

Valutazione metabolica durante le partite delle nazionali maschili di futsal

Un case study

Parole
chiave

Il futsal è uno sport ad alta intensità intermittente che impone un'elevata richiesta fisiologica e metabolica, con la frequenza cardiaca media vicina al 90% della FCmax e concentrazioni di lattato superiori a 5 mmol/L (Castagna et al., 2009; Castagna & Barbero-Alvarez, 2010). Questi carichi comportano non solo stress neuromuscolare e metabolico, ma anche risposte immunitarie acute, come la riduzione dell'IgA salivare e l'alterazione della funzione dei neutrofili (Moreira et al., 2011; De Moura et al., 2012). Borges et al. (2021) evidenziano l'importanza di integrare indicatori fisiologici, biochimici e immunologici per una migliore comprensione delle risposte all'attività nel futsal, con implicazioni rilevanti per la gestione del carico e del recupero. La popolarità di questa disciplina è cresciuta negli ultimi anni, come dimostra la sua inclusione nei Giochi del Mediterraneo 2030 in sostituzione del calcio a undici. Tuttavia, la letteratura scientifica sull'aspetto fisiologico di questa disciplina resta ancora limitata rispetto a sport più studiati come il calcio a undici o il basket (Naser et al., 2017). In particolare, risulta ancora poco esplorata la risposta relativa all'ossigenazione muscolare durante il gioco, parametro che può fornire preziose informazioni sullo stato di fatica periferica e sulla capacità

Il futsal è una disciplina ad alta intensità intermittente che impone una notevole sollecitazione fisiologica e metabolica, con implicazioni rilevanti per la gestione del carico interno e del recupero. Nonostante la crescente attenzione scientifica, la letteratura sul monitoraggio delle risposte fisiologiche nel futsal maschile d'élite resta limitata, in particolare per quanto riguarda l'analisi dell'ossigenazione muscolare locale. Il presente studio si propone di descrivere l'andamento di SmO₂, frequenza cardiaca e lattatemia durante una simulazione di partita in atleti di livello internazionale, appartenenti alla Nazionale Italiana maschile. I dati sono stati raccolti in condizioni di gioco reali attraverso sensori indossabili e prelievi capillari, durante fasi alternate di attività e recupero. L'articolo è stato realizzato dall'Istituto di Medicina e Scienza dello Sport del CONI e dall'area performance della FIGC.

abstract



Dario Pompa

- Preparatore atletico della Nazionale di Futsal maschile.
- Area Performance Club Italia, Federazione Italiana Giuoco Calcio (FIGC).
- BIND-Behavioral Imaging and Neural Dynamics Center, Università G. d'Annunzio di Chieti-Pescara



Andrea Cardone

- Istituto di Medicina e Scienza dello Sport del Comitato Olimpico Nazionale Italiano (CONI).



Alberto Di Mario

- Istituto di Medicina e Scienza dello Sport del Comitato Olimpico Nazionale Italiano (CONI).

autori 
mail ext_andrea.cardone@coni.it

Nicolò Brigati

- Istituto di Medicina e Scienza dello Sport del Comitato Olimpico Nazionale Italiano (CONI).

Antonio Scocca

- Coordinatore dell'Area Futsal della FIGC, allenatore UEFA B e di Calcio a cinque.
- Membro del Consiglio direttivo del Settore Giovanile e Scolastico, del Settore Tecnico e della Divisione di Calcio a cinque.

Alessandro Donati

- Istituto di Medicina e Scienza dello Sport del Comitato Olimpico Nazionale Italiano (CONI).

