

EFFETTI DELL'INTEGRAZIONE DI PROBIOTICI E VITAMINA D3 SUI MARCATORI DELLE PRESTAZIONI SPORTIVE NEGLI ATLETI MASCHI DI ARTI MARZIALI MISTE: UNO STUDIO RANDOMIZZATO.

Studio scientifico

Przewlocka et al. 2023 Sports Medicine - Open 9, Article number: 31(2023).

L'asse intestino-muscolo è associato allo stato infiammatorio, al metabolismo del glucosio, alla funzione mitocondriale e alla salute del sistema nervoso centrale. Pertanto, si ritiene che gli interventi mirati al microbioma possano essere utili per gli atleti professionisti. Quindi questo studio ha esaminato l'effetto dell'integrazione di vitamina D e/o probiotici sui marcatori delle prestazioni sportive negli atleti di arti marziali miste (MMA). Gli atleti sono stati scelti in modo casuale per ricevere 3000 UI di vitamina D3 o 20 miliardi di fattore probiotico con 3000 UI di vitamina D3 per 4 settimane. Dopo 4 settimane di integrazione, è stata registrata una concentrazione di lattato significativamente inferiore 60 minuti dopo l'allenamento, un migliore utilizzo del lattato e un miglioramento nella performance e nella potenza media della prestazione nel gruppo probiotico e vitamina D rispetto alla sola integrazione di vitamina D.

ABSTRACT

Background

Le strategie mirate per agire favorevolmente sul microbioma intestinale sembrano essere utili e vantaggiose per lo svolgimento delle prestazioni sportive degli atleti professionisti. L'asse intestino-muscolo è associato allo stato infiammatorio, al metabolismo del glucosio, alla funzione mitocondriale e alla salute del sistema nervoso centrale. Tutti questi meccanismi influenzano il consumo di ossigeno, la forza muscolare e la performance dell'allenamento. Inoltre, l'effetto positivo di alcuni ceppi batterici può essere potenziato dall'integrazione di vitamina D. Pertanto, questo studio mirava a valutare e confrontare come marcatori selezionati della prestazione sportiva di atleti di arti marziali miste (MMA) venissero influenzati dall'integrazione con vitamina D3 o probiotici combinati con vitamina D3.

Metodi

È stato condotto uno studio clinico randomizzato in doppio cieco controllato con placebo della durata di 4 settimane con 23 atleti maschi MMA assegnati al gruppo vitamina D3 (Vit D; n=12) o al gruppo probiotici+vitamina D3 (PRO+VitD; n=11). Sono state condotte misurazioni ripetute del livello di creatina chinasi, del rapporto di utilizzo del lattato e delle prestazioni atletiche.

Risultati

Dopo 4 settimane di integrazione, abbiamo riscontrato concentrazioni di lattato inferiori 60 minuti dopo l'intervallo di sprint acuto nel gruppo PRO+VitD rispetto al gruppo Vit D ($4,73 \pm 1,62$ e $5,88 \pm 1,55$ mmol/L; $p < 0,05$). Inoltre, l'integrazione ha migliorato la performance totale (232.00 ± 14.06 e 240.72 ± 13.38 J kg⁻¹; $p < 0.05$) e la potenza media della prestazione sportiva seguendo il protocollo di esercizio anaerobico (7.73 ± 0.47 e 8.02 ± 0.45 W kg⁻¹; $p < 0.05$) solo nel gruppo PRO+VitD. Inoltre, c'è stato un miglioramento nel rapporto di utilizzo del lattato nel gruppo PRO+VitD rispetto al gruppo VitD come mostrato dalla percentuale del rapporto T60/T3 (rispettivamente $73,6 \pm 6,9$ e $65,1 \pm 9,9\%$; $p < 0,05$). Abbiamo anche osservato concentrazioni sieriche elevate di 25(OH)D3 dopo l'esercizio a intervalli di sprint acuto in entrambi i gruppi, tuttavia, non vi erano differenze significative tra i gruppi.

Conclusione

Quattro settimane di integrazione combinata di probiotici e vitamina D3 hanno migliorato l'utilizzo del lattato e hanno influenzato positivamente le prestazioni anaerobiche negli atleti MMA.

Punti chiave

1. Un singolo periodo di esercizio ad alta intensità ha indotto un aumento della concentrazione sierica di 25(OH)D3 in entrambi i gruppi, sia prima che dopo l'integrazione.
2. L'integrazione combinata di vitamina D3 con una mix probiotico multiceppo ha migliorato l'utilizzo di LA dopo l'esercizio.
3. Gli atleti MMA che hanno assunto la combinazione di vitamina D3 e probiotici hanno ottenuto risultati migliori, in particolare nella potenza media e nella performance totale durante i primi 30 secondi di esercizio.

Descrizione

Le arti marziali miste (MMA) sono uno sport che risale al 649 a.C. come parte di un'antica competizione. I primi tornei di MMA si limitavano ad applicare il minor numero possibile di regole per assomigliare a veri combattimenti ^[1]. Con lo sviluppo e la crescita della popolarità, sono state introdotte più regole per garantire sicurezza e pari opportunità agli atleti. Inoltre, sono state introdotte alcune classi di peso. Attualmente, un tipico combattimento MMA professionale dura tre round da 5 minuti (o cinque round nel caso di un combattimento per il titolo), separati da una pausa di 1 minuto. La prestazione fisica nelle MMA consiste in un esercizio a intervalli e gli atleti eseguono azioni ad alta intensità durante il combattimento, interrotte da brevi pause o attività a bassa intensità. Questo sport richiede energia fornita per la maggior parte dalle vie metaboliche anaerobiche ^[2]. Durante periodi di esercizio ad alta intensità, le capacità dei processi di idrolisi e glicolisi della fosfocreatina (PCr) sono cruciali per soddisfare la domanda massima di risintesi dell'adenosina trifosfato (ATP) ^[3]. Inoltre, è stato dimostrato che la concentrazione di lattato nel sangue (LA) aumenta in modo significativo subito dopo un combattimento e i valori possono raggiungere fino a 20,1 mmol/L, indicando uno sforzo ad alta intensità con una percentuale significativa di metabolismo anaerobico di LA ^[4]. Tuttavia, anche il contributo delle vie aerobiche al rendimento energetico è elevato. È stato stabilito che anche durante l'esercizio con carico submassimale, una certa quantità di ATP viene risintetizzata tramite fosforilazione ossidativa ^[3]. Pertanto, l'attività della piruvato deidrogenasi (PDH) si correla positivamente con l'aumento dell'assorbimento di ossigeno, migliorando l'utilizzo di LA e l'ossidazione del piruvato ^[5]. Il complesso della piruvato deidrogenasi è composto da tre subunità che richiedono i cofattori tiamina pirofosfato, acido lipoico e la forma ridotta di flavina adenina dinucleotide (FADH₂), ma anche la nicotinammide adenina dinucleotide ridotta (NADH) è necessaria affinché la reazione possa procedere correttamente. Questo complesso è un punto di transizione chiave tra il metabolismo citosolico e mitocondriale perché converte il piruvato prodotto dalla glicolisi in acetil coenzima-A (acetil-CoA), che viene ulteriormente ossidato dal ciclo dell'acido tricarbossilico nei mitocondri. Pertanto, i programmi di allenamento per gli atleti MMA dovrebbero concentrarsi sul miglioramento dei processi del metabolismo energetico sia anaerobico che aerobico per aumentare la funzione dei mitocondri, migliorare le concentrazioni delle proteine responsabili del trasporto del substrato e le vie glicolitiche. Le strategie mirate all'ottenimento delle massime prestazioni e all'adattamento fisiologico del muscolo scheletrico insieme al mantenimento di un basso rischio di infortuni e al potenziamento dei processi di rigenerazione rappresentano quindi gli obiettivi più importanti tra gli atleti MMA. Inoltre, un numero crescente di studi indica che un corretto microbioma intestinale può essere un fattore indiretto nel migliorare le prestazioni durante l'allenamento. Questo fenomeno è stato chiamato asse intestino-muscolo ^[6, 7]. Il microbiota intestinale umano è stato riconosciuto come uno dei siti più complessi del corpo umano, con un numero stimato di microrganismi superiore a 10¹⁴ cellule. La "popolazione" più abbondante è rappresentata dai batteri. La biodiversità e la composizione

