

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Medicina

Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecniche
dell'Attività Motoria Preventiva ed Adattata

Tesi di Laurea

***L'impatto dell'inattività fisica indotta da COVID-19 sulla
capacità funzionale in una popolazione di bambini e
adolescenti.***

Relatore: Dott. Neunhaeuserer Daniel

Correlatori: Dott. Vecchiato Marco e Dott.ssa Fabris Marta

Laureanda: Silvia Dotta

N° matricola: 1239291

Anno Accademico 2021/2022

SINOSI

ABSTRACT

INTRODUZIONE

1. VALUTAZIONE CARDIOVASCOLARE PER LA CONCESSIONE
DELL'IDONEITÀ SPORTIVA AGONISTICA

1.1 L'incidenza della morte cardiaca improvvisa negli atleti

1.2 Ruolo dell'ECG nel test da sforzo

1.3 Ruolo delle modalità di imaging nello screening

1.4 Screening pre-partecipazione in Italia

2. TEST DI VALUTAZIONE CARDIOVASCOLARE

2.1 Fisiologia del test da sforzo

2.1.1 Risposte cardiovascolari all'esercizio in soggetti normali

2.1.2 Risposta della frequenza cardiaca (FC)

2.1.3 Risposta della pressione arteriosa

2.1.4 Assorbimento di ossigeno miocardico

2.1.5 Il consumo di ossigeno e la soglia ventilatoria

2.1.6 Rischi del test da sforzo

3. COVID-19 E ATTIVITÀ FISICA

3.1 Le conseguenze della quarantena da COVID-19 e dell'allenamento online nei giovani atleti

INTRODUZIONE ED OBIETTIVO DELLO STUDIO

MATERIALI E METODI

1. CAMPIONE

2. PROCEDURA SPERIMENTALE

3. ANALISI STATISTICA

RISULTATI

DISCUSSIONE

LIMITAZIONI E PROSPETTIVE FUTURE

CONCLUSIONE

BIBLIOGRAFIA

SINOSI

CONTESTO

In questo periodo storico segnato dalla pandemia di SARS-CoV-2, lo stile di vita della popolazione mondiale è stato notevolmente influenzato. In particolare, il periodo di isolamento forzato ha influito negativamente sul livello di attività fisica e sulle relazioni sociali, che sono diventate sempre più difficili da mantenere. Tuttavia, ad oggi, ci sono ancora pochi dati disponibili sull'impatto correlato di questa pandemia, e soprattutto nessuno studio ha affrontato specificamente gli effetti sulla capacità funzionale di bambini e adolescenti. Pertanto, questo studio si propone di indagare se la pandemia ha influenzato la capacità funzionale e la tolleranza all'esercizio di giovani atleti competitivi.

METODI

In questo studio sono stati inclusi i soggetti di età inferiore ai 18 anni i quali sono stati valutati nel 2020 presso l'ambulatorio di medicina dello sport e dell'esercizio fisico dell'Azienda Ospedaliera Universitaria di Padova per lo screening obbligatorio pre-gara per l'attività sportiva. Da questa coorte sono stati infine selezionati per l'analisi i pazienti che hanno ricevuto almeno 3 anni consecutivi di valutazioni presso lo stesso centro e con lo stesso test ergometrico massimale tra il 2017 e il 2021.

RISULTATI

Dei 1519 soggetti valutati nel 2020, sono stati inclusi i test da sforzo di 344 soggetti. I diversi parametri antropometrici (peso, altezza e BMI) e i valori della pressione sanguigna sono aumentati linearmente nel corso degli anni. Le ore settimanali e totali di attività sportiva hanno mostrato un aumento lineare dal 2017 al 2019 con una diminuzione nel 2020 e un successivo rialzo nell'anno 2021. Conseguentemente, la capacità funzionale (METs), il tempo di esercizio e il recupero della frequenza cardiaca hanno mostrato un andamento simile, migliorando negli anni 2017-2019, con un impatto negativo di questa tendenza nel 2020. Gli atleti maschi hanno mostrato una differenza statisticamente significativa rispetto alle atlete femmine per quanto riguarda i parametri appena descritti.

CONCLUSIONI

La pandemia dovuta al virus SARS-CoV-2 ha causato molteplici cambiamenti nella vita quotidiana dell'uomo, modificando le abitudini e influenzando soprattutto lo stile di vita, anche dei giovani. Il sedentarismo è diventato parte integrante della vita di tutti, ma

soprattutto dei bambini e degli adolescenti che hanno dovuto affrontare la chiusura dei centri sportivi e delle attività extrascolastiche. Questo studio ha riportato le relative conseguenze in un campione rappresentativo di atleti adolescenti, mostrando una riduzione della capacità funzionale e della tolleranza all'esercizio nella fase più critica della pandemia (2020) e come questi parametri siano migliorati dopo la ripresa di un'attività sportiva quasi regolare nel 2021.

ABSTRACT

BACKGROUND

In this historical period marked by the SARS-CoV-2 pandemic, the lifestyle of the world's population has been significantly affected. In particular, the period of forced lockdown has negatively affected the level of physical activity and social relations, which have become increasingly difficult to maintain. However, to date, there is still little data available on the related impact of this pandemic, and especially no study has specifically addressed the effects on functional capacity of children and adolescents. Thus, this study aims to investigate whether the pandemic has influenced functional capacity and exercise tolerance of young competitive athletes.

METHODS

Subjects under 18 years of age who were evaluated in 2020 at the outpatient sports and exercise medicine division of the Padua University Hospital for the mandatory pre-competition screening for sports activity were included in this study. From this cohort, patients receiving at least 3 consecutive years of assessments at the same centre with the same maximal ergometric test between 2017 and 2021 were finally selected for analysis.

RESULTS

Out of the 1519 subjects assessed in 2020, exercise tests of 344 subjects were included. The different anthropometric parameters (weight, height and BMI) and blood pressure values increased linearly over the years. The weekly and total hours of sports activity showed a linear increase from 2017 to 2019 with a decrease in 2020 and a subsequent rebound in the year 2021. Consensually, functional capacity (METs), exercise time, and heart rate recovery showed a similar trend, improving over the years 2017-2019, with a negative impact of this

trend in 2020. Male athletes showed a statistically significant difference to female athletes with regard to the parameters just described.

CONCLUSIONS

The pandemic due to the SARS-CoV-2 virus has caused multiple changes in the daily life of humans, modifying habits and affecting above all the lifestyle, even of young people. Sedentarism has become an integral part of everyone's life, but especially of children and adolescents who had to face the closure of sports centres and extracurricular activities. This study reported the related consequences in a representative sample of adolescent athletes, showing a reduction in functional capacity and exercise tolerance in the most critical phase of the pandemic (2020) and how these parameters improved following the resumption of almost regular sports activity in 2021.

INTRODUZIONE

Il Coronavirus 2019 (COVID-19) è una malattia virale che ha avuto i suoi primi casi nel dicembre 2019 nella città di Wuhan (Cina) fino ad estendersi in tutto il mondo e prendendo il nome di pandemia. Come altri coronavirus, COVID-19 infetta le cellule dell'ospite utilizzando una proteina spike, la quale si collega ai recettori dell'enzima di conversione dell'angiotensina 2 (ACE2) espressi su varie cellule umane come le cellule epiteliali del polmone. È noto che le popolazioni fragili, come anziani, immunodepressi o soggetti che presentano comorbidità multiple, sono più esposti agli effetti più gravi del virus. In Italia, è stato riportato un tasso di mortalità di 4,47 volte superiore tra le persone di età compresa tra 80 e 89 anni rispetto a quelle di età compresa tra 60 e 69 anni, inoltre, diabete, ipertensione e soprattutto malattie cardiovascolari sono indicate come le comorbidità più frequenti tra i pazienti con COVID-19 e che richiedono quindi l'ospedalizzazione (1). Attuali evidenze hanno sottolineato come il virus SARS-CoV-2, oltre ad incrementare il rischio tromboembolico, possa creare le condizioni ideali per lo sviluppo di problematiche cardiovascolari quali miocarditi e pericarditi. Lo studio di Inciardi et al. ha riportato il caso di una donna bianca, sana alla quale, dopo essere stata contagiata, è stata diagnosticata un'inflammazione miocardica acuta. Questo studio è uno dei numerosi lavori presenti in letteratura che testimoniano la correlazione fra la malattia e il rischio cardiovascolare; pertanto, si ritiene fondamentale l'individuazione di soggetti fragili tramite il pre participation screening, il quale, diviene uno strumento di prevenzione di morte cardiaca improvvisa (MCI) soprattutto in quei soggetti che si accingono a riprendere l'attività sportiva dopo essere stati esposti al virus (2).

1.VALUTAZIONE CARDIOVASCOLARE PER LA CONCESSIONE DELL'IDONEITA' SPORTIVA AGONISTICA

1.1. L'incidenza della morte cardiaca improvvisa negli atleti

La morte cardiaca improvvisa (MCI), associata all'attività sportiva, è rara ma ha un ampio impatto sociale poiché pone la popolazione generale di fronte al paradosso che gli atleti, percepiti come più in forma e più sani, improvvisamente muoiono praticando il loro sport (3).

Le anomalie cardiache che possono condurre alla MCI negli atleti di età ≤ 35 anni rientrano generalmente in 3 categorie: anomalie elettriche, acquisite e strutturali cardiache. La maggior parte di queste anomalie sono disturbi cardiaci ereditari che possono essere quiescenti e quindi provocare la morte nell'atleta principalmente mediante l'aritmia ventricolare (4).

L'allenamento intensivo e la partecipazione a sport competitivi sono fattori scatenanti che possono favorire l'insorgenza di pericolose tachiaritmie ventricolari in individui predisposti. Di conseguenza, c'è un grande interesse nell'identificazione precoce dei soggetti a rischio per i quali può essere attuato un trattamento appropriato, seguito o meno da un adeguamento dell'attività fisica per minimizzare il rischio di MCI (5). L'American Heart Association (AHA) e l'American College of Cardiology (ACC) raccomandano uno screening condotto mediante un'anamnesi medica, che include domande personali e familiari relative a particolari sintomi cardiovascolari, un esame obiettivo e l'esecuzione di un elettrocardiogramma (ECG) a 12 derivazioni il quale sembra aumentare la sensibilità dello screening. Il ruolo del PPE come strategia efficace per identificare gli atleti a rischio non è universalmente riconosciuto e adottato in tutto il mondo. Le ragioni di questa scelta sono diverse e possono essere attribuite in parte al rapporto costo-beneficio, che alcuni tipi di politiche sanitarie non sarebbero in grado di sostenere, ed in secondo luogo ad una difficoltà interpretativa dettata dalla difficoltà diagnostica alla luce di un'elevata probabilità di falsi positivi. E' fondamentale, infatti, che il test ed eventuali ulteriori indagini siano condotti ed interpretati da personale medico che conosca gli adattamenti cardiovascolari all'allenamento e i conseguenti cambiamenti fisiologici nella struttura e nella funzione cardiaca (6). Tuttavia, studi recenti hanno dimostrato un'elevata capacità nell'individuazione di anomalie nell'ECG

di atleti con possibile patologia sottostante e un basso tasso di falsi positivi (7). Si può concludere che, nonostante non ci sia una metodologia di screening universale, l'inclusione dell'ECG in aggiunta all'anamnesi e all'esame obiettivo aumenta la probabilità di individuare precocemente cardiopatie. Molti studi hanno infatti dimostrato che la sensibilità passa da circa il 25% per l'anamnesi e l'esame obiettivo a più del 90% per l'ECG. Una recente meta-analisi degli studi disponibili ha confrontato l'anamnesi, l'esame obiettivo e l'ECG dimostrando che la strategia più efficace per rilevare la malattia sottostante (che predispone a MCI/ SCA) è l'ECG (5).

1.2. Ruolo dell'ECG nel test da sforzo

Il test da sforzo è spesso utilizzato per svelare patologie che, se non riconosciute, potrebbero condurre alla morte come la coronaropatia, tuttavia, la maggior parte dei test che risultano positivi in individui asintomatici sono falsamente positivi e richiedono ulteriori esami per escludere la malattia (5). Di primaria importanza in questo campo è l'ECG a 12 derivazioni il quale diviene uno strumento insostituibile nella valutazione di pazienti, con ad esempio, cardiomiopatia ipertrofica (CMI) in quanto, valori elettrici anomali, possono essere l'unica manifestazione della malattia in una fase iniziale. Inoltre, la rilevazione di alcune anomalie può differenziare la CMI da altre malattie cardiache come l'amiloidosi cardiaca o malattie da accumulo di glicogeno che simulano la cardiomiopatia (8). Oltre all'importanza di tale esame, l'accurata interpretazione dei risultati è fondamentale soprattutto a scopo diagnostico. Nel febbraio 2015, un gruppo di esperti si è riunito a Seattle per aggiornare le raccomandazioni per la corretta interpretazione dell'ECG di atleti asintomatici di età compresa tra 12 e 35 anni. Il documento emerso da questo incontro ha fornito raccomandazioni più aggiornate e soprattutto basate sulle ultime evidenze scientifiche, bilanciando sensibilità e specificità. Al suo interno vi è una sintesi delle raccomandazioni di consenso in cui sono elencati i valori normali, anormali e borderline dell'ECG tali per cui diviene possibile definire con maggiore accuratezza se sono necessarie o meno ulteriori valutazioni per il soggetto (9).

Di fatto, oltre alla disciplina sportiva vera e propria, al volume e all'intensità dell'esercizio eseguito, altri fattori come il sesso, l'età e l'etnia, giocano un ruolo fondamentale nello sviluppo di determinati modelli di ECG. In particolare, alcuni atleti di resistenza o con

peculiari caratteristiche genetiche, possono presentare modelli di ECG che si sovrappongono a quelli di pazienti con cardiomiopatie e canalopatie, che possono a loro volta fuorviare la diagnosi (10). In cardiologia, a differenza di molte altre tecniche utilizzate, l'ECG è semplice, piccolo, mobile, universalmente disponibile ed economico, tuttavia, come accennato in precedenza, la sua interpretazione standard si basa principalmente sulla valutazione visiva diretta, è quindi molto importante sapere come interpretare i risultati per evitare di mettere a repentaglio alcune carriere sportive. (11). Per quanto riguarda la routine dell'ECG standard a 12 derivazioni, è fondamentale l'acquisizione di un tracciato basale a riposo in posizione supina e senza eseguire alcun movimento, il quale consentirà al medico dello sport di confrontare i risultati con quelli ottenuti in precedenza per determinare eventuali cambiamenti. Prima di eseguire la rilevazione dei parametri cardiaci è necessario ripulire la cute per ridurre al minimo gli artefatti, dopodiché vengono applicati gli elettrodi al paziente: più precisamente le sei derivazioni a livello precordiale e le quattro derivazioni periferiche/degli arti. Questa procedura permette la registrazione dell'attività elettrica cardiaca a riposo e durante esercizio e consente di ottenere una valutazione della capacità fisica, della tolleranza all'esercizio e una panoramica degli eventuali segni e sintomi dell'atleta (12). Qualora venissero rilevate anomalie, lo specialista deciderà se procedere con degli esami di approfondimento diagnostico (ad esempio Holter-ECG delle 24 ore o Ecocolor Dopplergrafia cardiaca).

