Università degli Studi di Roma "Foro Italico"

University of Rome "Foro Italico"

Corso di Dottorato / PhD Programme:	Dottorato di Ricerca in Scienze del Movimento Umano e dello Sport PhD Programme in Human Movement and Sports Sciences
Ciclo / Cycle:	XXXVIII (38th)
Anno accademico di iscrizione / Academic year of enrolment:	2022/2023
Candidata / Candidate:	Tehreema Ghaffar

Titolo della tesi / Thesis title:

Human Microbiota in Contemplative Martial Arts: Gut Microbial and Oral-Salivary Profiles Across Tai Chi and Aikido Practitioners

ABSTRACT — Italiano

Questo studio indaga il ruolo del microbiota nello sport e nella salute, con particolare attenzione al Tai Chi e all'Aikido come pratiche di movimento meditativo. Lo studio affronta una lacuna importante nella ricerca esercizio-microbioma, dove la maggior parte delle evidenze disponibili si è concentrata su popolazioni atletiche d'élite o ad alta intensità, mentre le forme moderate e meditative di movimento, incluso il movimento combinato con la meditazione, rimangono poco esplorate. Integrando revisioni sistematiche, meta-analisi, studi osservazionali trasversali sull'uomo, profilazione del microbiota orale, valutazione di biomarcatori salivari e analisi metagenomiche genome-resolved, questa tesi esamina in che modo l'intensità dell'esercizio, la profondità meditativa, i biomarcatori salivari e la variabilità biologica correlata al sesso contribuiscano ai pattern microbici fecali e orali associati all'attività fisica e alla salute.

Le revisioni sistematiche e la meta-analisi dimostrano che l'esercizio fisico è un modulatore rilevante dell'ecologia microbica intestinale, con l'intensità dell'allenamento che emerge come determinante principale dell'organizzazione microbica. La sintesi delle evidenze indica che l'attività fisica ad alta intensità è associata a cambiamenti più ampi nella composizione del microbiota intestinale, incluse variazioni nel rapporto Firmicutes/Bacteroidetes (attualmente riclassificato come Bacillota/Bacteroidata) e nella diversità delle comunità microbiche. Allo stesso tempo, la revisione narrativa sul digiuno intermittente nel Ramadan evidenzia l'importanza del timing nutrizionale,

dell'idratazione, del sonno e del recupero nel modulare le risposte fisiologiche correlate all'esercizio, mentre la revisione sulle differenze del microbiota correlate al sesso mostra che il sesso contribuisce alla variabilità microbica in modo dipendente dal contesto piuttosto che come determinante isolato. Nel complesso, questi risultati supportano l'idea che la variazione microbica correlata all'esercizio debba essere interpretata all'interno di un quadro comportamentale e fisiologico più ampio.

Gli studi originali validano ed estendono queste osservazioni dimostrando che il movimento meditativo può influenzare la composizione microbica in modi non spiegabili dalla sola intensità dell'esercizio. Tra i praticanti di Aikido, la profondità meditativa era più fortemente associata alla variazione del microbiota intestinale rispetto al livello di pratica, con spostamenti compositivi che coinvolgevano generi quali Bacteroides, Faecalibacterium e Prevotella. Nella coorte combinata di Tai Chi e Aikido, il livello di meditazione e l'interazione tra tipo di sport e profondità meditativa mostravano associazioni più forti con la diversità beta che con la diversità alfa, indicando che il coinvolgimento meditativo può influenzare principalmente la ristrutturazione della comunità microbica. Tai Chi e Aikido presentavano inoltre firme microbiche distinte, suggerendo che diverse discipline contemplative possono modellare l'intestino in modi differenti. Lo studio sul microbiota orale ha ulteriormente esteso questi risultati al di là dell'intestino, mostrando pattern strutturati di diversità beta in base al livello di meditazione e di sport, mentre concentrazioni salivari inferiori di MMP-9 nel gruppo con livello sportivo più elevato suggerivano un possibile collegamento tra la pratica continuativa e una riduzione del tono infiammatorio. Parallelamente, l'analisi metagenomics ha confermato che i gruppi di atleti ad alta intensità presentavano una maggiore diversità microbica e una separazione ecologica più netta rispetto ai controlli sedentari.