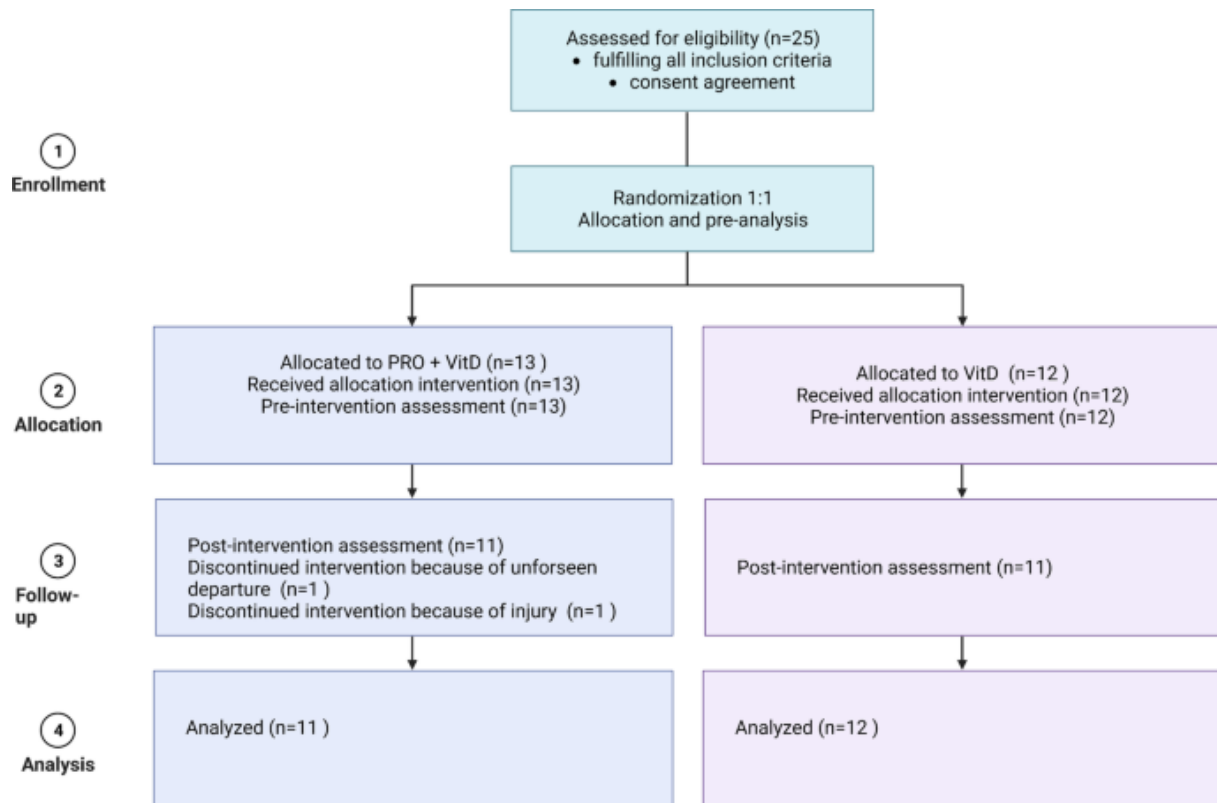
complessiva del microbiota intestinale svolgono un ruolo cruciale nel mantenimento dell'omeostasi all'interno del corpo umano^[8, 9]. È stato dimostrato che i microrganismi intestinali possono influire sullo stato nutrizionale dell'ospite, sui percorsi del metabolismo energetico e sulla funzione del sistema immunitario e contribuiscono a mantenere l'integrità delle cellule epiteliali dell'intestino^[10]. Il meccanismo principale attraverso il quale il microbioma intestinale influisce sulla funzione muscolare è la sua capacità di modulare lo stress ossidativo e il processo infiammatorio attraverso determinate vie metaboliche, come la proteina chinasi target di rapamicina per i mammiferi (mTOR)^[11], il fattore nucleare kappa B (NF-κB) e la proteina Forkhead box O (FOXO)^[12]. Inoltre, alcune specie batteriche possono utilizzare LA, che sembra essere particolarmente importante nell'MMA. Scheiman e colleghi hanno riferito che gli animali che venivano integrati con *Veillonella atypica* mostravano livelli di utilizzo più elevati di LA migliorando così il ciclo di Cori. È stato anche osservato un miglioramento nell'esercizio prolungato dall'inizio alla fine^[13]. Inoltre, è stato dimostrato che il siero LA attraversa la barriera epiteliale e viene metabolizzato da alcune specie batteriche in propionato, migliorando le prestazioni atletiche^[13]. È stato descritto che l'asse intestino-muscolo potrebbe anche essere associato al metabolismo del glucosio, alla funzione mitocondriale e alla salute del sistema nervoso centrale. Tutti questi meccanismi possono influenzare il consumo di ossigeno, la forza muscolare e la prestazione dell'allenamento^[7]. Inoltre, alcuni studi suggeriscono che alcuni ceppi di batteri possono far diminuire il livello di creatina chinasi (CK) nel sangue dopo l'esercizio, che è un marcatore specifico di danno muscolare^[14]. Inoltre, in studi precedenti, è stato dimostrato che alcuni ceppi batterici come *Bifidobacterium bifidum* W23, *Bifidobacterium lactis* W51, *Lactobacillus acidophilus* W22, *Levilactobacillus brevis* W63 e *Lactococcus lactis* W58, hanno ridotto il tasso di degradazione del triptofano indotto dall'esercizio e si è avuta una diminuzione di infezioni del tratto respiratorio superiore^[15]. In un altro studio, gli stessi ceppi probiotici hanno portato ad una diminuzione dei livelli di Zonulina, un marcatore di permeabilità intestinale, nelle feci. Gli autori hanno anche osservato un miglioramento dello stato infiammatorio indotto dall'esercizio in uomini che già praticavano sport da diverso tempo^[16]. Questi dati dimostrano i benefici di alcuni ceppi batterici sulla performance sportiva attraverso il miglioramento dell'omeostasi intestinale e della permeabilità intestinale. Pertanto, le strategie mirate al benessere del microbioma intestinale sembrano essere fondamentali per gli atleti professionisti. L'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) e l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) definiscono i probiotici come "microrganismi vivi che, se somministrati in quantità adeguate, conferiscono un beneficio per la salute dell'ospite"^[17]. Alla luce delle attuali conoscenze, sembra che l'effetto positivo di alcuni ceppi batterici possa essere potenziato dall'effetto sinergico con la vitamina D. La scoperta del recettore della vitamina D (VDR) nel muscolo scheletrico ha fornito prove che mostrano i risultati benefici del colecalciferolo sul corretto metabolismo muscolare. Inoltre, il suo ruolo nelle vie di segnalazione sembra in gran parte sovrapporsi alla potenziale via di segnalazione dell'asse intestino-muscolo. L'interazione sinergica del fattore probiotico