1.3. Ruolo delle modalità di imaging nello screening

Oltre ai numerosi studi che si sono concentrati sull'utilità dell'ECG nella prevenzione della MCI, è sorto recentemente un notevole dibattito sull'inclusione di strumenti ancor più sofisticati nei protocolli di screening, tra i quali vi sono: l'ecocardiografia, la risonanza magnetica cardiaca, il calcium scoring coronarico e l'angiografia coronarica con tomografia computerizzata. Tali tecnologie costituiscono l'imaging cardiaco che, in aggiunta al test da sforzo, fornirebbe maggiori informazioni per una diagnosi più accurata di cardiopatia in soggetti con ECG non interpretabili o non in grado di effettuare adeguatamente il test (13). L'ecocardiografia è un'ottima candidata come modalità di screening in quanto è relativamente poco costosa, accessibile e priva di qualsiasi effetto negativo diretto. Tuttavia, è importante che la diagnosi venga definita con estrema chiarezza soprattutto negli atleti, nei

quali il rimodellamento cardiaco è comune. Il vantaggio principale di tale strumento è proprio la possibilità di individuare la cardiomiopatia ipertrofica che, nella maggior parte dei casi, è la causa predominante di MCI nei giovani atleti. La risonanza cardiaca magnetica (CMR) è molto efficace nella valutazione del cuore di un atleta e, rispetto all'ecocardiografia, permette una migliore valutazione della morfologia e della funzione di tutte le camere cardiache, consentendo inoltre la caratterizzazione dei tessuti. Proprio per questo motivo la CMR dovrebbe essere considerata la modalità di imaging più completa per l'esclusione delle cardiomiopatie, rendendola estremamente preziosa per la valutazione degli atleti con alterazioni al PPE. Tuttavia, la notevole spesa e la disponibilità limitata la rendono poco adatta per lo screening in prevenzione primaria.

L'angiografia coronarica con tomografia computerizzata (CTCA) e il calcium scoring coronarico (CACS) sono entrambi strumenti all'avanguardia soprattutto nello screening dell'atleta asintomatico, in quanto si sono dimostrati molto efficaci nella prevenzione dell'infarto del miocardio e della MCI. La prima viene effettuata mediante l'iniezione in una vena periferica del mezzo di contrasto e sincronizzando l'acquisizione delle immagini TC con il ritmo cardiaco in modo tale da ottenere informazioni specifiche sulla composizione delle placche. La seconda metodologia invece permette di rilevare la presenza di calcio, attraverso lo score di Agatston, nelle arterie e quindi di quantificare il rischio di infarto.

Tra gli svantaggi si possono ritrovare i costi elevati, eventuali reazioni al mezzo di contrasto e l'esposizione, seppur limitata, alle radiazioni (14). In conclusione, si può affermare che, mentre alcuni studi hanno valutato l'ecocardiografia come possibile strumento di screening di massa di prima linea, CMR, CTCA e CACS sono quasi esclusivamente utilizzati per valutare gli atleti con sintomi o anomalie riscontrate sui test di screening (5).

1.4. Screening pre-partecipazione in Italia

Lo scopo principale dello pre-participation screening (PPS) è quello di identificare la malattia cardiaca clinicamente silente che, soprattutto durante l'allenamento o durante la competizione, può portare all'arresto cardiaco e talvolta alla morte. Pertanto, il PPS non solo viene utilizzato come forma preventiva ma anche per la valutazione e la gestione di eventuali condizioni cardiovascolari anomale che potrebbero peggiorare con l'allenamento (5). Le proprietà benefiche dell'esercizio fisico sono ben note, meno noti sono invece i rischi, i quali

differiscono a seconda dell'età, del sesso e del tipo di sport praticato. L'arresto cardiaco improvviso può indicare una possibile malattia cardiovascolare sottostante e si verifica più spesso in atleti asintomatici che sembrano godere di perfetta salute, inoltre gli sport agonistici sono associati ad un aumentato rischio di morte cardiaca improvvisa ed è proprio questo il motivo per il quale il PPS è fondamentale nei giovani atleti (15).

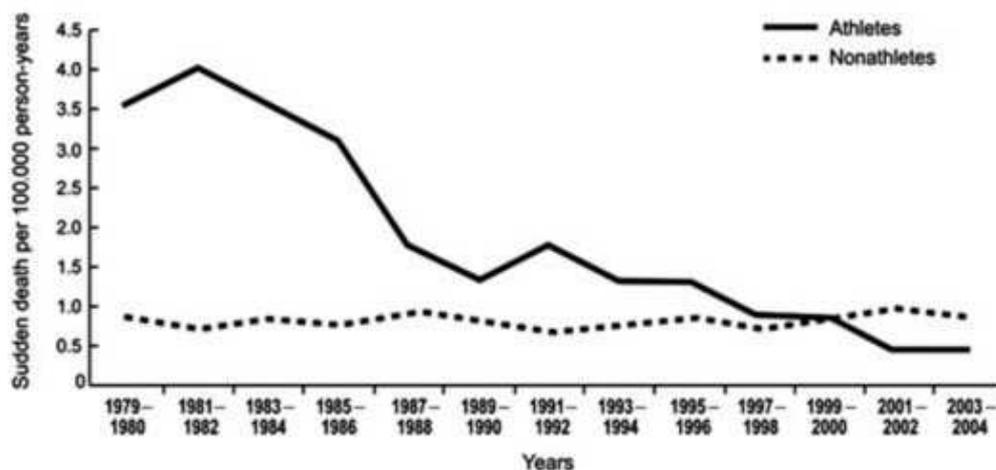
Come riportato in precedenza, mentre c'è un accordo generale sulla prevenzione basata sull'individuazione dei fattori di rischio, la strategia ottimale per lo screening cardiovascolare negli atleti rimane una questione di notevole dibattito. Al centro della controversia c'è l'aggiunta o meno di un ECG alla valutazione standard incentrata sull'anamnesi e l'esame obiettivo. In assenza di prove ben definitive l'American Medical Society for Sports Medicine (AMSSM) preclude l'approvazione di una strategia di screening cardiovascolare universale per tutti (16).

Se negli Stati Uniti l'approccio maggiormente utilizzato si focalizza prevalentemente sull'anamnesi e sull'esame obiettivo, (17), in Italia esiste uno screening obbligatorio da ripetere annualmente per gli atleti agonisti e comprende: anamnesi personale/familiare, esame obiettivo, spirometria, analisi delle urine e un ECG a 12 derivazioni da eseguire a riposo, e successivamente un test ergometrico. In caso di anomalie elettrocardiografiche c'è un secondo livello di indagini che include: ecocardiogramma, ECG Holter 24 ore e monitoraggio della pressione sanguigna ambulatoriale. L'ecocardiogramma in associazione all'ECG sembra essere più utile soprattutto in occasione della prima visita in quanto la diagnosi precoce porterebbe ad una riduzione del rischio di future complicazioni emodinamiche e aritmiche. In Italia, tutti gli atleti sono valutati secondo le linee guida del Comitato Organizzativo Cardiologico di Idoneità allo Sport (COCIS) le quali forniscono informazioni e raccomandazioni dettagliate sui protocolli di valutazione cardiovascolare e di stratificazione del rischio per tutte le malattie cardiovascolari, comprese le condizioni di dubbio.

L'utilità dell'ECG come strumento preventivo durante la visita medico-sportiva viene sottolineata in uno dei più significativi studi di Corrado, il quale dimostra come questa modalità di screening possa identificare e quindi squalificare gli atleti a rischio di cardiopatia (18). Corrado et al. hanno analizzato ed interpretato i dati relativi all'incidenza di MCI in Veneto in una finestra temporale di 26 anni (1979-2004), dimostrando una netta diminuzione del tasso di mortalità dopo l'introduzione del programma di screening a livello Nazionale

(1982). L'incidenza annuale di MCI negli atleti è infatti diminuita dell'89%, passando da 3,6 per 100.000 anni-persona nel periodo pre-screening a 0,4 per 100.000 anni-persona nel periodo post-screening (19) (Figura 1, Corrado et al, 22 gennaio 2011).

Figura 1.



Tassi annuali di incidenza di morte cardiovascolare improvvisa per 100.000 persone, tra gli atleti agonisti sottoposti a screening e i non-atleti non sottoposti a screening di età compresa tra i 12 e i 35 anni nella Regione Veneto, dal 1979 al 2004 (Corrado et al, 22 gennaio 2011).

A confermare l'importanza dello screening che include l'elettrocardiogramma a 12 derivazioni c'è anche lo studio di Assanelli D. et al, il quale ha valutato il rapporto costo-efficacia dell'ECG in combinazione con l'anamnesi familiare/personale e l'esame obiettivo. Il rapporto costo-efficacia è stato calcolato come il rapporto tra il costo dello screening e il numero di anni-vita statistici salvati dall'intervento. I risultati hanno indicato una riduzione del rischio di morte derivante dal trattamento della malattia rilevata o dalla squalifica dell'atleta che ha portato al risparmio di 79,1 anni-vita statistici in Europa. L'uso dell'ECG a 12 derivazioni, nel PPS dei giovani atleti, è fortemente raccomandato soprattutto nei Paesi in cui le cure preventive secondarie non sono molto sviluppate (20).

2. TEST DI VALUTAZIONE CARDIOVASCOLARE

La valutazione della capacità funzionale riflette la capacità di un individuo di eseguire tutte quelle attività della vita quotidiana che richiedono un metabolismo aerobico nel quale è implicata la salute dei sistemi: polmonare, cardiovascolare e muscolare scheletrico. Numerose indagini hanno dimostrato come la valutazione della capacità funzionale fornisca importanti informazioni diagnostiche e prognostiche in un'ampia varietà clinica e di ricerca (21).

In medicina dello sport l'ergometria impiegata nel test da sforzo viene utilizzata principalmente per misurare la fitness dell'atleta e valutare come questa si modifichi con l'allenamento o in seguito ad un periodo di convalescenza. Ulteriori indicazioni relative al test includono la misurazione della performance fisica a scopo diagnostico, mediante l'individuazione precoce di segni e sintomi, e la valutazione a scopo prognostico, la quale è divenuta di notevole rilevanza clinica specialmente negli ultimi anni, ciò è legato in particolar modo al ruolo predittivo di eventi cardiovascolari, metabolici o anche psichiatrici della fitness. (22).

Ad oggi, i principali scopi del test da sforzo sono:

- Individuazione della malattia coronarica (CAD);
- Valutazione della gravità anatomica e funzionale della CAD;
- Previsione di eventi cardiovascolari e di morte per tutte le cause;
- Valutazione della capacità fisica e della tolleranza allo sforzo;
- Valutazione dei sintomi legati all'esercizio;
- Valutazione della competenza cronotropa, delle aritmie e della risposta alla terapia con dispositivi impiantati;
- Valutazione della risposta agli interventi medici (23).

L'anamnesi, l'esame obiettivo e l'elettrocardiografia a riposo (ECG) sono parte integrante della valutazione cardiovascolare e devono essere eseguite prima che il paziente sia sottoposto ad un qualsiasi sforzo fisico. Affinchè il test sia svolto in sicurezza e soprattutto si riesca ad interromperlo in caso di complicazioni, è fondamentale osservare il paziente e monitorare costantemente la frequenza cardiaca e la pressione sanguigna. (22). Comprendere lo scopo del singolo test da sforzo è fondamentale per il medico dello sport, il quale si troverà

a scegliere la tipologia di prova più consona per il soggetto e contemporaneamente a massimizzarne la sicurezza (23).

2.1. Fisiologia del test da sforzo

L'esercizio aerobico, il quale aumenta progressivamente fino alla tolleranza massima, è uno stress fisiologico che aiuta a determinare l'adeguatezza della funzione cardiaca in quanto può evocare anomalie cardiovascolari o polmonari non presenti a riposo (22). L'obiettivo principale del test da sforzo, oltre alla valutazione diagnostica, è la misurazione dei parametri relativi alla fisiologia dell'esercizio che comprendono:

- frequenza cardiaca (FC);
- pressione arteriosa (PA);
- parametri spiro-ergometrici;
- METs;
- Tempo totale di esercizio;

Tali parametri, non solo consentono la rilevazione di eventuali anomalie utili al fine diagnostico, ma sono anche preziosi indicatori al fine di pianificare e prescrivere un programma di lavoro adattato, efficace e soprattutto sicuro (23).

Un altro parametro da non trascurare è la percezione soggettiva dello sforzo valutata tramite scala di Borg. Tale scala si avvale di numeri da 6 a 20 (6 nessuno sforzo e 20 massimo sforzo) ed il punteggio assegnato al grado di sforzo percepito moltiplicato per 10 può essere utile per il confronto con la percezione soggettiva dello sforzo e la frequenza cardiaca durante il lavoro (22).

La valutazione della capacità funzionale viene tipicamente eseguita su un tapis roulant motorizzato o su un cicloergometro stazionario, tuttavia, l'esercizio su tapis roulant è generalmente la modalità prediletta in quanto i soggetti non allenati di solito terminano l'esercizio in bicicletta a causa dell'affaticamento dei quadricipiti ad un tasso di lavoro dal 10% al 20% inferiore al loro VO_2 di picco sul tapis roulant.