di recupero tra le azioni intense. La spettroscopia a infrarosso (*Near-Infrared Spectroscopy*, NIRS) ha rappresentato, negli ultimi anni, un avanzamento significativo per la valutazione non invasiva e in tempo reale della saturazione muscolare di ossigeno (SmO_2) e ha fornito una stima diretta del bilancio tra apporto e utilizzo di ossigeno a livello tissutale (*Perrey & Ferrari, 2018*). La tecnologia NIRS è stata recentemente impiegata per la valutazione della *readiness post-gara* (*Vasquez-Bonilla et al., 2020*), evidenziando una significativa riduzione della SmO_2 nelle calciatrici della seconda divisione spagnola al termine della gara, con un recupero incompleto anche dopo 24 ore. Questo andamento è stato attribuito a una temporanea compromissione della funzione ossidativa mitocondriale e alla persistenza della fatica neuromuscolare, evidenziando come la SmO_2 rappresenti un *marker* sensibile dello stato funzionale del muscolo. In una successiva ricerca condotta sulla stessa categoria di calciatrici, *Vasquez-Bonilla et al. (2021)* hanno indagato i limiti fisiologici della performance intermittente identificando nella capacità di desaturazione e risaturazione dell'ossigeno muscolare, un potenziale *marker* predittivo della *repeated sprint ability*. Questo approccio rappresenta un cambio di paradigma e sposta l'attenzione dalla sola risposta sistemica (ad esempio il lattato o il VO_2) verso parametri locali di utilizzo dell'ossigeno muscolare, con possibili implicazioni applicative. Nonostante i recenti progressi, ad oggi, non sono disponibili studi che abbiano applicato la

NIRS in un contesto di futsal maschile d'élite, in particolare su atleti di livello internazionale appartenenti a squadre nazionali. Una mancanza sicuramente rilevante, se si considera che il futsal presenta un'elevata densità di eventi ad alta intensità e profili di gioco peculiari, che potrebbero influenzare significativamente la dinamica dell'ossigenazione muscolare. Inoltre, l'integrazione tra i dati ottenuti tramite NIRS e i tradizionali *marker* sistemici come il lattato ematico (lattatemia) può fornire un quadro fisiologico completo, efficace sia per la comprensione del carico interno sia per la personalizzazione di strategie di allenamento e recupero.

Date queste premesse, il presente studio si propone di descrivere per la prima volta l'andamento della SmO_2 , della lattatemia e della Frequenza Cardiaca (FC) in un contesto simulato di partita di futsal, con atleti maschili di livello internazionale. L'obiettivo è duplice: da un lato, contribuire a colmare una lacuna nella letteratura sul monitoraggio fisiologico nel futsal, dall'altro validare l'applicazione della NIRS in contesti di gara, aprendo la strada allo sviluppo di modelli di carico e recupero più specifici e individualizzati.

Tabella A
Caratteristiche dei partecipanti.

| Ruolo | Età | Peso (kg) | Altezza (cm) |
|-------------------|------|-----------|--------------|
| Pivot | 31,3 | 81,4 | 176 |
| Laterale destro | 29,0 | 75,8 | 173 |
| Laterale sinistro | 25,1 | 77,0 | 184 |
| Universale | 32,7 | 78,5 | 175 |

Metodi

Partecipanti

Quattro giocatori d'élite (McKay et al., 2022) di futsal maschile, appartenenti alla Nazionale italiana A, hanno preso parte allo studio durante la fase di preparazione alle qualificazioni dei Campionati Europei 2026. Le caratteristiche dei giocatori sono riportate nella **tabella A**. I criteri di inclusione si sono basati sui profili dei ruoli e sull'esperienza internazionale per i giocatori senior, mentre i criteri di esclusione comprendono la presenza di lesioni muscolo-scheletriche o di interventi chirurgici agli arti inferiori nei sei mesi precedenti lo studio. Nessun giocatore, in precedenza, ha avuto esperienza di monitoraggio durante la partita mediante NIRS della Moxxy (Moxxy Monitor; Fortiori Designs LLC, MN, USA) o di prelievo di lattato. Tutte le procedure sono state condotte nel rispetto delle linee guida etiche della dichiarazione di Helsinki; ciascun partecipante ha firmato il consenso informato prima di prendere parte allo studio.

Metodologia

Le analisi sono state effettuate dallo staff dell'Area Performance del Club Italia (FIGC) e dell'Istituto di Medicina e Scienza dello Sport (CONI) nell'ambito delle valutazioni effettuate durante il raduno della Nazionale A maschile di futsal. I dati sono stati raccolti durante la prima seduta di allenamento, dalle 16.00 alle 18.00, dopo 48 ore di recupero dal periodo di preparazione precampionato con i rispettivi club. La Nazionale ha disputato una partita amichevole interna nel palazzetto del Centro di Preparazione Olimpica di Roma Giulio Onesti su un campo in *parquet* di 40 x 20 metri. La partita si è svolta su un unico tempo di 20 min effettivi, alternando fasi di gioco attivo ($_{in}$ Gioco) e di recupero ($_{out}$ Gioco) di 2,5 min ognuna, per un totale di quattro $_{in}$ Gioco e quattro $_{out}$ Gioco. Lo staff dell'Istituto di Medicina e Scienza dello



Applicazione sensori NIRS Moxxy su un giocatore.