con la vitamina D verso la sintesi proteica muscolare e il miglioramento della funzione mitocondriale può essere manifestata attraverso l'influenza della segnalazione di mTOR e FOXO sullo stress ossidativo e sulla modulazione della funzione immunologica. Ulteriori ricerche sull'impatto dei probiotici e della vitamina D3 sulle funzioni cerebrali, sullo stress cronico ^[18] e sulla neuroprotezione sembrano essere cruciali, poiché questi fattori influenzano indirettamente i muscoli scheletrici e le capacità di svolgere esercizi fisici ^[19]. Pertanto, supponiamo che la combinazione di probiotici con la vitamina D3 possa avere un effetto benefico sulla funzione muscolare negli atleti MMA. Inoltre, è stato dimostrato che il raggiungimento di concentrazioni sieriche ottimali di vitamina D3 in pazienti con lombalgia riduce i marcatori di stress ossidativo e dell'infiammazione ^[20], nonché aumenta la biogenesi e la funzione dei mitocondri e riduce l'atrofia del muscolo scheletrico ^[21]. La carenza di vitamina D3 si verifica comunemente nella popolazione polacca e si trova nell'85% dei polacchi. Attualmente, è chiaro che una concentrazione sierica ottimale di 25-idrossi colecalciferolo (25(OH)D3) (≥ 30 ng/mL) è fondamentale per la salute umana e le prestazioni sportive. Pertanto, lo scopo dello studio era valutare e confrontare il livello di marcatori selezionati delle prestazioni sportive degli atleti MMA integrati con vitamina D3 o probiotici combinati con vitamina D3.

MATERIALI E METODI

Progettazione dello studio

Lo studio è stato concepito come uno studio clinico randomizzato in doppio cieco controllato con placebo. I partecipanti sono stati divisi casualmente in due gruppi di ricerca, con il gruppo probiotico (PRO+VitD) che riceveva un fattore probiotico multiceppo insieme a vitamina D3 ogni giorno e il gruppo placebo (Vit D) che riceveva una combinazione di placebo e vitamina D3 per quattro settimane. Tutti gli atleti erano caucasici. La randomizzazione e la divisione nei due gruppi sono state condotte utilizzando un generatore casuale di Excel da un ricercatore indipendente che non era impegnato in alcuna procedura di studio. Tutte le procedure dello studio sono state eseguite due volte: prima della somministrazione (PRE) e immediatamente dopo quattro settimane di somministrazione (POST). Il protocollo è stato approvato dal Comitato indipendente di bioetica per la ricerca scientifica presso l'Università medica di Danzica (n. NKNNB/643/2019-2020) in conformità con la Dichiarazione di Helsinki. Per garantire che fossero forniti tutti i dettagli sufficienti, c'è stata l'adesione a Standard Protocol Items: Recommendations for Interventional Trials (SPIRIT) ^[22, 23]. Lo studio è stato condotto tra la fine di settembre 2020 e dicembre 2020 a Danzica, in Polonia. Il progetto di ricerca è stato condotto durante la stagione autunno-inverno quando l'esposizione al sole era minima. Questo presupposto era una priorità, poiché volevamo evitare qualsiasi interferenza con gli obiettivi del progetto esponendo gli atleti di MMA ai raggi del sole. Inoltre, secondo il sito Web Meteoblue, ci sono stati solo undici giorni con un'esposizione solare significativa durante questi tre mesi. Il progetto è stato registrato presso Clinical Trials con l'identificatore NCT04759729. Il diagramma di flusso dello studio è presentato in **Fig. 1**.



Partecipanti

Venticinque atleti maschi MMA ben allenati sono stati arruolati nello studio dopo essere stati sottoposti a screening in base ai criteri di inclusione ed esclusione. Tuttavia, solo ventitré di loro hanno completato il protocollo. Nello studio sono stati inclusi atleti adulti con più di 3 anni di esperienza nell'allenamento MMA, che hanno combattuto almeno tre incontri e si sono allenati bene almeno cinque volte a settimana, mentre i partecipanti che avevano una storia di malattie infiammatorie intestinali e insufficienza cardiaca, che avevano seguito una terapia antibiotica negli ultimi 2 mesi o che avevano una lesione cronica nei 6 mesi precedenti sono stati esclusi. Alcuni studi hanno riportato differenze legate al sesso e all'età nella composizione del microbioma intestinale ^[24, 25], quindi per ridurre la variabilità dei dati, il sesso femminile e l'età < 18 anni sono stati scelti come criteri di esclusione. Tutti i partecipanti arruolati nello studio sono stati pienamente informati sul protocollo dello studio e sono stati obbligati a fornire un modulo di consenso informato firmato prima di qualsiasi valutazione o intervento. Il campione è stato reclutato da Danzica e dalle aree circostanti. Tutti gli atleti che hanno partecipato allo studio erano nello stesso periodo di allenamento durante la sperimentazione clinica e sono stati impegnati in allenamenti tipici di MMA basati su kickboxing, jiu-jitsu brasiliano e pratica di wrestling, comprese sessioni di resistenza e forza. Inoltre, agli atleti è stato chiesto di non modificare alcun allenamento o abitudini alimentari per ridurre al minimo il rischio che

fattori esterni influenzino i dati ottenuti.

Intervento

Nello studio è stata utilizzata una combinazione di ceppi batterici liofilizzati con effetti positivi sulla salute dell'ospite (Bifidobacterium lactis W51, Levilactobacillus brevis W63, Lactobacillus acidophilus W22, Bifidobacterium bifidum W23 e Lactococcus lactis W58) [15, 16], amido di mais, maltodestrine, proteine vegetali, tutto in una compressa di idrossipropilcellulosa. Il nome commerciale di questa miscela probiotica è Sanprobi® Active & Sport (Szczecin, Polonia). Il conteggio totale dei batteri era di $2,5 \times 10^9$ unità formanti colonie (CFU) per grammo (≥ 500 milioni di CFU in una capsula). Capsule dall'aspetto identico contenenti solo 40 mg di maltodestrine e proteine vegetali sono state utilizzate come placebo. Il prodotto è stato testato mediante i metodi della farmacopea, cioè tecniche di coltura. Il numero di CFU è stato garantito fino alla fine della shelf life. Ogni confezione di probiotici o placebo conteneva 40 capsule. Tutti gli atleti hanno ricevuto tre confezioni o di probiotici o di placebo, a seconda dell'assegnazione casuale. Ai partecipanti sono state inoltre fornite istruzioni specifiche su come assumere il prodotto e sono stati informati di dover assumere 4 capsule al giorno durante i pasti (dose giornaliera totale di 2×10^9 CFU; 2 capsule al mattino e due capsule alla sera). Le capsule sono state conservate a temperatura ambiente in un luogo asciutto prima della distribuzione e i soggetti sono stati istruiti a mantenere queste condizioni. Gli atleti non hanno riportato eventi avversi e hanno aderito all'assunzione degli integratori durante l'intervento. Oltre ai probiotici, gli atleti dei gruppi Vit D e PRO+ VitD hanno ricevuto 5 ml di integratore di vitamina D3 (in olio) contenente 0,5 mg di colecalciferolo per 1 ml, che comprende 20.000 UI, e Miglyol 812 come eccipiente. Gli atleti sono stati istruiti a integrare 3-4 gocce (3000-4000 UI) di vitamina D3 al giorno durante le 4 settimane del periodo di intervento, insieme alla dose mattutina di probiotici.

