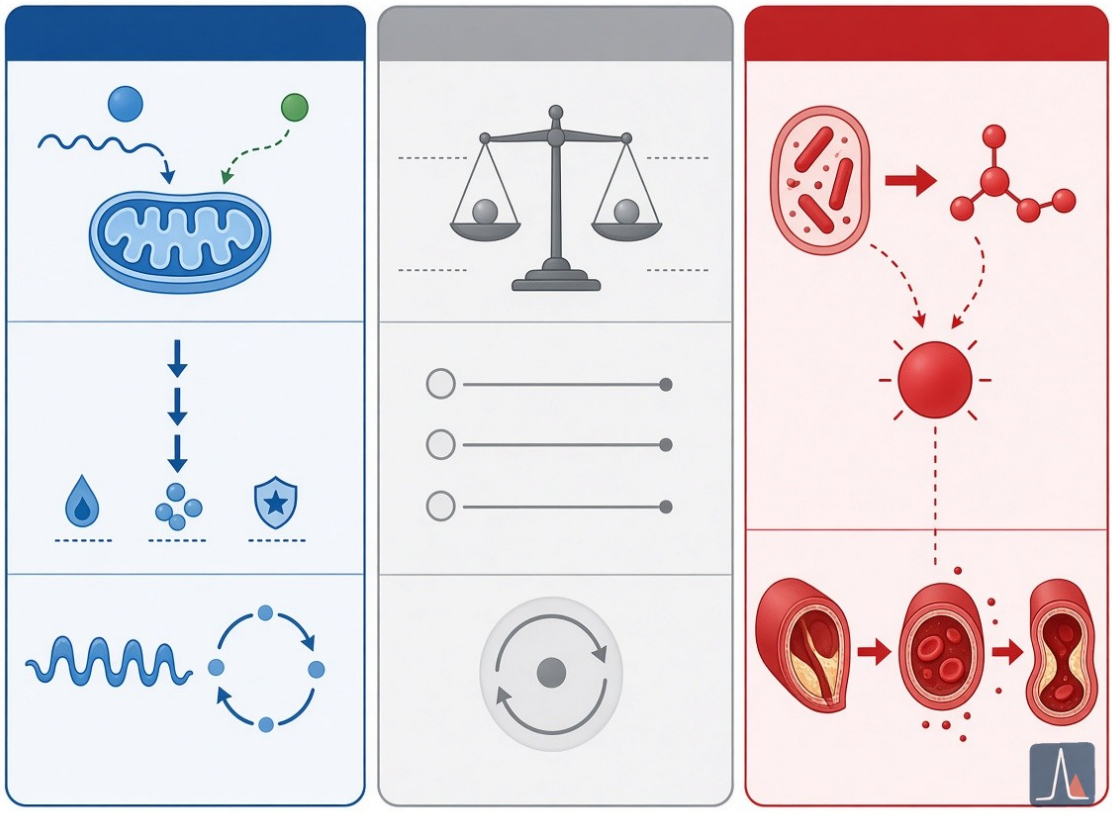
Risultati favorevoli e sfavorevoli su L-carnitine

3 novembre 2026

Le meta-analisi pubblicate di studi controllati randomizzati riportano riduzioni modeste del peso corporeo, del BMI, della massa grassa, di lipidi selezionati, di marcatori glicemici e del lattato post-esercizio con l’integrazione di L-carnitine in soggetti in sovrappeso, obesi o diabetici

Identità chimica e contesto di catalogo

L-carnitine (C7H15NO3, CAS 541-15-1, (R)-3-hydroxy-4-(trimethylammonio)butanoate) è un composto di ammonio quaternario sintetizzato endogenamente a partire da lisina e metionina e ottenuto da fonti alimentari, in particolare dalla carne rossa. Funge da trasportatore degli acidi grassi a catena lunga attraverso la membrana mitocondriale interna per la β-ossidazione e la produzione di energia. Nella ricerca di laboratorio è seguito come composto singolo, chimicamente definito, fornito come materiale liofilizzato ad alta purezza per lo studio della bioenergetica mitocondriale, del metabolismo dei substrati, dello stress ossidativo e delle vie correlate. Il riferimento a uno studio sull’uomo non costituisce un’indicazione a utilizzare in tal modo il materiale di ricerca.



Rappresentazione astratta che separa le categorie di risultati riportati sulla ricerca su L-carnitine.