Sport del Coni ha effettuato i prelievi di lattato all'inizio e alla fine di ogni fase di $_{out}$ Gioco. Ai giocatori è stato chiesto di indossare le stesse scarpe utilizzate in gara ufficiale.

Analisi della partita e valutazione fisiologica

Prima dell'attivazione pre-gara, i quattro giocatori si sono alternati a coppie tra le condizioni di $_{in}$ Gioco e $_{out}$ Gioco. A ciascun giocatore sono stati applicati i sensori NIRS Moxxy posizionati sul gastrocnemio mediale e sul vasto laterale della gamba dominante (**foto sopra**), oltre a un cardiofrequenzimetro per il monitoraggio continuo della FC. L'attivazione pre-gara è stata eseguita secondo i protocolli abitualmente adottati nelle competizioni internazionali, con l'obiettivo di standardizzare lo stato fisiologico prima dell'incontro.

Tabella B

Dati descrittivi dei giocatori durante le diverse fasi (media e deviazione standard).

| Fasi | SmO ₂ Vasto Laterale (%) | SmO ₂ Gastrocnemio (%) | Frequenza Cardiaca (bpm) | Lattato (mmol/L) |
|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------|
| _{In} Gioco | 31,5±9,3 | 36,7±10,9 | 161,3±31,5 | 7,2 ±5,4 |
| _{Out} Gioco | 73,6±12,8 | 76,8±13,2 | 128,4±18,8 | 8,6±5,7 |

Durante la simulazione di gara, i sistemi NIRS hanno registrato in tempo reale i valori di SmO₂ e la FC durante le fasi attive di gioco e nei momenti di recupero. Al termine di ogni fase di _{In} Gioco, ai giocatori è stato richiesto di recarsi nei corridoi laterali, fuori dal campo, dove sono stati eseguiti micro-prelievi di sangue dal lobo dell'orecchio da parte del personale sanitario dell'Istituto di Medicina e Scienza dello Sport del CONI, al fine di determinare i livelli di lattatemia. Un secondo prelievo è stato compiuto alla conclusione della successiva fase di _{Out} Gioco, immediatamente prima del rientro in campo, per valutare la dinamica di accumulo e smaltimento del lattato tra le fasi di sforzo e recupero, integrando così i dati di SmO₂ e FC in un'ottica di analisi multifattoriale dello stress fisiologico indotto dalla competizione. L'elaborazione dei dati, mediante tecniche di *fitting*, ha permesso di ottenere informazioni dettagliate sulla cinetica di SmO₂, inclusa la capacità di desaturazione muscolare, un indicatore della capacità ossidativa dei muscoli.

Analisi statistica

Oltre ai risultati descrittivi delle variabili raccolte nelle diverse fasi della simulazione di gara, è stata utilizzata una *Repeated Measures ANOVA* (RM-ANOVA) per valutare l'effetto delle fasi di gioco (_{In} Gioco vs _{Out} Gioco) su ciascuna variabile. Le analisi sono state condotte separatamente per ciascuna variabile dipendente: SmO₂ (vasto laterale e gastrocnemio), FC e lattatemia. In caso di effetti principali significativi, sono stati eseguiti test *post hoc* con correzione di Bonferroni per confrontare le condizioni sperimentali specifiche. Per ciascun effetto è stata inoltre calcolata la dimensione dell'effetto (ES) mediante il *partial eta squared* (η^2_p), classificata secondo i criteri convenzionali

(piccolo: $\geq 0,01$, medio: $\geq 0,06$, grande: $\geq 0,14$). Il livello di significatività statistica è stato fissato a $\alpha=0,05$. Tutte le analisi sono state condotte utilizzando il software JASP, versione 0.19.3.