Protocollo di studio

I partecipanti hanno riferito due volte al laboratorio: prima dell'integrazione (PRE) alla visita iniziale e dopo quattro settimane dall'inizio dell'integrazione (POST) alla visita di follow-up. Tutte le valutazioni PRE sono state eseguite durante la visita e la valutazione POST è stata eseguita un giorno dopo la fine del periodo di integrazione. Durante entrambe le visite, gli atleti hanno completato una valutazione della composizione corporea, sono stati intervistati sulle loro abitudini alimentari e hanno completato un esercizio a intervalli anaerobici, un protocollo basato sul test Triple Wingate. Inoltre, sono stati prelevati campioni di sangue prima e dopo il test Triple Wingate per valutare parametri selezionati dello stato di danno muscolare e le concentrazioni di 25(OH)D3 e LA. Tutte le valutazioni e le analisi sono specificate in una sezione separata. I partecipanti sono stati istruiti a continuare le loro abitudini alimentari e il programma di allenamento. Gli atleti erano obbligati a eseguire almeno 5 allenamenti specifici di MMA a settimana per mantenere il carattere competitivo dello studio. Per valutare la qualità degli allenamenti, ai partecipanti

è stato chiesto di annotare la durata di tutte le sessioni di allenamento e di valutare la sensazione soggettiva di affaticamento in un diario di allenamento. Il diario di allenamento è stato distribuito agli atleti durante la visita iniziale.

Informazioni di base

Le informazioni di base sono state raccolte durante la visita iniziale. Agli atleti è stato chiesto del loro stato di salute, in particolare infortuni passati e presenti, malattie, procedure mediche e qualsiasi problema mentale o fisico, nonché l'uso di farmaci.

Valutazione della dieta e dell'allenamento

Per valutare se eventuali cambiamenti delle abitudini, come la dieta o i programmi di allenamento, potessero influenzare il microbioma intestinale e le prestazioni sportive tra gli atleti, è stato reclutato un nutrizionista sportivo qualificato. Tutti gli atleti erano obbligati a svolgere almeno 5 allenamenti tipici di MMA a settimana, con una durata media di 60-90 minuti. Il tipico allenamento MMA è un mix di combattimento in piedi, grappling, combattimento a terra e contiene elementi di forza e resistenza. Abbiamo anche valutato l'attuale assunzione di integratori con un sondaggio appositamente preparato. Tutte le interviste sono state effettuate PRE e POST intervento.

Composizione corporea

La composizione corporea è stata valutata alla stessa ora del giorno nelle stesse condizioni nutrizionali prima e dopo l'intervento. Abbiamo utilizzato l'analisi di bioimpedenziometria (BIA) mediante un analizzatore Tanita MC 720 per valutare la massa corporea magra (LBM), la massa grassa totale (TFM) e la massa corporea (BM). La BIA si ottiene dalla misura di due parametri: resistenza e reattanza basati sul flusso di elettricità attraverso il corpo ^[21]. Prima di ogni valutazione, l'età, l'altezza e il sesso venivano inseriti manualmente e i piedi e le mani dei partecipanti venivano puliti con fazzoletti forniti da Tanita. Durante la valutazione, era necessario che i partecipanti rimanessero completamente eretti sugli elettrodi di misurazione, tenessero gli elettrodi delle mani e si astenessero dal muoversi, parlare o toccare i lati del corpo.

Valutazioni e raccolta dati

Prestazioni anaerobiche: sessione di esercizi a intervalli:

Le valutazioni delle prestazioni anaerobiche sono state valutate in due momenti: all'inizio e al follow-up, al mattino, dopo una colazione equilibrata (80 g di panino di grano, 60 g di marmellata di fragole e una banana). Le sessioni di test sono state eseguite su un cicloergometro (884E Sprint Bike, Monark, Svezia). Prima dell'esame, la sella è stata regolata individualmente. Il protocollo di esercizio è iniziato con un riscaldamento di 5 minuti a 100 watt, inclusi due sprint della durata di 3-5 secondi nell'ultimo minuto del riscaldamento. Successivamente, ai soggetti è stato concesso un riposo di 3 minuti per la preparazione finale e quindi hanno immediatamente iniziato l'esercizio a intervalli,

inclusi tre sprint sovramassimali "a tutto campo" di 30 secondi - SIE (Wingate anaerobic test based - WANT). I periodi di riposo tra le sessioni di ciclismo sono stati fissati a 2 min. Agli atleti è stato chiesto di accelerare fino alla velocità massima di pedalata e sono stati incoraggiati verbalmente a mantenere questa pedalata.

Raccolta e analisi del sangue venoso:

I campioni di sangue sono stati raccolti durante i test sportivi in due momenti, ovvero PRE e POST intervento, nelle stesse condizioni. Un'infermiera ha prelevato campioni di sangue dalla vena del braccio in apposite provette standardizzate contenenti K2EDTA e un attivatore della coagulazione. Ogni volta sono stati raccolti fino a 4 ml di sangue. I campioni di sangue sono stati prelevati prima dell'inizio dei test da sforzo e 30 minuti e 24 ore dopo la fine del test. Il sangue è stato centrifugato a 3000×g per separare siero e plasma. Il materiale è stato posto in provette per microcentrifuga etichettate separatamente e conservato a -80°C per ulteriori analisi. I campioni di sangue venoso raccolti sono stati poi sottoposti ad analisi biochimiche. Per valutare il livello di danno muscolare, abbiamo determinato l'attività della creatina chinasi (CK) nel plasma attraverso il metodo cinetico a 37°C, utilizzando un test RANDOX CK-NAC (n. CK522, Randox Laboratories Ltd., Crumlin, Regno Unito) secondo le "istruzioni del produttore" con uno spettrofotometro (CE9200, Cecil instruments Ltd., Cambridge, UK). L'attività CK è espressa come U/l. La concentrazione sierica di 25(OH)D3 è stata valutata utilizzando il metodo della diluizione isotopica mediante cromatografia liquida accoppiata con spettrometria di massa tandem (LC-MS/MS). Tutti i campioni sono stati preparati e analizzati utilizzando il sistema HPLC analitico Eksigent ExionLC con un autocampionatore CTC PAL (Zwinger, Svizzera) abbinato a un sistema QTRAP®4500 MS/MS (Sciex, Framingham, MA, USA).

Raccolta e analisi del sangue capillare:

I campioni di sangue capillare (100 µl) sono stati prelevati da un ricercatore qualificato ogni volta che venivano eseguiti i test sportivi (PRE e POST) e raccolti in un microcapillare graduato sterile. Le misurazioni sono state eseguite su sangue capillare del polpastrello. Il sangue è stato quindi trasferito in una provetta per microcentrifuga contenente 500 µl 0,6 mol di acido perclorico e conservato a -20°C fino alla sua analisi. Il sangue capillare è stato raccolto prima del test da sforzo e in 5 momenti precisi entro un'ora prima e dopo la fine del test anaerobico (TB, prima; T3, 2-3 min dopo l'esercizio; T15, 15 min dopo l'esercizio; T30, 30 min dopo l'esercizio e T60, 60 min dopo il test). Per determinare la concentrazione di LA, i campioni di sangue capillare raccolti sono stati sottoposti ad analisi biochimica utilizzando il metodo cinetico colorimetrico basato sulla velocità di reazione. Abbiamo utilizzato un analizzatore di lattato (linea Biosen C, 173 5214 09 0045, EKF Diagnostic, Germania).