La cicloergometria può essere preferita nei soggetti con andatura instabile, grave obesità, limitazioni ortopediche o quando è previsto un imaging cardiaco simultaneo. La scelta di un protocollo di test da sforzo appropriato è di fondamentale importanza soprattutto quando la capacità aerobica deve essere stimata dal tempo di esercizio o dal picco di lavoro, pertanto,

il protocollo scelto deve essere adattato all'individuo per ottenere una durata di esercizio di circa 8-12 minuti. Quando la durata del test è < 6 minuti i risultati possono indicare una relazione non lineare tra VO_2 e la velocità di lavoro, al contrario, quando la durata di esercizio è >12 minuti, i soggetti tendono a terminare il test a causa di un affaticamento muscolare piuttosto che di problematiche cardiopolmonari (21).

2.1.1. Risposte cardiovascolari all'esercizio in soggetti normali

La risposta del corpo all'esercizio consiste in una complessa serie di adattamenti cardiovascolari che l'organismo stesso mette in atto per: fornire ai muscoli un apporto di sangue calibrato in base alle specifiche esigenze metaboliche, dissipare il calore generato dai muscoli e mantenere un livello adeguato di sangue al cuore e al cervello (24). Nei soggetti sani, con l'inizio dell'esercizio e con l'incremento della sua intensità, aumenta la richiesta di ossigeno da parte dell'organismo ma soprattutto da parte dei muscoli. Per soddisfare queste richieste, la gittata cardiaca viene aumentata da un incremento del volume di sangue pompato (mediato dal meccanismo di Frank-Starling) e della frequenza cardiaca (FC), nonché da un aumento della differenza di ossigeno artero-venosa periferica (23). Mentre la gittata cardiaca aumenta, la resistenza periferica diminuisce nei muscoli che sono stati attivati ed aumenta in corrispondenza dei tessuti che non funzionano in modo adeguato suggerendo la presenza di eventuali problematiche fisiologiche. La naturale diminuzione della resistenza vascolare sistemica è riconducibile al fatto che, mentre la pressione aumenta leggermente durante l'esercizio, il flusso aumenta fino a cinque volte di più (24).

2.1.2. Risposta della frequenza cardiaca (FC)

La frequenza cardiaca è influenzata da molteplici fattori quali: l'età, la posizione del corpo, lo stato di salute e l'ambiente. Con l'esercizio fisico FC aumenta in risposta ad una diminuzione del tono vagale e ad un aumento del flusso simpatico al cuore, in particolare, aumenta in modo lineare al carico di lavoro e alla richiesta di ossigeno (24). Essendo l'andamento di FC proporzionale all'aumento e alla diminuzione del carico di lavoro, una risposta accelerata a carichi di lavoro sub-massimali potrebbe suggerire una ridotta attività fisica o uno stato di allettamento recente. Una volta terminata l'attività, FC mostra invece

un rapido declino nei primi 30 secondi, seguita da un ritorno più lento ai livelli pre-esercizio; tale repentina discesa è probabilmente la manifestazione della riattivazione vagale (23). Negli ultimi anni diversi studi hanno esaminato il valore potenzialmente predittivo del recupero della frequenza cardiaca subito dopo il completamento di un test da sforzo, dimostrando come un'anomalia nel recupero di FC, possa riflettere una ridotta attività parasimpatica e quindi celare possibili patologie cardiache (25).

Per la diagnosi di soggetti con sospetta malattia, il monitoraggio ECG della frequenza cardiaca dovrebbe essere eseguito durante tutto lo svolgimento dell'esercizio e continuare per almeno 6 minuti nella fase di recupero. Infatti, in alcuni quadri patologici è possibile che determinate alterazioni elettrocardiografiche compaiano solo durante la fase di recupero (21).

2.1.3. Risposta della pressione arteriosa

La pressione sanguigna si divide in sistolica e diastolica ed è correlata alla portata cardiaca e alla resistenza vascolare periferica. Durante l'esercizio il valore della pressione arteriosa sistolica, come conseguenza dell'aumento della portata cardiaca, si eleva, mentre quella diastolica, a causa della vasodilatazione del letto vascolare, rimane più o meno lo stesso o diminuisce leggermente. L'aumento medio della pressione durante un test da sforzo progressivo è di circa 10 mmHg/MET mentre la sua riduzione raggiunge i livelli di riposo o inferiori entro 6 minuti dal termine del test rimanendo ridotta anche per diverse ore (23). Un aumento inadeguato della pressione sanguigna sistolica (inferiore o uguale 20-30 mmHg) può derivare dall'ostruzione del flusso aortico, dalla disfunzione del ventricolo sinistro o dall'ischemia. I cambiamenti della pressione sanguigna riflettono quindi molto più che la funzione contrattile del ventricolo sinistro poiché, come detto in precedenza, dipendono anche dalla resistenza periferica. Ci sono alcuni pazienti che sviluppano ipotensione durante l'esercizio in quanto possono avere una malattia cardiaca, altri che mostrano un calo della pressione sistolica come conseguenza di una malattia valvolare e altri ancora che, a causa della malattia coronarica (CAD), nella fase di recupero presentano una pressione arteriosa sistolica addirittura superiore ai valori di picco dell'esercizio. (24). E' quindi necessario che la pressione venga periodicamente misurata in tutti i soggetti ma soprattutto in quelli ad alto rischio nelle fasi pre, durante e post esercizio (21).

2.1.4. Assorbimento di ossigeno miocardico

L'assorbimento di ossigeno miocardico (MO_2) è determinato dalla tensione della parete intramiocardica, dalla contrattilità e dalla frequenza cardiaca. Altri fattori meno importanti includono il lavoro esterno eseguito dal cuore, l'energia necessaria per l'attivazione e il metabolismo basale del miocardio (24). MO_2 può essere stimato durante il test da sforzo attraverso il prodotto della frequenza cardiaca e della pressione sanguigna sistolica (doppio prodotto o prodotto frequenza-pressione) e varia dal valore del 10° percentile di 25000 a un valore del 90° percentile di 40000 al picco di esercizio (23).

Esiste una relazione lineare tra l'assorbimento di ossigeno miocardico e il flusso sanguigno coronarico e, poiché durante l'esercizio quest'ultimo aumenta fino a cinque volte al di sopra del valore di riposo, si potrebbero verificare un'ischemia o un'angina pectoris. Nel primo caso, nel soggetto con malattia coronarica ostruttiva, l'ischemia si potrebbe verificare a causa di un'inadeguata produzione di flusso sanguigno coronarico che porterebbe ad un'insoddisfazione della richiesta metabolica del miocardio. Nel secondo caso invece l'angina si potrebbe verificare allo stesso doppio prodotto piuttosto che allo stesso carico di lavoro esterno (24).

2.1.5. Il consumo di ossigeno e la soglia ventilatoria

La capacità funzionale è la capacità di un individuo di eseguire un lavoro aerobico il quale viene definito dall'assorbimento massimo di ossigeno (VO_{2max}), ovvero il prodotto della portata cardiaca e della differenza di ossigeno arterovenoso (a-v O_2) all'esaurimento fisico. Poiché durante l'attività fisica il VO_{2max} è solitamente raggiunto da circa la metà della muscolatura del corpo, si ritiene che questo sia limitato dalla portata cardiaca massima piuttosto che da fattori periferici. (21). Quando inizia l'esercizio dinamico l'assorbimento di ossigeno da parte dei polmoni aumenta rapidamente e, dopo il secondo minuto, di solito rimane relativamente stabile ad ogni intensità di lavoro. Durante lo stato stazionario, la frequenza cardiaca, la gittata cardiaca, la pressione sanguigna e la ventilazione polmonare sono anch'esse mantenute a livelli ragionevolmente costanti (24). Nella pratica clinica, la VO_{2max} non viene solitamente misurata durante un test di tolleranza all'esercizio, ma viene

stimato in base al picco di intensità di lavoro raggiunta, per questo motivo è conveniente esprimere l'assorbimento di ossigeno in multipli del fabbisogno di ossigeno a riposo, cioè in MET, per cui un'unità di assorbimento di ossigeno da seduto/a riposo (1 MET) è definita come $\approx 3,5 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (23). La $\text{VO}_2 \text{ max}$ è influenzata dall'età, dal sesso, dallo stato di condizionamento e dalla presenza di malattie o farmaci, è quindi fondamentale quando si va ad interpretare i valori ottenuti dal test da sforzo, tenere in considerazione tali variabili. Di fatto, con l'avanzare dell'età, il declino della forma fisica aumenta dal 3% al 6% per decennio negli individui giovani (20 e 30 anni) e negli uomini la $\text{VO}_2 \text{ max}$ è tendenzialmente dal 10% al 20% maggiore rispetto alle donne, ciò è dovuto da un lato ad una maggiore concentrazione di emoglobina e dall'altro ad una maggiore proporzione di massa muscolare. Il vero raggiungimento del massimo consumo di ossigeno è stato storicamente definito da un plateau nella VO_2 tra le ultime 2 velocità di lavoro dell'esercizio e, poiché questa determinazione è soggettiva, può essere difficile da definire. Di fatto, il termine VO_2 di picco è più comunemente usato per esprimere la capacità di esercizio in soggetti con malattie polmonari e cardiovascolari, $\text{VO}_2 \text{ max}$ invece è tipicamente usato per descrivere la capacità aerobica in individui apparentemente sani in cui il raggiungimento di un plateau è più probabile (21).

2.1.6. Rischi del test da sforzo

Le complicazioni legate al test da sforzo sono piuttosto rare e le principali sono: la morte, l'infarto del miocardico, l'aritmia, l'instabilità emodinamica e le lesioni ortopediche, tuttavia l'incidenza di eventi avversi varia in base alla popolazione presa in esame. E' stato stimato che, in 10.000 test da sforzo di soggetti con e senza malattia nota, da <1 a 5 hanno presentato complicazioni gravi (compreso l'infarto del miocardio e altri eventi che richiedono l'ospedalizzazione) e la morte invece si è verificata in $\approx 0,5$. Proprio a causa di possibili complicazioni è essenziale che il personale addetto alla supervisione dei test da sforzo abbia familiarità con le indicazioni cliniche per l'uso di tali test, nonché con i segni e i sintomi e le risposte cliniche agli eventi avversi in modo tale da ridurre al minimo il rischio per il paziente. I soggetti che si sottopongono alla valutazione dovrebbero essere interrogati periodicamente sui sintomi avvertiti durante e dopo l'esercizio, inoltre, fortemente

consigliate, soprattutto per scopi di ricerca e confronto, sono le scale dell'angina, della dispnea e dello sforzo percepito (21).

3. COVID-19 E ATTIVITÀ FISICA

3.1. Le conseguenze della quarantena da COVID-19 e dell'allenamento online nei giovani atleti

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) raccomanda che i bambini e gli adolescenti tra i 5 e i 17 anni si impegnino in almeno 60 minuti al giorno di attività fisica ad un'intensità da moderata a vigorosa. L'attività fisica è definita come il movimento messo in atto dal corpo mediante i muscoli scheletrici e che comporta un dispendio energetico. I benefici fisici sono molteplici e riguardano soprattutto l'apparato muscoloscheletrico, cardiovascolare, neuromuscolare ed il mantenimento di un peso corporeo adeguato. I benefici psicologici includono la gestione dell'ansia e la costruzione dell'autostima, che sono entrambe importanti per lo sviluppo psicosociale nei bambini. Tuttavia, la pandemia da COVID-19 ha limitato l'attività fisica nelle persone di tutte le età; in molti Paesi, le strutture sportive e ricreative sia al chiuso che all'aperto come palestre, piscine pubbliche e campi da gioco, sono state chiuse andando ad inficiare sulla salute di tutti ed in particolare dei più giovani (26). Molti atleti, esclusi i professionisti di alto livello, hanno sperimentato il deterioramento della loro condizione fisica soprattutto nella capacità aerobica e hanno sperimentato la paura del detraining (27). Il detraining è una perdita di forma fisica che si manifesta nel momento in cui gli atleti, per un buon lasso di tempo, smettono di allenarsi andando ad influire negativamente sui sistemi neuromuscolare, cardiovascolare, respiratorio e muscoloscheletrico (28). Nello studio di un anno di Pawel K. et al., condotto tra gennaio 2020 e gennaio 2021, i ricercatori hanno ipotizzato che una pausa dall'allenamento potesse avere conseguenze sia a breve che a lungo termine sulle aree motorie, mentali, sociali e tecniche dei calciatori. Pertanto, gli obiettivi dello studio erano: l'osservazione dei cambiamenti nella capacità cardiorespiratoria dei giovani calciatori e la valutazione del programma di allenamento durante la quarantena domiciliare. I risultati hanno dimostrato che, dopo otto settimane di allenamento domiciliare strutturato, c'è stata una diminuzione della capacità aerobica massima (VO_2 max), la quale è stata più elevata negli atleti allenati

e inferiore negli atleti meno allenati. Inoltre, il ritorno al livello pre-pandemico ha richiesto circa otto settimane (due mesocicli di allenamento completi) dimostrando l'impatto negativo del confinamento domiciliare sul livello di resistenza (27). Un'altra riduzione della capacità aerobica, circa del 9%, è stata dimostrata nello studio di Marc D. et al., il quale ha sottoposto alcuni giovani calciatori tra i 13 e i 14 anni ad un allenamento casalingo di cardio e HIIT (high intensity interval training) per 4 sessioni di 45 minuti a settimana. Inoltre, attraverso lo Yo-Yo test, un particolare test navetta, è stata dimostrata una riduzione del 25% della distanza percorsa e del 5,2% della velocità massima raggiunta. Si può concludere affermando che la riduzione della capacità aerobica, verificatasi dopo 4 settimane di detraining, è stata una conseguenza della diminuzione degli adattamenti periferici associati ad una riduzione nell'ossidazione dei substrati energetici, nella produzione di energia a livello mitocondriale e nella minor capillarizzazione delle fibre muscolari; infatti, il programma di esercizi proposto, non è stato sufficiente ad impedire tale perdita. Uno dei motivi potrebbe essere il fatto che l'attività svolta in casa era troppo breve rispetto all'allenamento svolto sul campo, d'altra parte, molti studi hanno dimostrato che un allenamento strutturato svolto in gruppo non può essere sostitutivo di un allenamento casalingo. La riduzione della capacità aerobica avrebbe potuto essere maggiore se non fosse stato svolto alcun tipo di esercizio, tuttavia, l'allenamento di resistenza avrebbe potuto essere più appropriato (29). A confermare i risultati sopracitati c'è un ulteriore studio condotto su giovani giocatori di pallamano, il quale ha rivelato come il lockdown abbia influito negativamente sulla capacità di resistenza nonostante lo svolgimento di esercizi di forza e resistenza a domicilio (30).