Risultati

I dati descrittivi della media delle fasi _{In} Gioco e _{Out} Gioco sono riportati nella **tabella B**. I risultati della RM-ANOVA relativi alle fasi di _{In} Gioco e _{Out} Gioco per ciascuna variabile analizzata sono riportati nelle **figure 1, 2 e 4**. Per quanto riguarda i valori di SmO₂, il modello RM-ANOVA ha evidenziato effetti significativi sia per il muscolo vasto laterale ($p<0,001$, $f=96,5$, $\eta^2_p=0,97$), sia per il gastrocnemio ($p<0,001$, $f=38,6$, $\eta^2_p=0,93$). I test *post hoc* con correzione di Bonferroni hanno mostrato differenze significative ($p<0,05$) tra fasi _{In} Gioco e _{Out} Gioco, ma non sono emerse differenze intra-fase per entrambe le variabili. Anche per la FC ($p<0,001$, $f=67,1$, $\eta^2_p=0,96$) e per la lattatemia ($p<0,001$,

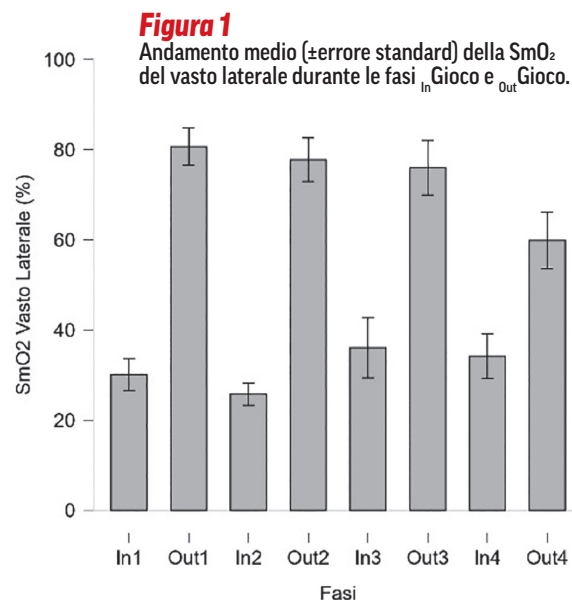


Figura 2

Andamento medio (\pm errore standard) della SmO₂ del gastrocnemio durante le fasi _{In} Gioco e _{Out} Gioco.

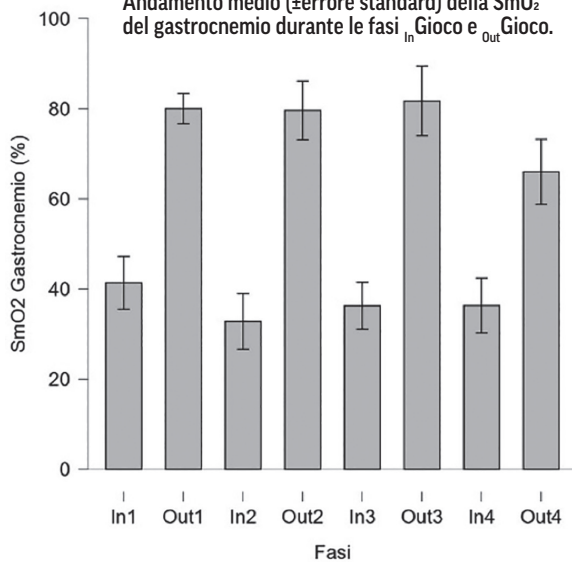
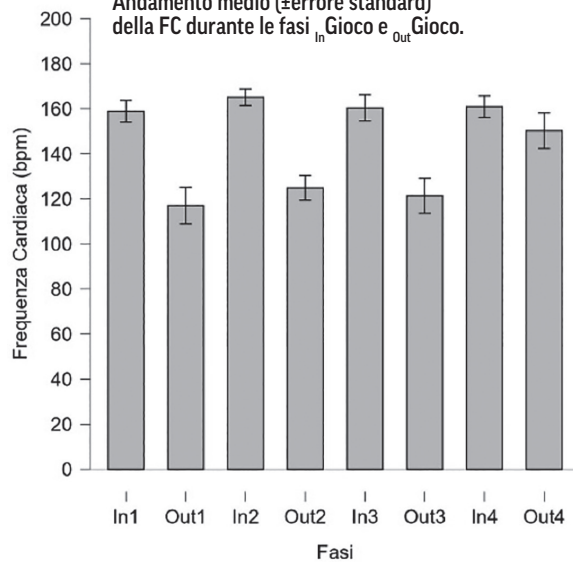


Figura 3

Andamento medio (\pm errore standard) della FC durante le fasi _{In} Gioco e _{Out} Gioco.