Analisi statistica:

Tutti i dati grezzi sono stati analizzati utilizzando il programma statistico Statistica

13.3 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA). Abbiamo incluso solo i dati dei soggetti che hanno completato tutti i periodi di integrazione e tutte le procedure dello studio (n=23). I dati sono stati precedentemente testati per valutare la normalità della distribuzione utilizzando il test W di Shapiro-Wilk. L'analisi statistica è stata eseguita utilizzando il test ANOVA a due vie. Per determinare la significatività statistica, sono stati eseguiti test post hoc per differenze specifiche utilizzando il test della minima differenza significativa (LSD). La significatività statistica è stata fissata a $p < 0,05$.

RISULTATI

Sono stati arruolati nello studio un totale di 25 atleti di MMA, di cui 23 hanno completato il protocollo. Due partecipanti al gruppo PRO+ VitD dello studio hanno dovuto abbandonare a causa di circostanze impreviste, una a causa di una partenza imprevista e l'altra a causa di un infortunio. Non ci sono state differenze antropometriche statisticamente significative tra i gruppi alla visita iniziale di reclutamento. L'età media era di $26,18 \pm 4,05$ anni nel gruppo Vit D e di $24,67 \pm 6,46$ anni nel gruppo PRO+ VitD. Il peso corporeo medio era di $80,23 \pm 9,83$ kg e $81,08 \pm 12$ kg; la massa magra era di $71,94 \pm 8,19$ kg e $73,61 \pm 9,33$ kg; e la massa grassa era di $8,29 \pm 2,78$ kg e $7,48 \pm 3,85$ kg rispettivamente nel gruppo Vit D e nel gruppo PRO+ VitD. Gli atleti di entrambi i gruppi soddisfano i criteri relativi all'allenamento. Il tempo medio di allenamento settimanale è stato di $11,4 \pm 3,1$ ore nel gruppo Vit D e di $11,8 \pm 3,4$ ore nel gruppo PRO+ VitD.

Effetti dell'integrazione sulle prestazioni anaerobiche

Le prestazioni anaerobiche sono state valutate applicando sprint sopramassimali (SIE; un triplo WAnT). I dati ottenuti hanno indicato che i valori post-integrazione del lavoro totale (Wtot) e della potenza media (MP) durante i primi 30 s (WanT) erano significativamente differenti. Abbiamo riscontrato un aumento di Wtot ($p < 0,05$) e MP ($p < 0,05$) nel gruppo PRO+ VitD dopo l'integrazione. Non ci sono state differenze statisticamente significative nel gruppo Vit D ($p > 0,05$). Gli individui nel gruppo Vit D hanno mantenuto le loro prestazioni tra pre e post-integrazione. In questo gruppo non sono state osservate correlazioni positive o negative. Non abbiamo riscontrato differenze tra i gruppi nell'indice di fatica (FI), nella potenza massima (Pmax) e nel tempo per Pmax. Non ci sono state differenze significative tra i gruppi.

Effetti dell'integrazione su LA

La concentrazione di LA nel sangue in entrambi i gruppi prima dell'integrazione, dell'esercizio fisico e dopo SIE non era significativamente diversa tra i gruppi. La concentrazione di LA prima dell'esercizio (TB) era $1,82 \pm 0,87$ mmol/L (Vit D) e $1,77 \pm 0,82$ mmol/L (PRO+ VitD) e aumentava a 3 min (T3; Vit D $16,74 \pm 3,50$ mmol/L e PRO+ VitD $15,71 \pm 3,49$ mmol/L dopo SIE e poi diminuita a valori di $5,54 \pm 1,36$ mmol/L e $4,73 \pm 1,63$ mmol/L entro 60 min (T60) nei gruppi Vit D e PRO+ VitD, rispettivamente (**Fig. 2A**) Dopo quattro settimane di integrazione

abbiamo trovato una concentrazione significativamente più alta di LA nel gruppo Vit D (5.88 ± 1.55 mmol/L) rispetto al gruppo PRO + VitD (4.73 ± 1.63 mmol/L) 60 min (T60) dopo SIE (* $p < 0,05$; **Fig. 2B**). Inoltre, abbiamo anche osservato che LA è stata utilizzata in modo più efficace nel gruppo PRO + VitD ($73,6 \pm 6,9\%$) rispetto al gruppo Vit D ($65,1 \pm 9,9\%$) dalla concentrazione più alta da T3 a T60 dopo SIE. Il tasso di ossidazione LA è mostrato come percentuale del rapporto T60/T3 (* $p < 0,05$; **Fig. 2C**).

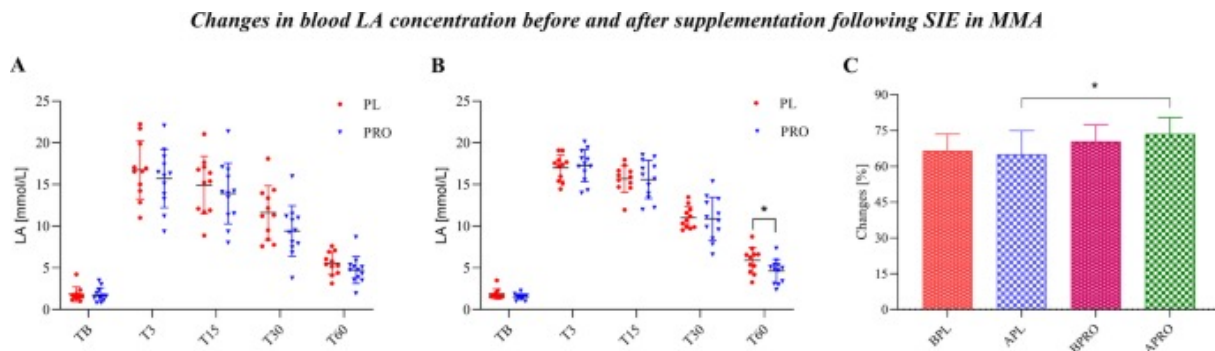


Figura 2:

A: La concentrazione di LA prima e in 4 momenti ben stabiliti entro un'ora dopo la fine del SIE in entrambi i gruppi prima dell'integrazione (PRE). **B:** La concentrazione di LA dopo 4 settimane di integrazione (POST) era più bassa nel gruppo Vit D vs. PRO + VitD 60 min dopo SIE (* $p < 0,05$; LSD). **C:** Il rapporto di utilizzo LA (T60/T3) espresso in percentuale (* $p < 0,05$; LSD)

Effetti della supplementazione sulla concentrazione sierica di 25(OH)D3

Il valore medio di tutti gli atleti MMA per quanto riguarda la concentrazione sierica di 25(OH)D3 prima del periodo di integrazione era $27,22 \pm 11,23$ ng/mL, e dopo quattro settimane di integrazione con una quantità media di 3500 UI/die di vitamina D3, la concentrazione di 25(OH)D3 era di $28,35 \pm 11,03$ ng/mL (* $p < 0,05$; **Fig. 3A**). Con nostra sorpresa, nonostante l'integrazione di vitamina D3 alla dose di 3.500 UI/die, la concentrazione sierica di 25(OH)D3 era ancora al di sotto del minimo (30 ng/mL). D'altra parte, in entrambi i gruppi di pre-integrazione, la concentrazione sierica di 25(OH)D3 era significativamente elevata 30 minuti dopo SIE (* $p < 0,05$ BT0 vs. BT30; **Fig. 3B**). Inoltre, dopo 4 settimane di integrazione e 30 minuti dopo la SIE, si è verificato un aumento ancora maggiore di 25(OH)D3 nel siero (** $p < 0,001$ AT0 vs. AT30; **Fig. 3B**). Inoltre, il rilascio di 25(OH)D3 nel flusso sanguigno, 30 min dopo SIE dopo 4 settimane di integrazione, è stato più elevato nel gruppo Vit D (* $p < 0,001$; ASPLT0 vs. ASPLT30; 6,4 ng/mL) così come nel gruppo PRO + VitD (** $p < 0,01$; ASPROT0 vs. ASPROT30; 5,1 ng/mL). Abbiamo notato una tendenza verso un rilascio più elevato di 25(OH)D3 dopo 30 minuti di SIE dopo l'integrazione nel gruppo Vit D rispetto al gruppo PRO + VitD; tuttavia, le differenze non hanno raggiunto la significatività statistica (**Fig. 3C**).