Nel lavoro di Pucsok invece sono state considerate la forza esplosiva degli arti inferiori e la capacità di recupero di FC post esercizio (FC di riserva). Si è dimostrato come la prima sia migliorata significativamente rispetto alla sessione di test pre-pandemici mentre la seconda sia stata moderatamente compromessa poiché la routine di allenamento casalingo non poteva fornire il carico e l'intensità necessari per poterla migliorare. Inoltre, essendo il valore FC di riserva fortemente legato al livello di fitness aerobico, anche la capacità di resistenza era da considerare compromessa (31). Le ricerche attualmente disponibili indicano che, nonostante i periodi prolungati di allenamento aerobico, le riduzioni delle prestazioni massimali e submassimali dell'esercizio si verificano entro circa 2-4 settimane dopo la cessazione dell'attività. Questa riduzione del VO_2 max corrisponde ad una caduta della portata cardiaca

massima la quale sembra essere collegata ad una riduzione della gittata sistolica con poco o nessun cambiamento nella FCmax. Tuttavia, una riduzione da uno a due terzi di FC e/o della durata dell'allenamento non sembra alterare significativamente il VO₂ max o il tempo di resistenza submassimale a patto che l'intensità di esercizio sia mantenuta (32). In conclusione, si può affermare che il disallenamento, come avvenuto durante la quarantena, porta inevitabilmente ad una riduzione della capacità aerobica, tuttavia, questa può essere preservata e difficilmente migliorata attraverso un programma di allenamento svolto in casa. Essendo la capacità aerobica direttamente correlata al rischio di morte, una recente analisi ha dimostrato come l'aumento di 1-MET porti ad una diminuzione del 13% e del 15% dei tassi di morte per tutte le cause e di eventi cardiovascolari (23).

Un ulteriore fattore strettamente legato all'aumento del rischio cardiovascolare è la composizione corporea, la quale si correla a sua volta al livello di attività fisica. Numerosi lavori hanno riportato un aumento significativo della massa grassa durante i 63 giorni di lockdown dimostrando che, rispetto alle valutazioni post-stagione, la quarantena ha influito negativamente sulla composizione corporea ma anche su parametri quali: tempi di sprint di 10 e 20 metri e l'altezza del salto con contro-movimento (33). E' risaputo infatti come il corpo umano sia una struttura solida ed armonica e come i suoi componenti debbano essere in equilibrio per riuscire a garantirne il movimento. Qualora tale armonia venga inficiata, a subirne le conseguenze sarebbero principalmente gli atleti in quanto la loro prestazione diminuirebbe significativamente. Un aumento del grasso corporeo incide non solo sulla struttura del muscolo ma anche sulla sua qualità, di fatto, è stato dimostrato come il body mass index (BMI) di studenti di Whuan, nonostante lo svolgimento di allenamenti online, sia stato modificato rispetto ai valori pre-pandemici, aumentando dal 10,6 al 15,2% la percentuale di obesità maschile e dal 17,1 al 21,8% quella inerente al sovrappeso maschile. Tali modifiche hanno inciso negativamente rispettivamente nella corsa maschile, 50 e 1000 m, e negli 800 femminili (33).

Numerosi studi hanno affermato come la diminuzione dell'attività fisica negli atleti professionisti porti ad un rallentamento delle loro funzioni metaboliche e provochi allo stesso tempo un aumento del BMI. L'aumento di peso, oltre ad essere associato ad un maggior rischio cardiovascolare, può intaccare la performance degli sportivi, negli atleti di kickboxing, ad esempio, il peso è un parametro sul quale i soggetti vengono categorizzati durante la competizione, pertanto, passare da una categoria all'altra significa trovarsi a

combattere con avversari i quali possiedono caratteristiche e proporzioni corporee diverse. Proprio per questo motivo i concorrenti cercano di mantenere il loro peso ottimale in modo da poter combattere nella classe di peso a loro più adatta.

L'attività fisica limitata durante la pandemia ha comportato notevoli cambiamenti da un punto di vista sia fisico che psicologico, i quali hanno indotto una serie di effetti metabolici negativi che, se protratti a lungo, possono aumentare rapidamente il rischio di insorgenza di malattie gravi, come diabete, osteoporosi, malattie cardiovascolari o il cancro. Da non sottovalutare è senza dubbio la sfera psicologica, la quale ha un ruolo notevole nella performance dello sportivo. Molteplici lavori svolti nel periodo pre e post lockdown hanno rilevato una serie di cambiamenti sfavorevoli nella corporatura, nella forma fisica e nel livello di abilità tecniche e tattiche, i quali hanno portato al deterioramento della salute fisica e mentale (35). Tale declino si traduce in una maggiore difficoltà nell'approccio con l'avversario ma soprattutto in un calo importante nella prestazione sportiva che ha dovuto fare i conti con numerosi infortuni. In questo periodo di ripresa si è assistito ad una crescente preoccupazione per l'aumento dell'incidenza nel calcio professionistico di alcune lesioni come quella del tendine del ginocchio. Infatti, il meccanismo più comune di lesione al tendine del ginocchio è legato alla ridotta forza eccentrica del tendine del ginocchio e quindi all'incapacità dei tessuti di tollerare le forze durante l'azione dello sprint. Una recente analisi ha fornito informazioni interessanti inerenti alla correlazione fra l'attività strutturata svolta in casa e l'incremento degli infortuni, pertanto, è stata valutata la forza muscolare eccentrica del bicipite femorale 14, 28 e 49 giorni dopo l'inizio dell'isolamento domiciliare. Il test nordico ha mostrato come l'angolo di break-point nordico bilaterale, ovvero la variazione dell'angolo del punto di rottura nordico e della forza eccentrica del muscolo del bicipite femorale, sia stato ridotto dell'1,9% dopo 28 giorni e del 4,4% dopo 49 giorni, indicando come la forza eccentrica del bicipite femorale sia diminuita dell'8,0% dopo 28 giorni e del 14,1% dopo 49 giorni.

Questa debolezza muscolare potrebbe indicare un rischio maggiore di infortunio al bicipite femorale nel momento di rientro in campo o nella ripresa regolare degli allenamenti (36). Parametri simili sono stati indagati nello studio di Demir et al (37) il quale ha esaminato gli effetti del confinamento COVID-19 di 8 settimane sulla forza eccentrica dei flessori della coscia (bicipite femorale, semitendinoso e semimembranoso), sulla forza di adduttori e abductori dell'anca e sulla flessibilità della catena posteriore in giocatori di calcio

professionisti, rispettivamente prima (T1), dopo il periodo di reclusione in casa (T2) e dopo il ritorno in campo (T3). I risultati hanno mostrato come la forza dei flessori della coscia si sia ridotta da T1 a T2 rimanendo invariata in T3; come la forza degli adduttori e degli abduttori dell'anca sia rimasta invariata tra il tempo 1 e il tempo 2 aumentando invece dal tempo 2 e dal tempo 3 nell'arto dominante ed infine come la flessibilità della catena posteriore sia diminuita dal tempo 1 al tempo 2, aumentando invece dal tempo 2 al tempo 3. Inoltre, il 16% dei giocatori ha riportato lesioni muscolari ai bicipiti femorali e agli adduttori nella fase di ritorno alla competizione. Quindi, se da un lato l'isolamento si è dimostrato una misura necessaria per contenere i danni causati dal virus COVID-19, dall'altro ha avuto un impatto devastante sia da un punto di vista fisico che psicologico (38).

INTRODUZIONE ED OBIETTIVO DELLO STUDIO

Ad oggi, pochissimi studi hanno quantificato esplicitamente quanto il periodo di lockdown abbia influito sulla capacità funzionale dei giovani atleti e la maggior parte delle informazioni relative alla sua diminuzione proviene da studi sull'inattività fisica in generale o sul periodo di stop che intercorre tra una stagione sportiva e l'altra.

Questo studio si propone di evidenziare, attraverso il test da sforzo e l'elaborazione dei dati raccolti dal 2017 al 2021, una stima concreta della differenza nella capacità funzionale pre e post lockdown. La caratteristica peculiare del test da sforzo impiegato è la sua riproducibilità, ovvero la possibilità di ottenere una concordanza tra i valori ricavati in condizioni di riproducibilità differenti. In altri termini, è la capacità del test di fornire gli stessi risultati utilizzando lo stesso metodo ma con diversi macchinari, operatori e in ambienti differenti.

Pertanto, partendo dall'assunto che la capacità funzionale sarebbe stata inficiata dal lockdown, l'obiettivo dello studio era quello di osservare i cambiamenti nella capacità di esercizio di giovani atleti in un arco di tempo di cinque anni.

MATERIALI E METODI

1. CAMPIONE

Lo studio è stato condotto su un campione di giovani atleti giunti presso l'ambulatorio di Medicina dello Sport e dell'Esercizio fisico dell'Azienda Ospedaliera Universitaria di Padova per una visita di pre-participation screening ai fini del rilascio della certificazione di idoneità agonistica da gennaio 2017 a dicembre 2021. Lo studio è originato dalla coorte degli atleti valutati nell'anno 2020 e ha presentato i seguenti criteri di inclusione: un'età inferiore a 18 anni, un test da sforzo eseguito in successione per almeno 3 anni consecutivi (tra gli anni 2017 e 2021), il raggiungimento di un test massimale per frequenza cardiaca ($> 85\%$ del predetto per età) e sforzo percepito (Borg RPE $>17/20$) e una storia di nessuna positività al virus SARS-CoV-2 alle valutazioni del 2020 e 2021. Di fatto, l'ultimo parametro è fondamentale in quanto lo scopo dello studio non era quello di valutare gli effetti del virus SARS-CoV-2, bensì l'impatto della quarantena nei giovani atleti.

Dei 1519 soggetti giunti presso l'ambulatorio nell'anno 2020, sono state valutate le prove di 344 atleti (rispettivamente 184 maschi e 160 femmine) eseguite nell'arco di tempo compreso tra il 2017 e il 2021.

2. PROCEDURA SPERIMENTALE

Nel presente studio, i partecipanti sono stati sottoposti ad un test da sforzo incrementale seguendo un protocollo di rampa incrementale su treadmill. Prima di iniziare la prova, è stata richiesta al paziente l'anamnesi personale fisiologica, patologica, farmacologica e familiare; in seguito, è stato spiegato il test da sforzo che sarebbe stato somministrato in modo tale da massimizzare il valore diagnostico e garantirne la sicurezza. Il soggetto ha ricevuto una spiegazione dettagliata inerente alla procedura e allo scopo del test, compresa la natura dell'esercizio progressivo e le possibili complicazioni.

Sono stati misurati parametri come: la pressione sanguigna sistolica e diastolica a riposo (PAS e PAD basali), la frequenza cardiaca (FC), la temperatura corporea (a partire dal 2020) ed è stato richiesto il consenso informato del genitore o dell'accompagnatore. Prima dell'esercizio, è stato effettuato un ECG standard a 12 derivazioni, la quale procedura

consiste nel posizionamento degli elettrodi sul soggetto supino, la rilevazione dei parametri di interesse e il confronto con i valori degli ECG standard ottenuti in precedenza. Gli elettrodi sono stati mantenuti anche durante la fase di sforzo per il monitoraggio del soggetto. Si è scelto di utilizzare il tapis roulant in quanto il cicloergometro è meno familiare rispetto alla camminata su treadmill ed è coinvolta una minore massa muscolare.

Il tappeto rotante è fornito di sostegni anteriori e laterali per aiutare la stabilità del soggetto, tuttavia, gli atleti vengono incoraggiati a non afferrare saldamente le barre poiché questa azione sostiene il peso del corpo e quindi riduce il carico di lavoro in ogni fase.

Il protocollo utilizzato prevede all'incirca 7 fasi da 1 minuto le quali possono o meno subire piccoli incrementi di pendenza e di velocità prestabiliti. La fase terminale del test invece viene eseguita con velocità e pendenza standard ma con la variabile temporale che dipende dalla capacità funzionale del soggetto (vedi tabella 1).

I test effettuati dal 2017 al 2021 sono stati successivamente confrontati per ogni soggetto, concentrandosi sulle differenze in termini di: ore di attività fisica a settimana, METs, frequenza cardiaca massima, PAS, PAD, PAS massima (PASmax) e PAD massima (PADmax).

Tabella 1: Fasi del test da sforzo massimale su treadmill rapportate alle variabili di: tempo, velocità e pendenza.

	Tempo	Velocità	Pendenza
Fase 1	1 min	3,5 Km/h	4,7 %
Fase 2	1 min	3,5 Km/h	9,5 %
Fase 3	1 min	3,5 Km/h	14,5 %
Fase 4	1 min	5 Km/h	15 %
Fase 5	1 min	7,2 Km/h	15 %
Fase 6	1 min	9 Km/h	15 %
Fase 7	1 min	11 Km/h	15 %
Fase 8	ad esaurimento	11 Km/h	15 %

3. ANALISI STATISTICA

I dati sono stati raccolti tramite il software Excel. I dati descrittivi sono stati presentati come media \pm deviazione standard (σ) per le variabili quantitative con distribuzione normale o mediana e range interquartile (IQ) per le variabili quantitative con distribuzione non normale. Per la verifica della distribuzione di normalità si è utilizzato il Shapiro-Wilk test. Per il confronto tra le variabili continue e i diversi tempi è stato eseguito il test di Friedman in caso di variabile distribuita non normalmente o il test ANOVA ad una via in caso di variabile continua.

Le variabili categoriche sono state presentate attraverso la frequenza assoluta e relativa ed è stato utilizzato un test del χ^2 per il confronto fra i diversi tempi.

Per tutti i test considerati si è preso come valore soglia di p-value 0.05. Le analisi statistiche sono state effettuate con il software SPSS ed R Studio.

RISULTATI

Attraverso l'analisi dei dati raccolti durante le prove di esercizio negli anni 2017-2021 abbiamo ottenuto i risultati visibili nella tabella sottostante (Tabella 2). Come si può notare dai dati inseriti nella Tabella 2, si sono verificate una serie di modifiche nel corso del tempo. Tra le principali abbiamo il progressivo aumento del body mass index (BMI) il quale ha seguito l'andamento di sviluppo tipico del soggetto; in particolare, è passato da una media di 19.8 kg/m² nel 2017 a 21.7 kg/m² nel 2021. Anche le ore di sport annuali hanno mostrato una modesta e continua crescita (+19h) dal 2017 al 2019, un ribasso (-78h) nell'anno centrale della pandemia ed una risalita (+80h) nell'anno della riapertura dei centri sportivi.