La discussione mette in evidenza la duplice rilevanza di questi risultati per le scienze dello sport e della salute. Da un lato, l'intensità fisica appare un robusto driver della diversità microbica e della struttura delle comunità nelle popolazioni atletiche. Dall'altro, le pratiche di movimento basate sulla meditazione come il Tai Chi e l'Aikido suggeriscono che le dimensioni psicofisiologiche — tra cui la profondità meditativa, la regolazione dell'attenzione e la modulazione dello stress — possono anch'esse plasmare le interazioni ospite-microbo in modo significativo. Questa tesi amplia quindi l'ambito concettuale della ricerca sul microbioma al di là dello sport centrato sulla performance e pone le basi per futuri studi che integrino pratiche di movimento, biomarcatori dell'ospite e funzione microbica per promuovere la salute gastrointestinale, metabolica, orale e psicologica.

ABSTRACT — English

This study investigates the role of the microbiota in sport and health, with particular emphasis on Tai Chi and Aikido as meditative movement practices. The study addresses an important gap in exercise–microbiome research, where most available evidence has focused on elite or high-intensity athletic populations, while moderate and meditative forms of movement including movement combined with meditation, remain underexplored. By integrating systematic reviews, meta-analysis, cross-sectional human studies, oral microbiota profiling, salivary biomarker assessment, and genome-resolved metagenomic analysis, this thesis examines how exercise intensity, meditation depth, salivary biomarkers, and sex-related biological variability contribute to faecal and oral microbial patterns associated with physical activity and health.

The systematic reviews and meta-analysis demonstrate that exercise is a relevant modulator of gut microbial ecology, with training intensity emerging as a major determinant of microbial organization. The evidence synthesis indicates that higher-intensity physical activity is associated with broader shifts in gut microbiota composition, including changes in the *Firmicutes/Bacteroidetes ratio (*currently reclassified as *Bacillota/Bacteroidata)* and microbial community diversity. At the same time, the narrative review on Ramadan intermittent fasting highlights the importance of nutritional timing, hydration, sleep, and recovery in shaping exercise-related physiological responses, while the review on sex-related microbiota differences shows that sex contributes to microbial variability in a context-dependent manner rather than as an isolated determinant. Together, these findings support the view that exercise-related microbial variation must be interpreted within a broader behavioural and physiological framework.

The original studies validate and extend these observations by showing that meditative movement may influence microbial composition in ways that are not explained by exercise intensity alone. Among Aikido practitioners, meditation depth was more strongly associated with gut microbiota variation than practice level, with compositional shifts involving genera such as *Bacteroides*, *Faecalibacterium*, and *Prevotella*. In the combined Tai Chi and Aikido cohort, meditation level and the interaction between sport type and meditation depth showed stronger associations with beta diversity than with alpha diversity, indicating that meditative engagement may primarily influence microbial community restructuring. Tai Chi and Aikido also displayed distinct microbial signatures, suggesting that different contemplative disciplines may shape the gut in different ways. The oral microbiota study further extended these findings beyond the gut, showing structured beta-diversity patterns according to meditation and sport level, while lower salivary MMP9 concentrations in the higher sport-level group suggested a possible link between sustained practice and reduced

inflammatory tone. In parallel, the metagenomic analysis confirmed that higher-intensity athlete groups exhibited greater microbial diversity and clearer ecological separation from sedentary controls.

The discussion highlights the dual relevance of these findings for sport and health sciences. On one hand, physical intensity appears to be a robust driver of microbial diversity and community structure in athlete populations. On the other, meditation-based movement practices such as Tai Chi and Aikido suggest that psychophysiological dimensions, including meditation depth, attentional regulation, and stress modulation, may also shape host–microbe interactions in meaningful ways. This thesis therefore broadens the conceptual scope of microbiome research beyond performance-centred sport and establishes a foundation for future studies integrating movement practices, host biomarkers, and microbial function to promote gastrointestinal, metabolic, oral, and psychological health