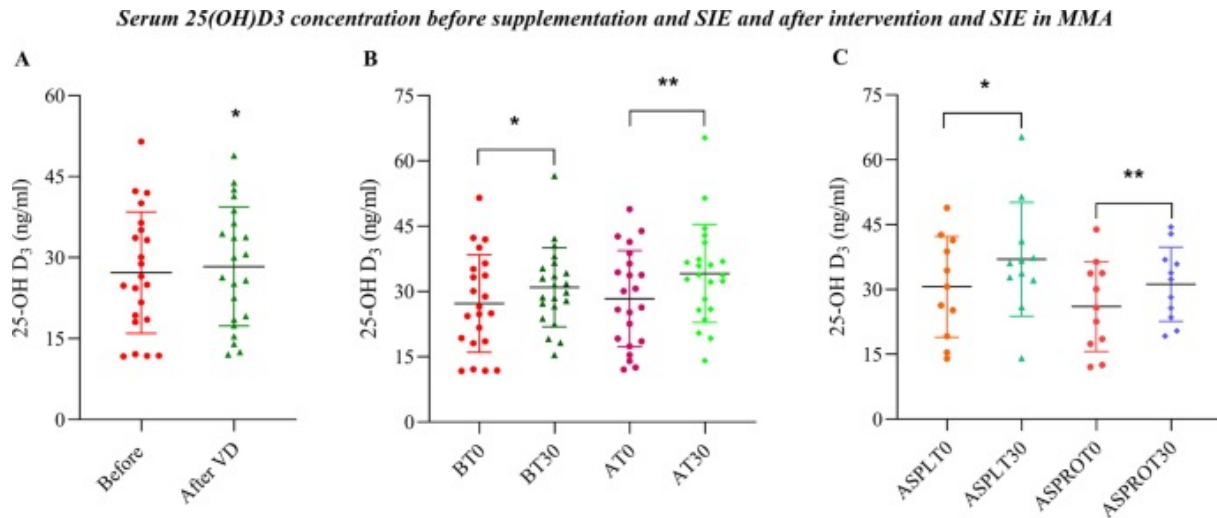


Figura 3 A: La concentrazione di 25(OH)D₃ prima (PRE) e dopo 4 settimane (POST) di integrazione di vitamina D₃ (* $p < 0.05$; LSD). **B:** Concentrazione sierica di 25(OH)D₃ in MMA a BT0 (PRE; prima dell'integrazione e dell'esercizio) rispetto a BT30 (prima dell'integrazione dopo 30 min di SIE) e AT0 (POST; dopo l'intervento prima dell'esercizio) rispetto a AT30 (dopo l'integrazione 30 min dopo SIE). I dati sono espressi come ng/mL (* $p < 0.05$; LSD). **C:** La concentrazione di 25(OH)D₃ dopo 4 settimane di integrazione combinata di vitamina D₃ e probiotici (* $p < 0.05$; LSD) prima e 30 min dopo SIE; ASPLT0-dopo l'integrazione di vitamina D₃ prima di SIE; ASPLT30-dopo l'integrazione di vitamina D₃ dopo 30 min SIE; ASPROT0-dopo l'integrazione combinata di vitamina D₃ con probiotici prima di SIE, ASPROT30-dopo l'integrazione combinata di vitamina D₃ con probiotici dopo 30 min SIE.

Effetti dell'integrazione sull'attività CK

Abbiamo osservato che i livelli plasmatici di CK erano leggermente più alti 24 ore dopo SIE prima del periodo di integrazione (PRE) e dopo l'integrazione (POST) rispetto ai livelli prima dell'esercizio in entrambi i gruppi. Tuttavia, non abbiamo notato differenze statisticamente significative tra i gruppi Vit D e PRO + VitD dopo il periodo di integrazione. Inoltre, i cambiamenti nell'attività CK dopo l'integrazione non erano significativi prima di SIE nei gruppi Vit D e PRO + VitD o 24 ore dopo SIE in entrambi i gruppi.

DISCUSSIONE

Secondo le conoscenze dell'autore, questo è il primo studio ad indagare su gli effetti di un mix di fattori probiotici combinato con vitamina D3 somministrato agli atleti di arti marziali miste (MMA). L'attuale studio ha esaminato l'influenza di 4 settimane di integrazione di probiotici e vitamina D3 sulle prestazioni anaerobiche, sull'utilizzo di LA e sul danno muscolare. Gli atleti hanno tollerato bene entrambi gli integratori e non hanno avuto effetti collaterali. Abbiamo scoperto che un singolo periodo di esercizio ad alta intensità aumentava la concentrazione sierica di 25(OH)D3 in entrambi i gruppi, sia prima che dopo l'integrazione, il che è in accordo con i dati recentemente pubblicati^[26,27]. Inoltre, la vitamina D3 combinata con l'integrazione del fattore probiotico multiceppo ha anche mostrato un miglioramento nell'utilizzo di LA dopo SIE (tra 15 e 30 minuti) rispetto al gruppo VIT D. Ciò può supportare l'ipotesi che i cambiamenti nel microbioma intestinale abbiano causato l'arricchimento di specie in grado di metabolizzare LA e quindi migliorato il suo utilizzo rendendolo più rapido^[28]. Gli atleti MMA che hanno assunto vitamina D3 e probiotici hanno ottenuto risultati migliori nei test delle prestazioni anaerobiche. Abbiamo riscontrato un effetto benefico sulla potenza media e sul lavoro totale durante i primi 30 s di SIE.

Studi recenti hanno stabilito il ruolo cruciale della composizione del microbiota intestinale sulla funzione immunitaria^[29,30,31] e sulla salute del cervello^[32,33], che possono essere fattori indiretti che influenzano la prestazione durante l'allenamento. Tuttavia, la potenziale connessione benefica tra la composizione del microbiota intestinale, la funzione muscolare e le prestazioni sportive non è ancora stata chiaramente compresa. Nuove prove hanno confermato l'importanza dell'interazione tra l'omeostasi intestinale, i processi infiammatori e l'adattamento del muscolo scheletrico all'allenamento, che abbiamo dimostrato nella nostra precedente revisione^[7]. Gli esercizi a intervalli a breve termine e ad alta intensità sono essenziali per il programma di allenamento di un atleta MMA. È noto che la risposta metabolica a questo tipo di sforzo fisico porta all'accumulo di LA e idrogeno nei muscoli scheletrici e nella circolazione sanguigna, che di conseguenza possono compromettere le prestazioni fisiche^[34]. È stato suggerito che l'accumulo di LA intramuscolare e la diminuzione del pH associata tra le cellule muscolari a causa dell'insorgere della fatica durante l'esercizio esercitino un effetto dannoso sulla produzione di energia ottenuta con la glicolisi e sul rilascio di potassio^[35]. Pertanto, la capacità degli atleti di eliminare o metabolizzare LA sembra essere un fattore cruciale che influenza le prestazioni sportive. Nel nostro studio, abbiamo osservato che 4 settimane di integrazione probiotica hanno contribuito a un tasso più elevato di utilizzo di LA dopo SIE rispetto al valore basale. Al contrario, non si sono verificati cambiamenti nel gruppo Vit D. Nel gruppo PRO+ VitD, la concentrazione di LA nel sangue è diminuita significativamente entro 1 ora dopo SIE al valore ottenuto 3 minuti dopo l'esercizio. Il tasso di utilizzo al valore basale era del 66,5% nel gruppo Vit D e del 70% nel gruppo PRO+ VitD. Dopo il periodo di integrazione, il tasso di utilizzo era di circa il 66,5% nel gruppo Vit D e del 74% nel gruppo PRO+ VitD. Cambiamenti significativi sono stati osservati 15 minuti dopo il SIE. Il LA prodotto durante l'esercizio ad alta intensità proviene principalmente dalla fibra muscolare a contrazione rapida, che