METs e tempo totale di esercizio (figure 2 e 3) hanno riportato il medesimo trend: rispettivamente sono aumentati in modo progressivo dal 2017 al 2019, diminuiti nell'anno del lockdown e ritornati a crescere nel 2021.

FC di riserva è aumentata progressivamente dal 2017 (118) al 2019 (120), diminuita in corrispondenza dell'anno pandemico (116) e rimasta più o meno invariata nell'anno della riapertura (figura 4). FC rec 1 min invece, è sensibilmente diminuita nel corso dei cinque anni, passando da -54.8 a -39.9 (figura 5).

Per quanto riguarda i valori pressori, dal 2019 al 2021, si è assistito ad un leggero incremento. Nello specifico: PAS e PAD basali, hanno registrato un + 5 mmHg e un + 4.2 mmHg, PASmax e PADmax allo stesso modo sono incrementate rispettivamente di + 11 mmHg e + 2.3 mmHg.

Tabella 2. Descrittiva popolazione.

	2017 (N=344)	2018 (N=344)	2019 (N=344)	2020 (N=344)	2021 (N=344)	P-value
ETA'						
Media (DS)	12.1 (1.58)	12.5 (1.92)	13.8 (2.00)	15.0 (1.92)	15.4 (1.74)	<0.001
GENERE						
0	160 (46.5%)	160 (46.5%)	160 (46.5%)	160 (46.5%)	160 (46.5%)	1
1	184 (53.5%)	184 (53.5%)	184 (53.5%)	184 (53.5%)	184 (53.5%)	
CATEGORIA SPORT						
1	11 (3.2%)	20 (5.8%)	19 (5.5%)	20 (5.8%)	18 (5.2%)	0.72
2	26 (7.6%)	71 (20.6%)	73 (21.2%)	64 (18.6%)	40 (11.6%)	
3	117 (34.0%)	202 (58.7%)	201 (58.4%)	206 (59.9%)	128 (37.2%)	
4	17 (4.9%)	48 (14.0%)	47 (13.7%)	49 (14.2%)	32 (9.3%)	
ORE all'anno						
Media (DS)	270 (95.3)	281 (101)	289 (115)	211 (107)	291 (160)	<0.001
BMI						
Media (DS)	19.8 (3.02)	20.0 (3.33)	20.6 (3.38)	21.3 (3.22)	21.7 (3.16)	<0.001
FC basale						
Media (DS)	72.5 (13.1)	70.8 (11.9)	69.4 (11.9)	72.6 (12.4)	72.9 (13.6)	0.001
FC max						
Media (DS)	190 (7.79)	190 (7.87)	190 (7.83)	189 (8.48)	188 (9.12)	0.0102
FC max%						
Media (DS)	91.1 (3.77)	91.3 (3.81)	91.4 (3.77)	91.5 (4.06)	91.4 (3.60)	0.798
FC di riserva						
Media (DS)	118 (11.9)	120 (11.5)	120 (11.3)	116 (11.8)	116 (13.5)	<0.001
FC rec 1 min						
Media (DS)	-54.8 (18.2)	-51.7 (18.4)	-47.8 (16.5)	-42.9 (14.8)	-39.9 (15.7)	<0.001
PAS basale						
Media (DS)	110 (12.8)	103 (13.8)	106 (13.0)	109 (13.8)	111 (15.1)	<0.001
PAD basale						
Media (DS)	62.1 (8.84)	55.5 (9.21)	53.0 (9.24)	57.6 (9.93)	57.2 (9.98)	<0.001
PAS max						
Media (DS)	150 (18.3)	153 (20.5)	156 (20.7)	163 (19.5)	167 (19.9)	<0.001
PAD max						
Media (DS)	43.8 (7.62)	45.6 (9.24)	47.0 (9.39)	49.2 (11.8)	49.3 (12.9)	<0.001
METs						
Media (DS)	16.4 (2.00)	16.7 (2.14)	17.3 (2.50)	16.9 (2.57)	17.5 (2.74)	<0.001
TEMPO TOTALE						
Media (DS)	416 (37.3)	422 (40.7)	433 (47.0)	427 (48.2)	437 (52.0)	<0.001

La tabella 2 descrive la popolazione generale presa in esame.

Genere: 0=femmine; 1=maschi; Categoria sport: 1=destrezza; 2=potenza; 3=misti; 4=aerobici;

Abbreviazioni: BMI: body mass index; FC: frequenza cardiaca; FC di riserva: frequenza cardiaca di riserva; FC rec 1 min: frequenza cardiaca al 1° minuto di recupero; PAS: pressione arteriosa sistolica;

PAD: pressione arteriosa diastolica; METs: equivalente metabolico;

P-value <0.001 esprime la differenza statisticamente significativa dei parametri presi in esame.

Nella tabella 3 sono stati invece rappresentati i dati relativi ai test da sforzo eseguiti negli anni 2017-2021 suddivisi in base al genere. I principali cambiamenti avvenuti nel corso del tempo sono in linea con i parametri descritti nelle righe precedenti, tuttavia, sono state riscontrate delle differenze statisticamente significative tra maschi e femmine, in particolare, nei valori di METs e tempo totale di esercizio (tabella 5).

Il body mass index delle atlete, nonostante una crescita lineare e progressiva, ha riportato valori leggermente superiori rispetto a quelli degli atleti. Anche le ore di sport praticate negli anni 2020 e 2021 si sono dimostrate più elevate nelle ragazze, più precisamente, la differenza fra i due gruppi è stata di circa +29h per il 2020 e + 77h per il 2021. METs e Tempo totale di esercizio hanno evidenziato il medesimo trend: sono aumentati in modo progressivo dal 2017 al 2019, diminuiti nell'anno del lockdown e ritornati a crescere nel 2021 indicando parametri leggermente in ribasso per le atlete rispetto alla controparte maschile (figure 6 e 7).

FC di riserva è aumentata progressivamente dal 2017 al 2019, diminuita in corrispondenza dell'anno pandemico, rimasta più o meno invariata nel sesso femminile nell'anno della riapertura e tornata a crescere in quello maschile (figura 8). FC rec 1 min, invece, nonostante la graduale riduzione verificatasi nel corso dei 5 anni, è rimasta leggermente superiore nelle atlete (figura 9).

Per quanto riguarda i valori pressori, dal 2019 al 2021, si è assistito ad un leggero incremento in entrambi i sessi. Nello specifico: PAS e PAD basali nelle atlete, hanno registrato valori leggermente inferiori rispetto a quelli maschili, lo stesso trend è stato mantenuto nella PASmax femminile mentre una tendenza inversa si è verificata per PADmax maschile.

	2017		2018		2019		2020		2021	
	0 (N=160)	1 (N=184)								
ETA'										
Media (DS)	11.9±1.77	12.2±1.42	12.0±2.09	12.9±1.67	13.3±2.16	14.2±1.75	14.5±2.10	15.4±1.65	15.0±1.90	15.7±1.51
CATEGORIA SPORT										
1	10 (6.3%)	1 (0.5%)	17 (10.6%)	3 (1.6%)	16 (10.0%)	3 (1.6%)	16 (10.0%)	4 (2.2%)	16 (10.0%)	2 (1.1%)
2	20 (12.5%)	6 (3.3%)	58 (36.3%)	13 (7.1%)	58 (36.3%)	15 (8.2%)	51 (31.9%)	13 (7.1%)	27 (16.9%)	13 (7.1%)
3	35 (21.9%)	82 (44.6%)	55 (34.4%)	147 (79.9%)	57 (35.6%)	144 (78.3%)	65 (40.6%)	141 (76.6%)	43 (26.9%)	85 (46.2%)
4	9 (5.6%)	8 (4.3%)	29 (18.1%)	19 (10.3%)	26 (16.3%)	21 (11.4%)	28 (17.5%)	21 (11.4%)	19 (11.9%)	13 (7.1%)
ORE all'anno										
Media (DS)	296±107	251±81.1	303±112	261±85.9	310±129	271±98.2	226±110	197±103	332±169	255±141
BMI										
Media (DS)	19.9±2.76	19.7±3.22	19.8±3.04	20.2±3.56	20.4±3.11	20.8±3.59	21.1±2.88	21.4±3.48	21.4±2.67	21.9±3.54
FC basale										
Media (DS)	75.7±13.6	70.0±12.1	72.5±11.4	69.3±12.1	71.8±12.3	67.2±11.0	74.9±12.2	70.7±12.2	76.2±13.6	69.9±13.0
FC max										
Media (DS)	192±7.86	189±7.50	191±7.32	190±8.28	190±7.31	189±8.27	190±7.88	188±8.95	188±6.94	188±10.7
FC max%										
Media (DS)	91.9±3.79	90.5±3.66	91.4±3.59	91.1±4.00	91.4±3.52	91.5±3.99	91.6±3.83	91.4±4.26	91.3±3.37	91.6±3.81
FC di riserva										
Media (DS)	117±12.5	119±11.3	119±11.1	121±11.8	118±11.4	122±10.9	115±11.6	118±11.8	112±13.1	119±13.2
FC rec 1 min										
Media (DS)	-48.9±15.2	-59.4±19.1	-49.3±17.4	-53.8±19.1	-44.7±15.7	-50.6±16.7	-41.3±14.6	-44.2±14.8	-38.1±14.9	-41.6±16.4
PAS basale										
Media (DS)	107±11.5	112±13.3	102±13.3	105±14.2	103±11.9	108±13.6	105±12.5	113±13.9	107±13.8	114±15.5
PAD basale										
Media (DS)	62.6±8.75	61.8±8.94	55.6±9.57	55.5±8.91	51.8±8.66	54.0±9.64	55.8±9.41	59.3±10.1	54.6±9.17	59.7±10.1
PAS max										
Media (DS)	145±14.6	153±20.1	148±18.7	157±21.0	148±17.0	164±20.8	155±14.2	170±20.9	158±14.4	175±20.6
PAD max										
Media (DS)	44.5±8.32	43.4±7.06	46.1±9.77	45.2±8.76	48.2±9.06	46.0±9.57	51.3±12.5	47.4±10.9	52.2±13.6	46.6±11.6
METS										
Media (DS)	15.8±1.62	16.8±2.13	15.8±1.77	17.5±2.14	16.0±1.87	18.4±2.42	15.6±1.75	18.1±2.59	15.9±1.76	18.9±2.70
TEMPO TOTALE										
Media (DS)	407±32.0	422±39.8	405±34.1	436±40.6	409±35.1	454±45.9	402±32.7	449±48.6	407±33.6	464±51.0

La tabella 3 descrive la popolazione divisa per genere: 0=femmine e 1=maschi.

Abbreviazioni: Categoria sport: 1=destrezza; 2=potenza; 3=misti; 4=aerobici; BMI: body mass index; FC: frequenza cardiaca; FC di riserva: frequenza cardiaca di riserva; FC rec 1 min: frequenza cardiaca al 1° minuto di recupero; PAS: pressione arteriosa sistolica; PAD: pressione arteriosa diastolica; METs: equivalente metabolico;

P-value <0.001 esprime la differenza statisticamente significativa dei parametri presi in esame.

Tabella 4: Confronto anni 2019-2020.

	2019 (N=344)	2020 (N=344)	P-value Confronto 2019-2020
FC			
Media (DS)	120 (11.3)	116 (11.8)	<0.001
FC rec 1 min			
Media (DS)	-47.8 (16.5)	-42.9 (14.8)	<0.001
METs			
Media (DS)	17.3 (2.50)	16.9 (2.57)	<0.001
TEMPO TOTALE			
Media (DS)	433 (47.0)	427 (48.2)	<0.001

Nella tabella 4 è stato riportato il confronto tra le medie dei parametri tra il 2019 e il 2020, anno di innesco della pandemia per METs, tempo totale di esercizio, FC di riserva ed FC rec 1 min. Tutti i parametri descritti hanno mostrato un calo significativo nel 2020 rispetto al 2019. Abbreviazioni: FC: frequenza cardiaca; FC rec 1 min: frequenza cardiaca al 1° minuto di recupero; METs: equivalente metabolico. P-value <0.001 esprime la differenza statisticamente significativa dei parametri presi in esame.

Figura 2: andamento equivalente metabolico (METs) 2017-2021 descritto tramite grafico lineare.

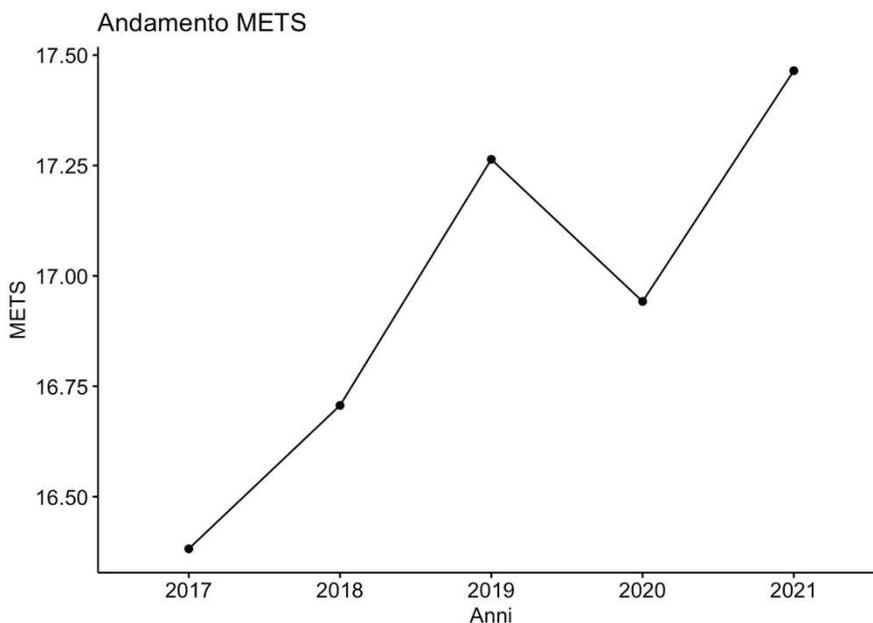


Figura 3: andamento tempo totale di esercizio (tempo totale) 2017-2021 descritto tramite grafico lineare.