$f=3,71$, $\eta^2_p=0,55$), la RM-ANOVA ha rilevato effetti significativi con ES rispettivamente ampie. I test *post hoc* hanno confermato differenze significative ($p<0,05$) tra le fasi _{In} Gioco e _{Out} Gioco per la FC, a eccezione dell'ultima fase, mentre non sono emerse differenze significative tra le fasi per la lattemia.

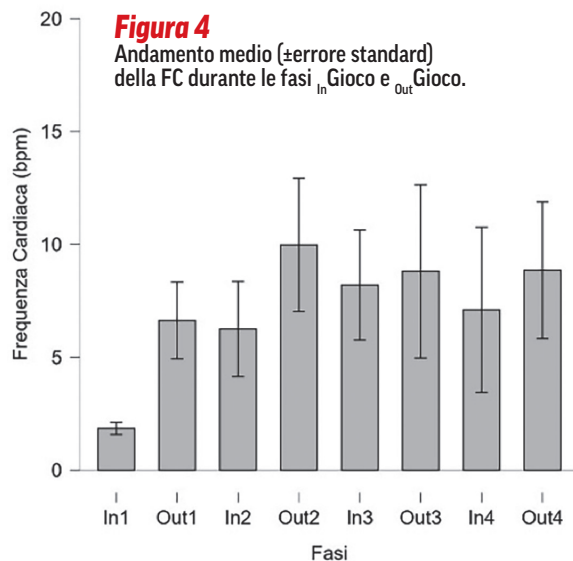
Discussione

I risultati di questo *case study* offrono spunti interessanti sull'utilità dell'approccio integrato della NIRS Moxy, lattemia e FC nel monitoraggio fisiologico di giocatori di futsal élite durante una partita simulata (**figura nel Qr code**). Fin dalla prima fase _{In} Gioco, la SmO₂ del vasto laterale scende a valori intorno al 25-35%, segno di un'ampia estrazione di ossigeno per sostenere accelerazioni, frenate e cambi di direzione. Durante le fasi _{Out} Gioco la saturazione risale rapidamente fino a circa l'80 %, ma il recupero non è completo: dopo ogni periodo _{In} Gioco resta un residuo di desaturazione che, sommato alle fasi successive, indica una progressiva insorgenza di fatica periferica. Nel gastrocnemio l'andamento è simile, pur con valori



Figura 4

Andamento medio (\pm errore standard) della FC durante le fasi _{In} Gioco e _{Out} Gioco.



mediamente più elevati, probabilmente dovuti a un'attivazione metabolica meno marcata rispetto al vasto laterale durante le azioni specifiche dei giocatori esaminati. Per entrambi i muscoli, la quarta fase _{Out} Gioco presenta una risalita della SmO₂ all'incirca del 60%, evidenziando un marcato peggioramento rispetto alle fasi precedenti. La FC raggiunge sistematicamente

i 160-165 bpm, pari a circa l'85% della FC massimale stimata, a testimonianza di un impegno cardiovascolare costante. Nella fase di ^{Out}Gioco la FC scende solo fino a 115-125 bpm: i muscoli recuperano rapidamente gran parte i livelli di SmO_2 , ma il sistema cardiovascolare non ha tempo sufficiente per ritornare a una piena condizione di riposo. Questo andamento suggerisce una discrepanza tra il recupero periferico e quello centrale, ovvero che i giocatori sono ancora in una fase attiva di recupero fisiologico, con particolare coinvolgimento dei sistemi deputati alla sintesi energetica e al ripristino dell'equilibrio interno. La lattatemia parte da circa 2 mmol/L in *baseline* e cresce progressivamente fino a sfiorare i 10 mmol/L negli ingressi finali. Tali valori indicano un contributo glicolitico importante ma non estremo: nelle discipline fortemente anaerobiche, come i 400 m, si osservano picchi di 15-25 mmol/L. Il futsal resta dunque uno sport intermittente dove le brevi fasi di alta intensità, alternate a pause altrettanto brevi, non consentono un completo smaltimento del lattato, pur mantenendo un'ampia quota di metabolismo ossidativo. Il quadro complessivo mostra quindi un carico fisiologico elevato ma di natura mista. Le scorte di ossigeno muscolare vengono in buona parte ristabilite nelle prime tre fasi di ^{Out}Gioco, mentre la FC e la lattatemia rivelano che tale intervallo è insufficiente a ristabilire l'omeostasi sistemica.

