan, G. A., & Salonen, J. T. (2006). Low maximal oxygen uptake is associated with elevated depressive symptoms in middle-aged men. *European journal of epidemiology*, 21(9), 701–706. <https://doi.org/10.1007/s10654-006-9038-5>
150. Tremblay, A., Simoneau, J. A., & Bouchard, C. (1994). Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism: clinical and experimental*, 43(7), 814–818. [https://doi.org/10.1016/0026-0495\(94\)90259-3](https://doi.org/10.1016/0026-0495(94)90259-3)
151. Trinity, J. D., Pahnke, M. D., Lee, J. F., & Coyle, E. F. (2010). Interaction of hyperthermia and heart rate on stroke volume during prolonged exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 109(3), 745–751. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00377.2010>
152. Vogt, S., Heinrich, L., Schumacher, Y. O., Blum, A., Roecker, K., Dickhuth, H. H., & Schmid, A. (2006). Power output during stage racing in professional road cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(1), 147–151. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000183196.63081.6a>
153. Weuve, J., Kang, J. H., Manson, J. E., Breteler, M. M., Ware, J. H., & Grodstein, F. (2004). Physical activity, including walking, and cognitive function in older women. *JAMA*, 292(12), 1454–1461. <https://doi.org/10.1001/jama.292.12.1454>
154. Wingo, J. E., & Cureton, K. J. (2006). Body cooling attenuates the decrease in maximal oxygen uptake associated with cardiovascular drift during heat stress.

- European journal of applied physiology*, 98(1), 97–104.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-006-0249-y>
155. Wingo, J. E., & Cureton, K. J. (2006). Maximal oxygen uptake after attenuation of cardiovascular drift during heat stress. *Aviation, space, and environmental medicine*, 77(7), 687–694.
  156. Wingo, J. E., Ganio, M. S., & Cureton, K. J. (2012). Cardiovascular drift during heat stress: implications for exercise prescription. *Exercise and sport sciences reviews*, 40(2), 88–94. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31824c43af>
  157. Wingo, J. E., Lafrenz, A. J., Ganio, M. S., Edwards, G. L., & Cureton, K. J. (2005). Cardiovascular drift is related to reduced maximal oxygen uptake during heat stress. *Medicine and science in sports and exercise*, 37(2), 248–255. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000152731.33450.95>
  158. Wingo, J. E., Ng, J., Katica, C. P., & Carter, S. J. (2019). Fan cooling after cardiovascular drift does not reverse decrements in maximal oxygen uptake during heat stress. *Temperature (Austin, Tex.)*, 6(3), 260–270. <https://doi.org/10.1080/23328940.2019.1657344>
  159. Wingo, J. E., Salaga, L. J., Newlin, M. K., & Cureton, K. J. (2012). Cardiovascular drift and  $\dot{V}O_2$ max during cycling and walking in a temperate environment. *Aviation, space, and environmental medicine*, 83(7), 660–666. <https://doi.org/10.3357/ asem.3246.2012>
  160. Wingo, J. E., Stone, T., & Ng, J. (2020). Cardiovascular Drift and Maximal Oxygen Uptake during Running and Cycling in the Heat. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(9), 1924–1932. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002324>
  161. Wipfli, B., Landers, D., Nagoshi, C., & Ringenbach, S. (2011). An examination of serotonin and psychological variables in the relationship between exercise and mental health. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(3), 474–481. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01049.x>
  162. Wong, B. J., & Hollowed, C. G. (2016). Current concepts of active vasodilation in human skin. *Temperature (Austin, Tex.)*, 4(1), 41–59. <https://doi.org/10.1080/23328940.2016.1200203>
  163. Yaffe, K., Fiocco, A. J., Lindquist, K., Vittinghoff, E., Simonsick, E. M., Newman, A. B., Satterfield, S., Rosano, C., Rubin, S. M., Ayonayon, H. N.,

- Harris, T. B., & Health ABC Study (2009). Predictors of maintaining cognitive function in older adults: the Health ABC study. *Neurology*, 72(23), 2029–2035. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181a92c36>
164. Yamazaki, F., Fujii, N., Sone, R., & Ikegami, H. (1996). Responses of sweating and body temperature to sinusoidal exercise in physically trained men. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 80(2), 491–495. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.2.491>
165. Yamazaki, F., Sone, R., & Ikegami, H. (1994). Responses of sweating and body temperature to sinusoidal exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 76(6), 2541–2545. <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.6.2541>
166. Yang, S., Yeh, Y. C., Ladasky, J. J., & Schmidt, D. J. (2016). Algorithm to calculate human calorie expenditure based on a predicted heat strain model. In *2016 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)* (pp. 545-548). IEEE.
167. Yau, M. K. (2008). Tai Chi exercise and the improvement of health and well-being in older adults. *Medicine and sport science*, 52, 155–165. <https://doi.org/10.1159/000134296>
168. Yeoh, W. K., Lee, J., Lim, H. Y., Gan, C. W., Liang, W., & Tan, K. K. (2017). Re-visiting the tympanic membrane vicinity as core body temperature measurement site. *PloS one*, 12(4), e0174120. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174120>