consuma grandi quantità di glucosio per generare energia, ed è principalmente rimosso dalla fibra muscolare a contrazione lenta. Secondo la teoria di Brooks, il miglioramento dell'utilizzo di LA può essere causato dal potenziamento dei complessi processi di clearance che coinvolgono enzimi e trasportatori specifici del lattato. Inoltre, LA può essere utilizzato come fonte di energia additiva e come substrato della gluconeogenesi che migliora i processi glicolitici^[36].

Alla luce delle attuali conoscenze, la composizione del microbioma intestinale degli atleti differisce da quella delle persone inattive, principalmente per la maggiore abbondanza di specie batteriche, la biodiversità e una quota più elevata di alcune specie batteriche come Veillonella, Bacteroides, Akkermansia, Methano brevi batteri e Prevotella^[37, 38]. Sheman et al. ha indicato, che l'abbondanza relativa dei ceppi di Veillonella aumenta nei corridoi di lunga distanza dopo una maratona. Inoltre, un altro gruppo ha dimostrato che ogni gene nella principale via metabolica che metabolizza LA in propionato era più abbondante dopo l'esercizio che prima dell'esercizio e che LA può superare la barriera epiteliale del lume intestinale^[28]. Gli stessi ricercatori hanno isolato Veillonella atypica dai campioni di feci dei maratoneti e li hanno trapiantati nell'intestino di topo. Di conseguenza, c'è stato un aumento significativo del tempo di corsa su un tapis roulant fino all'esaurimento^[28]. Secondo questi dati, è molto probabile che il LA indotto dall'esercizio fisico venga rilasciato dalle cellule muscolari nel flusso sanguigno e quindi attraversi la barriera epiteliale, dove viene metabolizzato in propionato dalla Veillonella atypica e da altre specie batteriche che lo utilizzano come unica fonte di carbonio. L'AL viene convertito in propionato attraverso la via metilmalonil-CoA^[39] e la lattato deidrogenasi (LDH), un enzima cruciale coinvolto nel metabolismo dell'AL, è presente in un gruppo di batteri filogeneticamente diverso^[28]. Presi insieme, alcuni batteri possono migliorare le prestazioni fisiche attraverso un processo enzimatico codificato da microbi, che migliora l'utilizzo di LA e fornisce energia extra e substrati per la gluconeogenesi. Nel nostro studio, abbiamo osservato un migliore utilizzo di LA dopo 4 settimane di integrazione di un fattore probiotico multiceppo, comprese alcune specie che lo hanno metabolizzato. Pertanto, è molto probabile che i cambiamenti nel microbioma intestinale abbiano causato l'arricchimento di specie in grado di metabolizzare LA e quindi migliorato il suo utilizzo. Un effetto simile è stato osservato nello studio di Huang e colleghi, in cui 6 settimane di integrazione di Lactiplantibacillus plantarum TWK 10 hanno migliorato significativamente l'accumulo di LA sia durante l'esercizio che dopo 90 min nel periodo di recupero in adulti sani. I ricercatori hanno scoperto che l'effetto benefico dell'integrazione di Lactiplantibacillus plantarum TWK 10 sull'utilizzo di LA era maggiore durante la fase di recupero^[40]. È interessante notare che uno studio precedente ha indicato che i topi a cui veniva somministrato lo stesso ceppo batterico hanno mostrato cambiamenti positivi nella composizione del microbioma intestinale, influenzando in modo significativo la presenza di Bacteroidetes e Firmicutes^[40]. Inoltre, l'assunzione di Lactiplantibacillus plantarum TWK 10 ha comportato una diminuzione dell'accumulo di LA dopo una prova di nuoto di 15 minuti^[41]. Un altro studio su modello animale ha dimostrato che una mix di probiotici multiceppo ha ridotto

significativamente la concentrazione di LA post-esercizio nei cavalli sottoposti ad attività atletica. Questi risultati suggeriscono anche che i probiotici possono promuovere le prestazioni fisiche migliorando la produzione di acidi grassi a catena corta (SCFA), che vengono poi utilizzati dai muscoli come fonte di energia al posto dei carboidrati [42]. I dati scientifici confermano che il genere *Lactobacillus* può alterare il pH dell'intestino posteriore e indurre la proliferazione di batteri che utilizzano LA come ad esempio *Veillonell* asp. Pertanto, la fonte del consumo di energia viene modificata durante l'esercizio [42]. I nostri dati sono in linea con Lighi e collaboratori. Tuttavia, contrariamente a uno studio condotto su atleti di triathlon, 8 settimane di integrazione con *Lactiplantibacillus plantarum* PS 128 non hanno influito sulla concentrazione di LA, sebbene abbiano influito positivamente sulle prestazioni fisiche e sui marcatori infiammatori dopo l'esercizio [43]. Secondo le attuali conoscenze, sembra che le strategie mirate a migliorare il microbiota intestinale possano di conseguenza migliorare la performance sportiva e la capacità di allenamento. Nel nostro studio, 4 settimane di integrazione probiotica multiceppo hanno migliorato le prestazioni anaerobiche. Abbiamo riscontrato un miglioramento della potenza media e della performance totale durante il primo periodo di SIE nel gruppo PRO+ VitD, mentre non sono stati riscontrati cambiamenti significativi nel gruppo Vit D. L'ingestione di probiotici ha impedito la diminuzione della potenza nel suo picco ma non si sono verificati cambiamenti nella forza o nel salto verticale. Gli autori hanno dimostrato che l'integrazione di probiotici ha ridotto significativamente i livelli di CK post-esercizio [14]. È interessante notare che nel nostro studio non è stato osservato alcun danno muscolare misurato da CK. Sebbene abbiamo osservato un aumento della concentrazione plasmatica di CK 24 ore dopo SIE, non era abbastanza alto da indicare un danno muscolare. Inoltre, non abbiamo rilevato alcuna differenza nei livelli plasmatici di CK tra i gruppi. La mancanza di cambiamenti significativi nei livelli di CK può essere dovuta alle grandi deviazioni standard in entrambi i gruppi. È risaputo che i livelli di CK sono elevati dopo un allenamento eccessivo e possono raggiungere migliaia di unità per litro. Recentemente, i dati del nostro laboratorio hanno riportato che un deficit sierico di vitamina D3 è associato allo stress ossidativo, che influisce negativamente sulla funzione mitocondriale e sul metabolismo del muscolo scheletrico [19]. Inoltre, la scoperta del recettore della vitamina D (VDR) nel muscolo scheletrico ha fornito prove che mostrano gli effetti benefici del colecalciferolo sul corretto metabolismo muscolare e il suo ruolo nelle vie di segnalazione sembra in gran parte sovrapporsi alla potenziale via di segnalazione dell'asse intestino-muscolo. Pertanto, abbiamo mirato a rilevare se la co-integrazione di vitamina D3 e probiotici è favorevole alle prestazioni sportive e se questa strategia è più efficace della sola integrazione di vitamina D3. Nel presente studio, abbiamo riscontrato un aumento significativo della concentrazione sierica di 25(OH)D3 30 minuti dopo l'intero SIE in entrambi i gruppi rispetto al valore iniziale. I nostri dati sono coerenti con uno studio di Dzik et al., che mostra un aumento significativo delle concentrazioni sieriche di 25(OH)D3 dopo un WANt acuto di 30 s in ragazzi giovani e allenati. Inoltre, questo aumento è correlato positivamente con la massa magra (FFM), suggerendo il rilascio di 25(OH)D3 dal tessuto muscolare [26]. Pertanto, è altamente