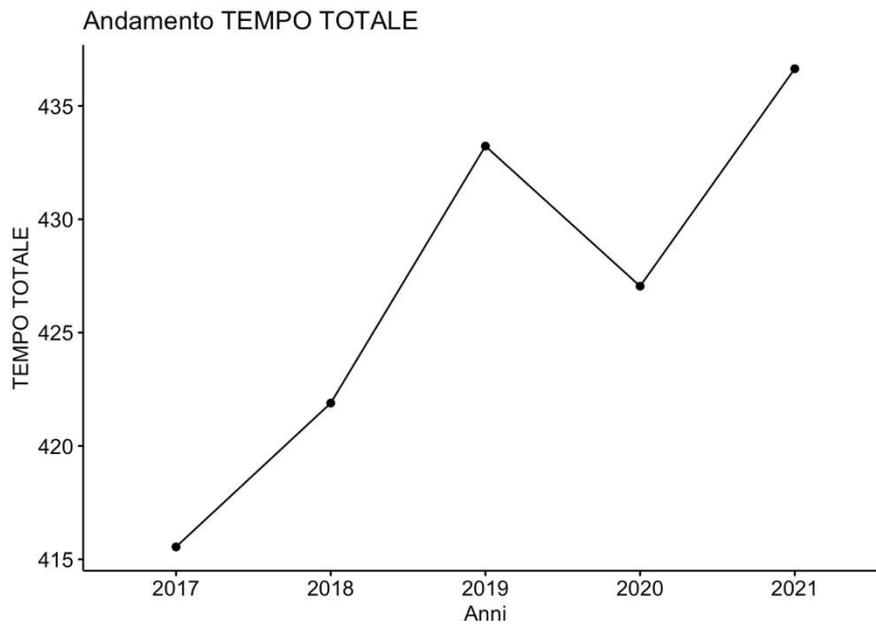


Figura 4: andamento frequenza cardiaca di riserva (FC di riserva) 2017-2021 descritto tramite grafico lineare.

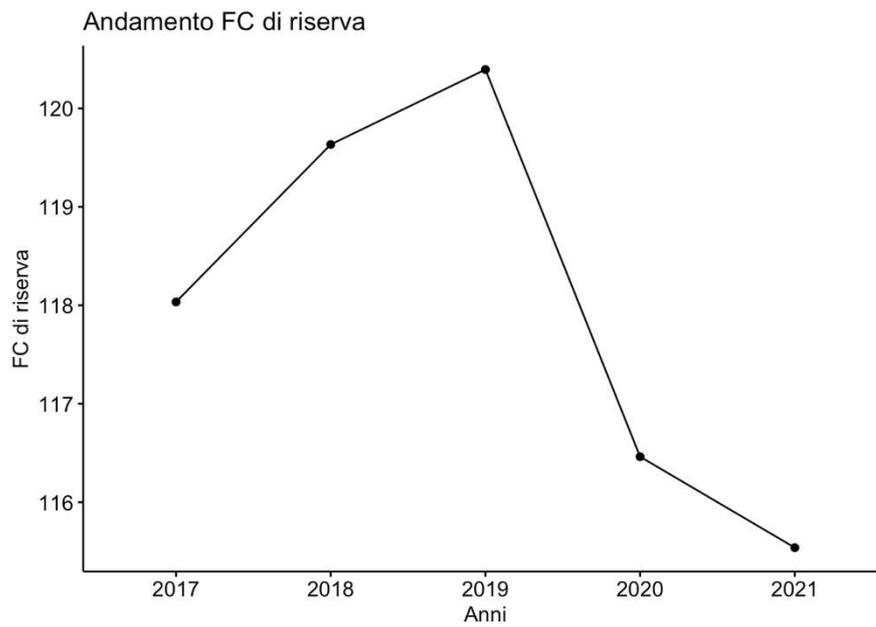


Figura 5: andamento frequenza cardiaca al 1° minuto di recupero (FC rec 1 min) 2017-2021 descritto tramite grafico lineare.

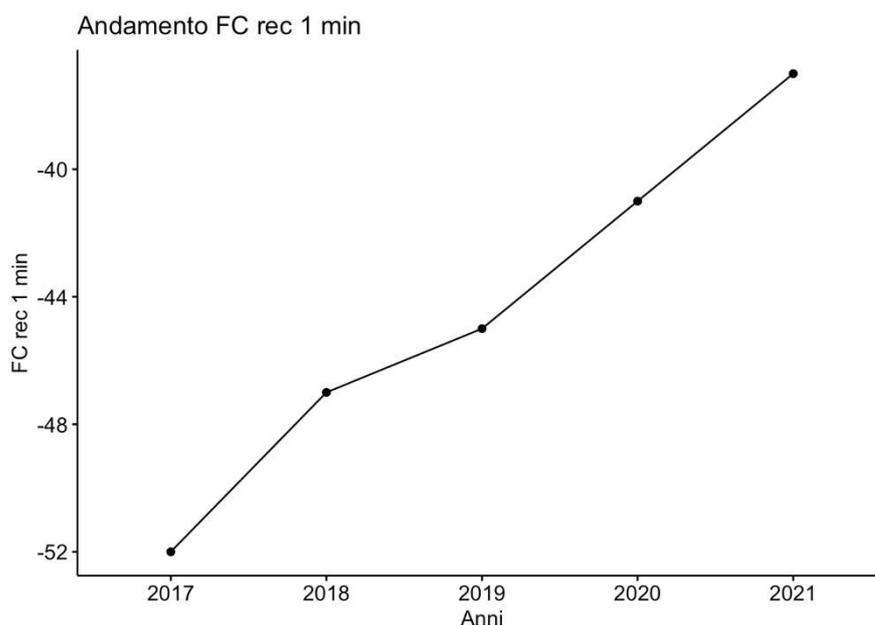


Tabella 5: tabella riassuntiva del confronto tra gli anni 2020 e 2019 tra maschi e femmine ANCOVA:

Variabile	Differenza tra medie per genere (95 % CI)	P-value
<u>METS</u>	-0.773003 (-1.161835 -0.384171)	<u>< 0.001</u>
<u>Tempo totale di esercizio</u>	-15.101989 (-22.289159; -7.914820)	<u><0.001</u>
FC di riserva	-0.708065 (-2.909301; 1.493171)	0.5274
FC rec 1min	-0.192157 (-2.743814; 2.359500)	0.8823

La tabella 5 dimostra che, negli anni 2020 e 2019, esiste una differenza significativa tra il genere maschile e quello femminile per quanto riguarda i METs e il tempo totale di esercizio (P-value < 0.001).
 Abbreviazioni: METs: equivalente metabolico; FC di riserva: frequenza cardiaca di riserva; FC rec 1 min: frequenza cardiaca di recupero.

Figura 6: andamento equivalente metabolico (METs) 2017-2021 per genere descritto tramite grafico lineare.

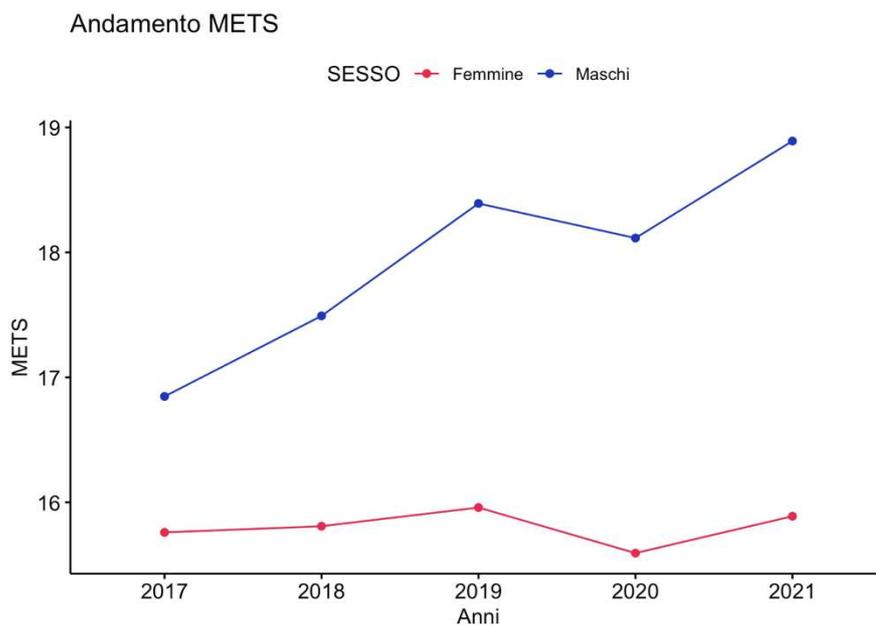


Figura 7: andamento tempo totale di esercizio (tempo totale) 2017-2021 per genere descritto tramite grafico lineare.

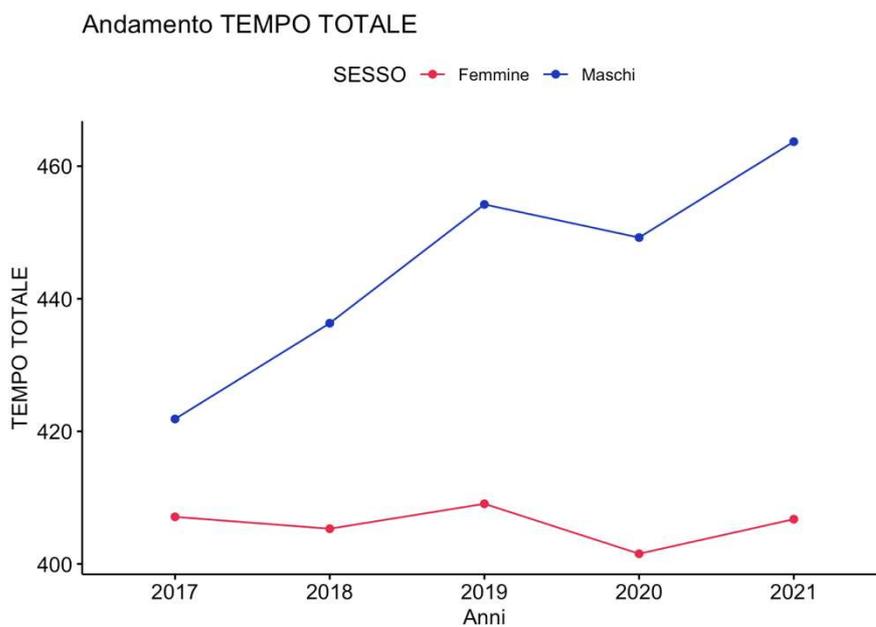


Figura 8: andamento frequenza cardiaca di riserva (FC di riserva) 2017-2021 per genere descritto tramite grafico lineare.

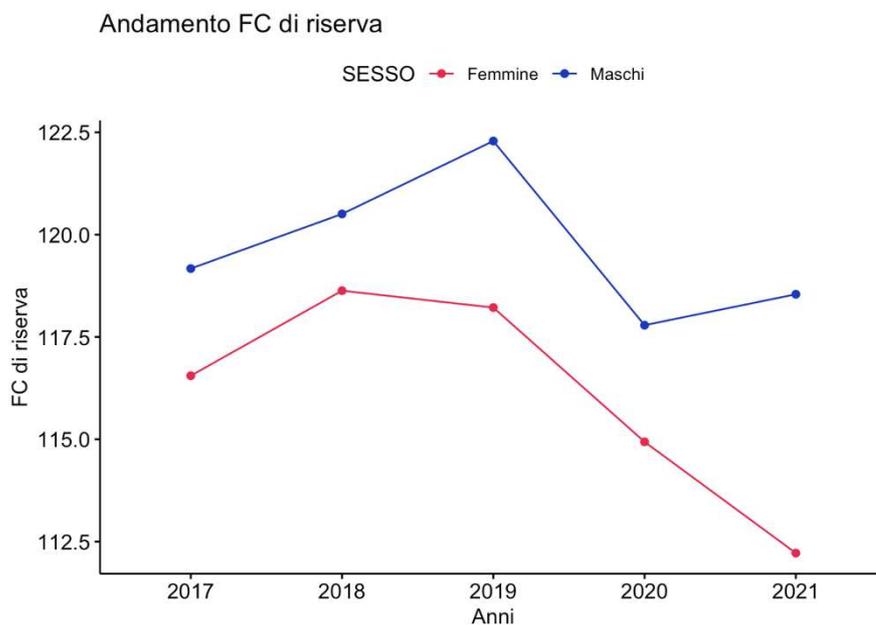
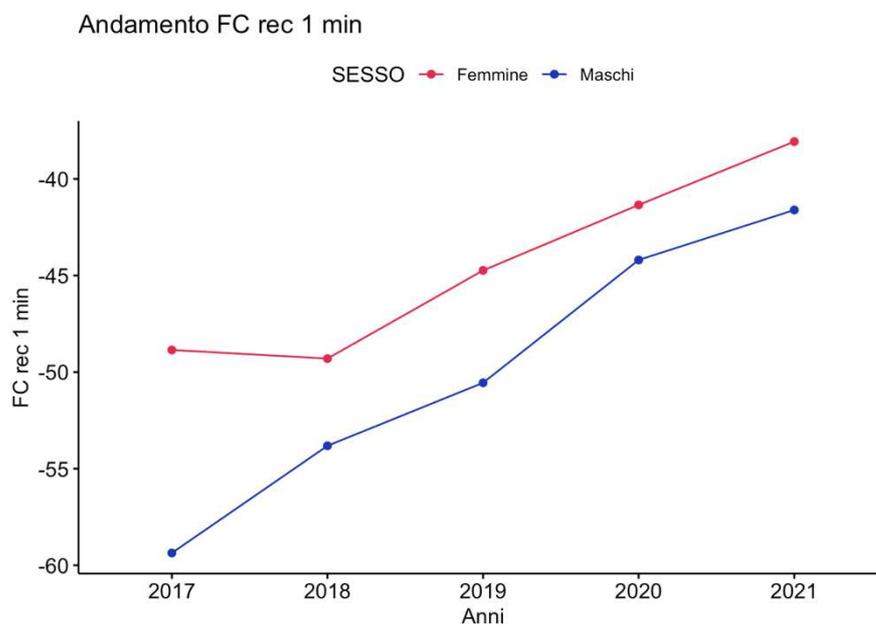


Figura 9: andamento frequenza cardiaca al 1° minuto di recupero (FC rec 1 min) 2017-2021 per genere descritto tramite grafico lineare.