In prospettiva applicativa, ciò suggerisce di calibrare le rotazioni non solo in funzione delle esigenze tattiche, ma anche del crescente stress metabolico e cardiovascolare: si potrebbe, ad esempio, prevedere occasionali fasi di ^{Out}Gioco più lunghe o ^{In}Gioco più corte. Il *case study* ^{Out}presenta alcune limitazioni: la media su quattro giocatori ha contribuito a ridurre la variabilità individuale, ma l'analisi resta parziale, poiché limitata a pochi gruppi muscolari e a un solo arto. Ciononostante, l'integrazione di NIRS, FC e lattatemia evidenzia il valore di un approccio integrato per descrivere in modo più accurato le reali esigenze fisiologiche del futsal, offrendo indicazioni utili per una gestione più consapevole della fatica e delle rotazioni.

Conclusioni

Il presente *case study* rappresenta un primo contributo applicativo utile alla comprensione dei fenomeni fisiologici nel futsal d'élite. Il monitoraggio della SmO_2 , FC e lattatemia ha evidenziato il potenziale di questi parametri integrati per ottimizzare la gestione del carico e del recupero. Dal punto di vista metodologico, le prospettive future potrebbero includere l'integrazione dei dati NIRS Moxly con l'analisi video o con sistemi di posizione locale (LPS), offrendo una lettura più approfondita della relazione tra carico esterno, eventi tecnico-tattici e risposte fisiologiche, sia centrali sia periferiche. ➤

- Borges, P. H. O., Moreira, A., Silva, M. S., & Aoki, M. S. (2021). Futsal: Demands, physiological responses, and performance. *Strength and Conditioning Journal*, 43(2), 91-101. • Castagna, C., & Barbero-Alvarez, J. C. (2010). Physiological demands of an intermittent sport: Futsal. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 8(2), 61-66. • Castagna, C., D'Ottavio, S., Vera, J. G., & Alvarez, J. C. B. (2009). Match demands of professional futsal: A case study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(4), 490-494. • De Moura, N. R., Barbosa, W., de Moura, A. G., & da Silva, V. M. (2012). Neutrophil function is affected after a futsal game in high performance athletes. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 45(12), 1217-1223. • McKay, A. K., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., ... & Burke, L. M. (2021). Defining training and performance caliber: a participant classification framework. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(2), 317-331. • Mildenhall, M. J., Gabbett, T. J., & Townshend, A. D. (2021). Muscle oxygen saturation responses during repeated-sprint exercise in elite football players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(3), 407-413. • Moreira, A., Arsati, F., de Oliveira Lima-Arsati, Y. B., Simões, A. C., & de Araújo, V. C. (2011). Salivary IgA response and upper respiratory tract infection symptoms during a 21-week competitive season in youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 985-991. • Naser, N., Ali, A., & Macadam, P. (2017). Physical and physiological demands of futsal. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 15(2), 76-80. • Perrey, S., & Ferrari, M. (2018). Muscle oximetry in sports science: A systematic review. *European Journal of Sport Science*, 18(6), 820-833. • Vasquez-Bonilla, A. A. V., Timon, R., Camacho-Cardenosa, A., Camacho-Cardenosa, M., Guerrero, S., & Olcina, G. (2020). Fatigue increases in resting muscle oxygen consumption after a women's soccer match. *International Journal of Sports Medicine*, 41(13), e2-e8. • Vasquez-Bonilla, A. A., Camacho-Cardenosa, A., Timón, R., Martínez-Guardado, I., Camacho-Cardenosa, M., & Olcina, G. (2021). Muscle oxygen desaturation and re-saturation capacity limits in repeated sprint ability performance in women soccer players: A new physiological interpretation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), 12758.

biblio