probabile che i muscoli scheletrici possano immagazzinare e rilasciare 25(OH)D3. I nostri dati suggeriscono che l'esercizio fisico può innescare il rilascio di alcuni metaboliti della vitamina D3 nella circolazione sanguigna. Nel nostro studio, abbiamo osservato un leggero aumento di 25(OH)D3 nel siero del sangue dopo 4 settimane di integrazione. Gli atleti MMA hanno raggiunto il valore minimo raccomandato, ma i loro livelli non erano ancora ottimali. Sugeriamo che le dosi di vitamina D3 fossero troppo basse per indurre effetti fisiologici. Pertanto, non sono stati osservati cambiamenti spettacolari negli atleti MMA. È stato anche dimostrato che sette mesi di integrazione di vitamina D3 (1200 UI al giorno) non hanno avuto alcun effetto sulle concentrazioni ematiche di calcio, paratormone, cortisolo e testosterone, nonché sulla forza di presa della mano tra i soldati estoni [49]. Allo stesso modo, Hew-Bulter et al., che hanno eseguito un'integrazione di 12 settimane di 4000 UI di vitamina D3 nei giocatori di basket, non hanno riscontrato alcun effetto sulla potenza di picco [50]. Per riassumere, le dosi raccomandate di vitamina D3 per adulti sani e attivi sono probabilmente troppo basse per una popolazione di atleti d'élite. Inoltre, a causa del potenziale elevato utilizzo muscolare di vitamina D3, gli atleti sembrano essere a rischio di carenza di vitamina D3. Sembra che l'integrazione di vitamina D3 combinata con i probiotici possa potenzialmente comportare un aumento delle concentrazioni sieriche di vitamina D3. Il potenziale meccanismo è associato alla somiglianza dell'assorbimento di lipidi e vitamina D3 nell'intestino. Sembra che alcuni microrganismi, attraverso una migliore emulsione intestinale dei lipidi, possano migliorare l'assorbimento intestinale della vitamina D3. Questa ipotesi è stata confermata da Castagliuolo et al., che hanno integrato i topi con *Lactocaseibacillus paracasei* DG e colecalciferolo a base di olio. Gli autori hanno osservato che l'integrazione portava al mantenimento di livelli adeguati di vitamina D3 nel sangue [51]. Questo studio preclinico suggerisce che la somministrazione concomitante di probiotici e vitamina D3 potrebbe essere più efficace nella prevenzione e nel trattamento dei deficit di vitamina D3.

LIMITI DELLO STUDIO

Un possibile limite dello studio era la mancanza di standardizzazione della dieta; anche se ai partecipanti è stato chiesto di non modificare le loro precedenti abitudini alimentari (per evitare l'influenza della dieta sul microbioma intestinale), i partecipanti hanno anche dichiarato di non assumere farmaci, non bere alcolici e non fumare durante lo studio e da almeno 1 mese prima dello studio. Non c'era nemmeno un vero gruppo di controllo in questo studio. È anche possibile che il protocollo di esercizio proposto non fosse sufficiente per danneggiare il tessuto muscolare scheletrico negli atleti di sport da combattimento. Tuttavia, la modalità SIE ha prodotto alte concentrazioni di LA e un alto punteggio di fatica auto-riferito che riflette le condizioni di combattimento sportivo. Infine, in media, l'integrazione di 3500 UI/die di vitamina D3 sembrava essere troppo bassa per gli atleti professionisti di MMA.

CONCLUSIONI

Abbiamo scoperto che l'esercizio aumentava le concentrazioni sieriche di 25(OH)D3 in entrambi i gruppi prima e dopo l'integrazione. Inoltre, l'assunzione combinata di vitamina D3 e di una mix di probiotici contenente diversi ceppi ha mostrato un miglioramento nell'utilizzo di LA dopo SIE. Questa scoperta può supportare l'idea che i cambiamenti nel microbioma intestinale abbiano portato a un arricchimento di specie in grado di metabolizzare LA, consentendo un utilizzo più rapido del lattato. Gli atleti MMA integrati con vitamina D3 e probiotici combinati hanno mostrato un miglioramento del lavoro totale e della potenza media nel test anaerobico. Tuttavia, ulteriori studi dovrebbero essere condotti con dosi più elevate di vitamina D3, analisi della composizione del microbioma intestinale, determinazione della proteina legante la vitamina D nel siero e diversi tipi e intensità di esercizio per comprendere meglio i meccanismi coinvolti nell'adattamento fisiologico.

Disponibilità di dati e materiali

Il complesso di dati ottenuti e/o analizzati durante lo studio in corso sono disponibili presso l'autore e vengono forniti su richiesta.

Abbreviazioni

MMA: Arti marziali miste

PCr: Fosfocreatina

LA: Lattato

PDH: Piruvato deidrogenasi

FADH2: Forma ridotta di Flavin Adenine Dinucleotide

NADH: Forma ridotta di Nicotinamide Adenina Dinucleotide

mTOR: Target della rapamicina nei mammiferi

NFκB: Fattore nucleare kappa B

FOXO: Forkhead box O proteine

FAO: L'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura

OMS: L'Organizzazione Mondiale della Sanità

VDR: Recettore della vitamina D

25(OH)D3 : 25-Idrossi- colecalciferolo

PRO + VitD: Fattore probiotico più vitamina D3

Vite D: Gruppo della vitamina D3

PRE: Prima dell'intervento

CFU: Unità formanti colonie

LBM: Massa corporea magra

TFM: Massa grassa totale

MB: Massa corporea

SI: Sprint sopramassimali basati su WANT

T3: 2-3 minuti dopo l'esercizio

T15: 15 minuti dopo l'esercizio

T30: 30 minuti dopo l'esercizio

T60: 60 minuti dopo l'esercizio

FFM: Massa magra

W tot : Lavoro totale

Pmax: Potenza massima

P tempo massimo: Tempo per ottenere la massima potenza

FI: Indice di fatica

BT0: Prima dell'integrazione, prima dell'esercizio

BT30: Prima dell'integrazione, 30 minuti dopo l'esercizio

AT0: Dopo l'integrazione, prima dell'esercizio

AT30: Dopo l'integrazione, 30 minuti dopo l'esercizio

CK: Creatina chinasi

LDH: Lattato deidrogenasi

SCFA: Acidi grassi a catena corta

Bibliografia

https://sportsmedicine-open.springeropen.com/articles/10.1186/s40798-023-00576-6?mc_cid=73a7bd6f82&mc_cid=60355b468a#:~:text=MMA%20athletes%20who%20were%20supplemented,first%2030%20of%20exercise