DISCUSSIONE

Obiettivo dello studio e risultati principali:

L'obiettivo principale di questo studio è quello di evidenziare, attraverso i test da sforzo e l'elaborazione dei dati raccolti dal 2017 al 2021, una stima concreta della differenza nella capacità funzionale pre e post lockdown in una popolazione di giovani atleti.

Pertanto, partendo dall'assunto che la capacità funzionale sia stata inficiata dalle chiusure avvenute nel 2020, il presente lavoro si è focalizzato sull'osservazione dei principali parametri che si sono modificati con il lockdown e sul verificare che la riduzione della capacità funzionale sia dipesa dal calo dell'attività fisica e non ad esempio dall'utilizzo della mascherina durante i test. I risultati ottenuti hanno mostrato un aumento significativo di METs, tempo totale di esercizio, frequenza cardiaca di riserva e un miglioramento nel recupero della frequenza cardiaca al 1° minuto dal 2020 al 2021.

Gli effetti dell'attività e dell'inattività fisica secondo la letteratura scientifica attuale

Numerose evidenze scientifiche, basate su una vasta gamma di lavori, dimostrano come l'esercizio strutturato nei giovani migliori la forza, la salute delle ossa, la capacità cardiorespiratoria, la composizione corporea e diminuisca i fattori di rischio cardiovascolari protraendo i benefici fino all'età adulta. L'esercizio fisico inoltre promuove il benessere psicologico, la cognizione, influenzando positivamente anche sul rendimento scolastico e riducendo il rischio di lesioni sportive (39). Le attuali evidenze promuovono le potenzialità dell'attività sportiva la quale, svolta con impegno costante, è associata ad un periodo di salute più longevo, una migliore qualità di vita e ad un ritardo dell'insorgenza di circa 40 malattie croniche (40). Una società americana, che fornisce dispositivi per tracciare il livello di attività fisica dei soggetti, ha recentemente dimostrato come, durante il periodo COVID-19, l'attività fisica di 30 milioni di utenti abbia subito una riduzione sostanziale (dal 7% al 38%) del numero medio di passi rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente alla pandemia (41). A questo proposito, ci sono dei lavori che suggeriscono come anche un breve periodo di inattività (1-4 settimane) possa comportare effetti dannosi nella funzione e nella struttura cardiovascolare aumentando i fattori di rischio. Un periodo di immobilizzazione invece, anche se per poche settimane, sembra promuovere l'atrofia muscolare, la disfunzione cardiaca, il restringimento del lume dei vasi periferici, l'irrigidimento arterioso e

compromettere la funzione endoteliale nella macro e microcircolazione; tuttavia, anche una riduzione meno importante dell'attività fisica ha mostrato risultati simili (42).

Il nostro lavoro, attraverso la raccolta e l'elaborazione di dati attendibili, mira a sottolineare il ruolo primario dell'attività fisica sul miglioramento di svariati parametri fisiologici, soffermandosi in particolar modo su quelli inerenti alla capacità funzionale e alla tolleranza all'esercizio. Ad oggi, sono presenti innumerevoli studi riguardanti i benefici apportati dallo sport, tuttavia, questo elaborato si differenzia dalla mera raccolta dati, proponendo un'attenta e dettagliata analisi dei parametri cardiovascolari e funzionali rilevati durante i test da sforzo svolti in una coorte di atleti minorenni negli anni 2017-2021. I risultati ottenuti sono in linea con quelli attesi e sembrano confermare come la sedentarietà e/o la riduzione dell'attività fisica, comportino una diminuzione della capacità funzionale dei soggetti.

Risultati dello studio nella popolazione generale e suddivisa per genere

Uno tra i principali cambiamenti che si sono verificati nell'arco dei cinque anni, oltre all'incremento progressivo del body mass index (BMI), è l'andamento incostante delle ore di sport effettuate; di fatto, queste hanno subito un rialzo dal 2017 al 2019, un ribasso in corrispondenza dell'anno pandemico e un successivo rialzo nel 2021 ovvero l'anno di ritorno ad una pseudo normalità. Tra i parametri che si correlano maggiormente alla capacità funzionale, e che hanno subito variazioni, vi sono: METs, tempo totale di esercizio, frequenza cardiaca di riserva (FC di riserva) e frequenza cardiaca al 1° minuto di recupero (FC rec 1 min).

Come riportano i dati relativi alla popolazione generale (tabella 2), i valori sopracitati, ad esclusione della FC rec 1 min, la quale ha seguito una costante discesa nel tempo (figura 5), hanno subito un aumento dal 2017 al 2019, un lieve declino nel 2020 (in corrispondenza delle chiusure dei centri sportivi e delle svariate restrizioni) e una risalita nel 2021.

I parametri sopracitati, li possiamo invece osservare, suddivisi per genere, nella tabella 3 e nei grafici sottostanti. Per quanto riguarda i METs, tempo totale di esercizio e frequenza cardiaca di riserva, si può notare (grafici 6, 7, 8) come questi valori siano aumentati per entrambi i sessi dal 2020 al 2021. Tuttavia, si sono riscontrati valori leggermente più elevati negli atleti di sesso maschile; probabilmente, la spiegazione sta nel fatto che, questi ultimi, sembrano avere una capacità funzionale e una tolleranza all'esercizio maggiore rispetto alla controparte femminile. Al contrario invece, la frequenza cardiaca al 1° minuto di recupero

(grafico 9) ha manifestato un trend in ribasso nel sesso maschile indicando un recupero più veloce post esercizio.

Le mascherine: effetti causativi o protettivi?

La letteratura attuale, vista la novità dell'argomento, scarseggia; tuttavia, sono presenti alcuni studi, i quali hanno formulato delle ipotesi relative al calo della capacità funzionale nel periodo pandemico. In particolare, il lavoro di Barbeito et. al (43) si è concentrato sull'utilizzo della mascherina (chirurgica o FFP2) durante il test da sforzo massimale, indagando se tale presidio abbia influito o meno sulla capacità di esercizio degli atleti.

Lo studio ha preso in considerazione 854 pazienti: 398 nel gruppo del 2020 e 456 in quello del 2019 evidenziando come non siano state osservate differenze significative nelle caratteristiche di base dei pazienti, ad eccezione della dispnea durante l'esercizio. Questo disagio ventilatorio potrebbe essere ricondotto a reazioni neurologiche dovute all'aumento della temperatura dell'aria inspirata o a fattori psicologici associati come la claustrofobia o l'ansia causata dalla mascherina.

In conclusione, non sono state rilevate differenze significative fra i due gruppi con: oltre un 20% di test da sforzo positivi per entrambi, un 80% di test massimali e soprattutto una capacità funzionale simile.

Molto dibattuto è anche il ruolo delle diverse tipologie di mascherine, sia dal punto di vista protettivo che causativo, tuttavia, recenti lavori hanno evidenziato che alcuni materiali, come ad esempio la stoffa, oltre a ridurre l'effetto protettivo, sembrerebbero implementare la sensazione di dispnea. La mascherina chirurgica invece, oltre a limitare l'esposizione al virus, non sembra influire sull'aumento della frequenza cardiaca e sulla saturazione arteriosa periferica di ossigeno durante l'esercizio ed a qualsiasi livello di carico (44).

Il lavoro di do Prado et al, (45) oltre a confermare quanto appena descritto, sembra anche escludere la mascherina da un potenziale ruolo nella diminuzione della soglia del lattato. Inoltre, è stato osservato che, un peggioramento delle prestazioni di resistenza, è spesso associato ad un aumento del lavoro inspiratorio; in particolare, un aumento dello sforzo respiratorio è frequentemente designato come descrittore di rilevamento della dispnea, in quanto aumenta la pressione inspiratoria per respiro (46). Tuttavia, il lavoro di Roberge et

al. (47) non ha rilevato alcuna alterazione nel modello di respirazione durante un'attività aerobica di un'ora svolta con mascherina e ad un ritmo basso-moderato.

Ad oggi, il ruolo della mascherina durante l'esercizio è ancora molto dibattuto, tuttavia, alcuni studi che hanno riscontrato: alterazioni nella risposta cardiorespiratoria, una minore risposta ventilatoria e una riduzione della capacità aerobica, hanno posizionato l'attrezzatura necessaria per effettuare le misurazioni della ventilazione e degli scambi gassosi sopra le mascherine e questo può potenzialmente aver invalidato la metodologia della valutazione (45).

Tali evidenze rafforzano ancor più l'ipotesi del nostro studio, secondo il quale la diminuzione della capacità funzionale nell'anno 2020 sembra essere dipesa dalla riduzione dell'attività fisica e non dall'utilizzo della mascherina, infatti, tale presidio è stato utilizzato sia durante i test da sforzo eseguiti nel 2020, sia in quelli eseguiti nel 2021.

Inoltre, i dati del nostro lavoro, raccolti tra il 2017 ed il 2021, forniscono un'ulteriore prova che va ad aggiungersi alla letteratura odierna; in particolare, come descritto in precedenza, si è assistito ad una diminuzione sostanziale di METs, tempo totale di esercizio e frequenza cardiaca di riserva dal 2019 al 2020. Questa diminuzione/stallo della capacità funzionale, non può essere casuale e, come confermato dagli studi sopracitati, non sembra essere legata all'uso della mascherina. Si può dunque attribuire tale declino alla chiusura dei centri sportivi e al conseguente aumento dell'inattività fisica e della sedentarietà. Al contrario, la riapertura delle palestre e il ripristino di varie attività, hanno comportato un trend di rialzo di METs e tempo totale di esercizio nell'anno 2021, mentre la frequenza cardiaca di riserva, ridotta nel 2020, ha evidenziato un plateau. La frequenza cardiaca al 1° minuto di recupero invece, ha continuato il suo trend in ribasso.

LIMITAZIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Il nostro studio presenta comunque differenti limitazioni quali la numerosità campionaria discreta ma ancora ridotta per considerazioni di più ampio respiro, gli anni di follow-up relativamente limitati e il fatto che l'analisi eseguita nei pazienti sia stata basata solamente su almeno 3 anni consecutivi di valutazioni presso l'ambulatorio di medicina dello sport e dell'esercizio fisico dell'Azienda Ospedaliera Universitaria di Padova tra il 2017 e il 2021. Inoltre, ai fini dei risultati, sono stati considerati solo giovani atleti agonisti, escludendo in

tal modo i giovani che non praticano sport a livello agonistico. Inoltre. L'impiego della mascherina potrebbe essere visto come una limitazione o un bias che può aver influenzato i risultati dei test negli anni 2020 e 2021, tuttavia, come è già stato discusso precedentemente, tale presidio non dev'essere considerato come un elemento di rilevanza ai fini del monitoraggio della capacità funzionale degli atleti.

Tra le prospettive per studi futuri c'è sicuramente il proposito di allargare il campione ed estendere gli anni di follow-up; inoltre, per avere una stima ancora più precisa della capacità funzionale si potrebbe utilizzare il test cardiopolmonare, ovvero un metodo estremamente affidabile per la misurazione diretta del consumo di O₂. Pertanto, ulteriori prospettive interessanti d'indagine potrebbero essere: lo studio dell'impatto della pandemia a lungo termine sulle capacità motorie dei ragazzi, lo studio degli effetti della pandemia su atleti non agonisti o su soggetti sedentari.

CONCLUSIONE

Il 2020 verrà ricordato per sempre come l'anno iniziale della pandemia mondiale da SARS-CoV-2, che ha visto l'Italia come primo Paese colpito del mondo occidentale. Questo lavoro descrive l'andamento dei vari parametri del test ergometrico massimale in una coorte di atleti adolescenti tra il 2017 e il 2021 e si focalizza sull'impatto potenziale della condizione pandemica sulle performance di questi giovani atleti. L'impiego di un test da sforzo massimale standardizzato e riproducibile ha permesso di quantificare il calo della capacità funzionale e della tolleranza all'esercizio evidenziati nell'anno 2020, anno in cui il nostro Paese ha vissuto un periodo di lockdown forzato e un drastico calo della pratica di attività fisica, come dimostrato dal decremento delle ore di pratica sportiva settimanali e annuali. A questo è seguito nel 2021 un parziale ripristino dei parametri in decremento nel 2020, consensuale alla riapertura di molti centri sportivi e alla ripresa delle normali pratiche di esercizio. Inoltre, proprio in questa risalita dei parametri funzionali si evidenzia un'interessante differenza di genere, con gli atleti maschi che hanno mostrato una migliore ripresa nell'anno 2021 e hanno forse risentito in modo minore dei periodi di riduzione degli allenamenti.

Ad oggi non si conosce con precisione quanto l'interruzione delle normali attività sportive e la loro sostituzione con attività online abbia influito sul declino della capacità funzionale degli atleti durante la pandemia. Tuttavia, come testimoniano svariati lavori scientifici, e visti i risultati ricavati dal nostro lavoro, sembra piuttosto chiaro il ruolo protettivo e benefico che riveste lo sport praticato ad ogni livello. Di fatto, i nostri dati evidenziano come l'inattività fisica derivante da uno stato di limitazione forzata delle normali attività fisiche possa avere un impatto significativo sulla capacità funzionale dei giovani atleti. Tale parametro possiede un elevato valore prognostico predittivo in una grande varietà di situazioni cliniche e sperimentali, pertanto, sarebbe auspicabile pensare a delle strategie che ci permettano di evitare in futuro gli effetti negativi riscontrati da situazioni di inattività forzata. Questa esperienza potrebbe aiutarci ad elaborare dei programmi di gestione e mantenimento della capacità funzionale, in parte già studiati ed applicati, che siano attuabili su larga scala ma adattati al singolo individuo, indipendentemente dalla tipologia e dal livello di attività fisica praticata.

BIBLIOGRAFIA

1. Dwyer, M. J., Pasini, M., De Dominicis, S., & Righi, E. (2020). Physical activity: Benefits and challenges during the COVID-19 pandemic. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 30(7), 1291–1294. <https://doi.org/10.1111/sms.13710>
2. Inciardi, R. M., Lupi, L., Zaccone, G., Italia, L., Raffo, M., Tomasoni, D., Cani, D. S., Cerini, M., Farina, D., Gavazzi, E., Maroldi, R., Adamo, M., Ammirati, E., Sinagra, G., Lombardi, C. M., & Metra, M. (2020). Cardiac Involvement in a Patient With Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *JAMA cardiology*, 5(7), 819–824. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.1096>
3. Hirzinger, C., Froelicher, V. F., & Niebauer, J. (2010). Pre-participation examination of competitive athletes: role of the ECG. *Trends in cardiovascular medicine*, 20(6), 195–199. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2011.06.001>
4. Michael S. Emery, Richard J. Kovacs, Sudden Cardiac Death in Athletes, *JACC: Heart Failure*, Volume 6, Issue 1, 2018, Pages 30-40
5. Mont, L., Pelliccia, A., Sharma, S., Biffi, A., Borjesson, M., Brugada Terradellas, J., Carré, F., Guasch, E., Heidbuchel, H., La Gerche, A., Lampert, R., McKenna, W., Papadakis, M., Priori, S. G., Scanavacca, M., Thompson, P., Sticherling, C., Viskin, S., Wilson, M., Corrado, D., ... Piepoli, M. (2017). Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: Position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. *European journal of preventive cardiology*, 24(1), 41–69. <https://doi.org/10.1177/2047487316676042>
6. Wasfy, M. M., Hutter, A. M., & Weiner, R. B. (2016). Sudden Cardiac Death in Athletes. *Methodist DeBakey cardiovascular journal*, 12(2), 76–80. <https://doi.org/10.14797/mdcj-12-2-76>

7. Irfan M. Asif, Jonathan A. Drezner, Sudden Cardiac Death and Preparticipation Screening: The Debate Continues—In Support of Electrocardiogram-Inclusive Preparticipation Screening, *Progress in Cardiovascular Diseases*, Volume 54, Issue 5, 2012, Pages 445-450, ISSN 0033-0620,

8. Finocchiaro, G., Sheikh, N., Biagini, E., Papadakis, M., Maurizi, N., Sinagra, G., Pelliccia, A., Rapezzi, C., Sharma, S., & Olivotto, I. (2020). The electrocardiogram in the diagnosis and management of patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Heart rhythm*, *17*(1), 142–151.
<https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2019.07.019>

9. Sharma, S., Drezner, J. A., Baggish, A., Papadakis, M., Wilson, M. G., Prutkin, J. M., La Gerche, A., Ackerman, M. J., Borjesson, M., Salerno, J. C., Asif, I. M., Owens, D. S., Chung, E. H., Emery, M. S., Froelicher, V. F., Heidbuchel, H., Adamuz, C., Asplund, C. A., Cohen, G., Harmon, K. G., ... Corrado, D. (2017). International Recommendations for Electrocardiographic Interpretation in Athletes. *Journal of the American College of Cardiology*, *69*(8), 1057–1075.
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.01.015>

10. Prakash, K., & Sharma, S. (2016). Interpretation of the Electrocardiogram in Athletes. *The Canadian journal of cardiology*, *32*(4), 438–451.
<https://doi.org/10.1016/j.cjca.2015.10.026>

11. Reichlin, T., Abächerli, R., Twerenbold, R., Kühne, M., Schaer, B., Müller, C., Sticherling, C., & Osswald, S. (2016). Advanced ECG in 2016: is there more than just a tracing?. *Swiss medical weekly*, *146*, w14303.
<https://doi.org/10.4414/smw.2016.14303>

12. Fletcher, G. F., Ades, P. A., Kligfield, P., Arena, R., Balady, G. J., Bittner, V. A., Coke, L. A., Fleg, J. L., Forman, D. E., Gerber, T. C., Gulati, M., Madan, K., Rhodes, J., Thompson, P. D., Williams, M. A., & American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical

- Cardiology, Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, and Council on Epidemiology and Prevention (2013). Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 128(8), 873–934. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e31829b5b44>
13. Balfour, P. C., Jr, Gonzalez, J. A., & Kramer, C. M. (2017). Non-invasive assessment of low- and intermediate-risk patients with chest pain. *Trends in cardiovascular medicine*, 27(3), 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2016.08.006>
 14. Andre La Gerche, Aaron L. Baggish, Juhani Knuuti, David L. Prior, Sanjay Sharma, Hein Heidbuchel, Paul D. Thompson, Cardiac Imaging and Stress Testing Asymptomatic Athletes to Identify Those at Risk of Sudden Cardiac Death, *JACC: Cardiovascular Imaging*, Volume 6, Issue 9, 2013, Pages 993-1007.
 15. Corrado, D., Basso, C., & Thiene, G. (2012). Sudden cardiac death in athletes: what is the role of screening?. *Current opinion in cardiology*, 27(1), 41–48. <https://doi.org/10.1097/HCO.0b013e32834dc4cb>
 16. Drezner, J. A., O'Connor, F. G., Harmon, K. G., Fields, K. B., Asplund, C. A., Asif, I. M., Price, D. E., Dimeff, R. J., Bernhardt, D. T., & Roberts, W. O. (2016). AMSSM Position Statement on Cardiovascular Preparticipation Screening in Athletes: Current Evidence, Knowledge Gaps, Recommendations and Future Directions. *Current sports medicine reports*, 15(5), 359–375. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000296>
 17. Asif, I. M., & Drezner, J. A. (2016). Cardiovascular Screening in Young Athletes: Evidence for the Electrocardiogram. *Current sports medicine reports*, 15(2), 76–80. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000247>

18. Borrione, P., Quaranta, F., & Ciminelli, E. (2013). Pre-participation screening for the prevention of sudden cardiac death in athletes. *World journal of methodology*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.5662/wjm.v3.i1.1>
19. Corrado, D., Schmied, C., Basso, C., Borjesson, M., Schiavon, M., Pelliccia, A., Vanhees, L., & Thiene, G. (2011). Risk of sports: do we need a pre-participation screening for competitive and leisure athletes?. *European heart journal*, 32(8), 934–944. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq482>
20. Assanelli, D., Levaggi, R., Carré, F., Sharma, S., Deligiannis, A., Mellwig, K. P., Tahmi, M., Vinetti, G., & Aliverti, P. (2015). Cost-effectiveness of pre-participation screening of athletes with ECG in Europe and Algeria. *Internal and emergency medicine*, 10(2), 143–150. <https://doi.org/10.1007/s11739-014-1123-2>
21. Arena, R., Myers, J., Williams, M. A., Gulati, M., Kligfield, P., Balady, G. J., Collins, E., Fletcher, G., American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology, & American Heart Association Council on Cardiovascular Nursing (2007). Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. *Circulation*, 116(3), 329–343. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106>
22. Löllgen, H., & Leyk, D. (2018). Exercise Testing in Sports Medicine. *Deutsches Arzteblatt international*, 115(24), 409–416. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2018.0409>
23. Fletcher, G. F., Ades, P. A., Kligfield, P., Arena, R., Balady, G. J., Bittner, V. A., Coke, L. A., Fleg, J. L., Forman, D. E., Gerber, T. C., Gulati, M., Madan, K., Rhodes, J., Thompson, P. D., Williams, M. A., & American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical

- Cardiology, Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, and Council on Epidemiology and Prevention (2013). Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 128(8), 873–934. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e31829b5b44>
24. Fletcher, G. F., Froelicher, V. F., Hartley, L. H., Haskell, W. L., & Pollock, M. L. (1990). Exercise standards. A statement for health professionals from the American Heart Association. *Circulation*, 82(6), 2286–2322. <https://doi.org/10.1161/01.cir.82.6.2286>
25. Gibbons R. J. (2002). Abnormal heart-rate recovery after exercise. *Lancet (London, England)*, 359(9317), 1536–1537. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)08525-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)08525-2)
26. Shahidi, S. H., Stewart Williams, J., & Hassani, F. (2020). Physical activity during COVID-19 quarantine. *Acta paediatrica (Oslo, Norway : 1992)*, 109(10), 2147–2148. <https://doi.org/10.1111/apa.15420>
27. Kalinowski, P., Myszkowski, J., & Marynowicz, J. (2021). Effect of Online Training during the COVID-19 Quarantine on the Aerobic Capacity of Youth Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(12), 6195. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126195>
28. Mulcahey, M. K., Gianakos, A. L., Mercurio, A., Rodeo, S., & Sutton, K. M. (2021). Sports Medicine Considerations During the COVID-19 Pandemic. *The American journal of sports medicine*, 49(2), 512–521. <https://doi.org/10.1177/0363546520975186>
29. Dauty, M., Menu, P., & Fouasson-Chailloux, A. (2021). Effects of the COVID-19 confinement period on physical conditions in young elite soccer players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 61(9), 1252–1257. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11669-4>

30. Fikenzer, S., Fikenzer, K., Laufs, U., Falz, R., Pietrek, H., & Hepp, P. (2021). Impact of COVID-19 lockdown on endurance capacity of elite handball players. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 61(7), 977–982. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11501-9>
31. Pucsok, J. M., Kovács, M., Ráthonyi, G., Pocsai, B., & Balogh, L. (2021). The Impact of COVID-19 Lockdown on Agility, Explosive Power, and Speed-Endurance Capacity in Youth Soccer Players. *International journal of environmental research and public health*, 18(18), 9604. <https://doi.org/10.3390/ijerph18189604>
32. Neuffer P. D. (1989). The effect of detraining and reduced training on the physiological adaptations to aerobic exercise training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 8(5), 302–320. <https://doi.org/10.2165/00007256-198908050-00004>
33. Grazioli, R., Loturco, I., Baroni, B. M., Oliveira, G. S., Saciura, V., Vanoni, E., Dias, R., Veeck, F., Pinto, R. S., & Cadore, E. L. (2020). Coronavirus Disease-19 Quarantine Is More Detrimental Than Traditional Off-Season on Physical Conditioning of Professional Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 34(12), 3316–3320. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003890>
34. Xia, W., Huang, C. H., Guo, Y., Guo, M. G., Hu, M., Dai, J., & Deng, C. H. (2021). The Physical Fitness Level of College Students Before and After Web-Based Physical Education During the COVID-19 Pandemic. *Frontiers in pediatrics*, 9, 726712. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.726712>
35. Ambroży, T., Rydzik, Ł., Obmiński, Z., Klimek, A. T., Serafin, N., Litwiniuk, A., Czaja, R., & Czarny, W. (2021). The Impact of Reduced Training Activity of Elite Kickboxers on Physical Fitness, Body Build, and Performance during Competitions. *International journal of environmental research and public health*, 18(8), 4342. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084342>

36. Moreno-Pérez, V., Del Coso, J., Romero-Rodríguez, D., Marcé-Hernández, L., Peñaranda, M., & Madruga-Parera, M. (2020). Effects of home confinement due to COVID-19 pandemic on eccentric hamstring muscle strength in football players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, *30*(10), 2010–2012. <https://doi.org/10.1111/sms.13768>
37. Demir, C., Subasi, B., & Harput, G. (2021). Effects of the COVID-19 confinement period on hip strength, flexibility and muscle injury rate in professional soccer players. *The Physician and sportsmedicine*, 1–8. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/00913847.2021.1985384>
38. Ammar, A., Brach, M., Trabelsi, K., Chtourou, H., Boukhris, O., Masmoudi, L., Bouaziz, B., Bentlage, E., How, D., Ahmed, M., Müller, P., Müller, N., Aloui, A., Hammouda, O., Paineiras-Domingos, L. L., Braakman-Jansen, A., Wrede, C., Bastoni, S., Pernambuco, C. S., Mataruna, L., ... Hoekelmann, A. (2020). Effects of COVID-19 Home Confinement on Eating Behaviour and Physical Activity: Results of the ECLB-COVID19 International Online Survey. *Nutrients*, *12*(6), 1583. <https://doi.org/10.3390/nu12061583>
39. Landry, B. W., & Driscoll, S. W. (2012). Physical activity in children and adolescents. *PM & R: the journal of injury, function, and rehabilitation*, *4*(11), 826–832. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2012.09.585>
40. Ruegsegger, G. N., & Booth, F. W. (2018). Health Benefits of Exercise. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, *8*(7), a029694. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029694>
41. Franklin N. C. (2015). Technology to promote and increase physical activity in heart failure. *Heart failure clinics*, *11*(1), 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2014.08.006>

42. Peçanha, T., Goessler, K. F., Roschel, H., & Gualano, B. (2020). Social isolation during the COVID-19 pandemic can increase physical inactivity and the global burden of cardiovascular disease. *American journal of physiology. Heart and circulatory physiology*, *318*(6), H1441–H1446. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00268.2020>
43. Barbeito-Caamaño, C., Bouzas-Mosquera, A., Peteiro, J., López-Vázquez, D., Quintas-Guzmán, M., Varela-Cancelo, A., Martínez-Ruiz, D., Yañez-Wonenburger, J. C., Piñeiro-Portela, M., & Vázquez-Rodríguez, J. M. (2021). Exercise testing in COVID-19 era: Clinical profile, results and feasibility wearing a facemask. *European journal of clinical investigation*, *51*(4), e13509. <https://doi.org/10.1111/eci.13509>
44. Fukushi, I., Nakamura, M., & Kuwana, S. I. (2021). Effects of wearing facemasks on the sensation of exertional dyspnea and exercise capacity in healthy subjects. *PloS one*, *16*(9), e0258104. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258104>
45. do Prado, D., Silvino, V. O., Motta-Santos, D., & Dos Santos, M. (2022). The effect of the protective face mask on cardiorespiratory response during aerobic exercise. *Clinical and experimental pharmacology & physiology*, *10.1111/1440-1681.13624*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/1440-1681.13624>
46. Azizi, A., Lam, W., Phenix, H., Tepliakova, L., Roney, I. J., Jedrysiak, D., Power, A., Gupta, V., Elnour, N., Hanzel, M., Tzahristos, A. C., Sarwar, S., & Kærn, M. (2016). Erratum to: No training required: experimental tests support homology-based DNA assembly as a best practice in synthetic biology. *Journal of biological engineering*, *10*, 1. <https://doi.org/10.1186/s13036-015-0013-0>
47. Roberge, R. J., Kim, J. H., Powell, J. B., Shaffer, R. E., Ylitalo, C. M., & Sebastian, J. M. (2013). Impact of low filter resistances on subjective and physiological responses to filtering facepiece respirators. *PloS one*, *8*(12), e84901. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084901>