Evidenze meccanicistiche fondamentali e in vitro

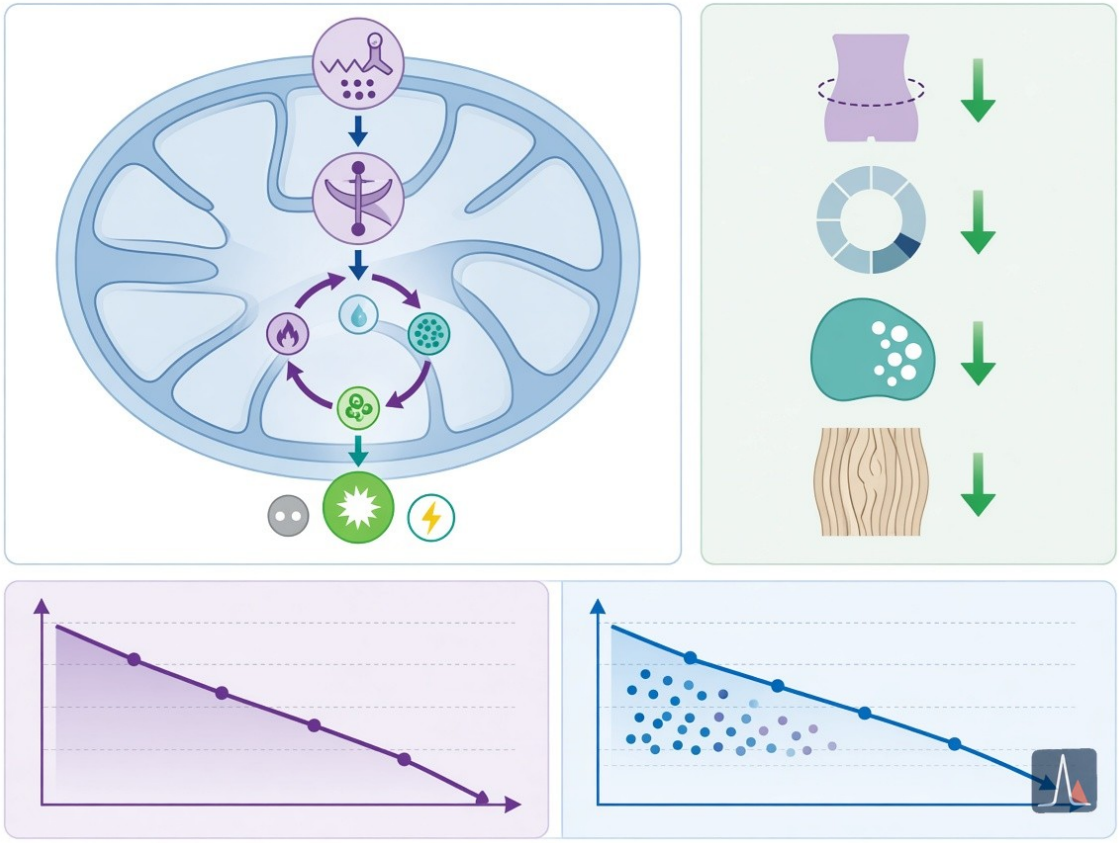
Gli studi in vitro dimostrano che L-carnitine facilita il trasferimento degli acidi grassi nei mitocondri mediato dalla carnitina palmitoiltransferasi (CPT1/CPT2), sostenendo la

Tutte le informazioni e i prodotti trattati sono destinati esclusivamente all'uso di laboratorio e di ricerca. Non per uso umano o veterinario. Non destinati a diagnosticare, trattare, curare o prevenire alcuna malattia.

β-ossidazione, riducendo l'accumulo di acil-CoA e modulando i rapporti acetil-CoA/CoA. Articoli metodologici ne descrivono il ruolo nel tamponamento dei gruppi acetilici e nell'attenuazione dello stress ossidativo in mitocondri isolati e linee cellulari. Questi meccanismi sostengono ipotesi relative a effetti metabolici, sull'esercizio fisico e cardioprotettivi. Modelli animali di obesità, ischemia-riperfusione e neurotossicità hanno riportato un miglioramento del metabolismo energetico, una riduzione della perossidazione lipidica e una preservazione della funzione mitocondriale, sebbene la traslazione all'uomo sia teorica.

Riscontri metabolici, antropometrici e glicemici favorevoli

Molteplici revisioni sistematiche e meta-analisi di studi controllati randomizzati hanno riportato effetti favorevoli modesti. Una meta-analisi del 2020 di 37 RCT (n=2292) ha rilevato che l'integrazione di L-carnitine ha ridotto in modo significativo il peso corporeo (WMD −1.21 kg), il BMI (−0.24 kg/m²) e la massa grassa (−2.08 kg), con effetti più pronunciati negli adulti con sovrappeso o obesità; una relazione dose-risposta non lineare ha suggerito un beneficio massimo in prossimità di 2000 mg/day. Analoghe meta-analisi del 2020 e del 2024 di 21–43 RCT in partecipanti con diabete di tipo 2 o ridotta tolleranza al glucosio hanno riportato riduzioni dei trigliceridi (−9 to −13.5 mg/dL), del LDL-C (−7.7 to −12.7 mg/dL), della glicemia a digiuno (−6.2 mg/dL), dell'HbA1c (−0.16 to −0.37%), dell'HOMA-IR (−0.72), della CRP, del TNF-α, del peso, del BMI e della leptina. Una meta-analisi umbrella ha confermato miglioramenti del colesterolo totale, dei trigliceridi, del LDL-C e dell'HDL-C, in particolare a dosi >2 g/day e per durate >12 weeks. Questi articoli clinici e di revisione (2019–2026) indicano benefici dipendenti dal contesto in popolazioni metabolicamente compromesse.



Tutte le informazioni e i prodotti trattati sono destinati esclusivamente all'uso di laboratorio e di ricerca. Non per uso umano o veterinario. Non destinati a diagnosticare, trattare, curare o prevenire alcuna malattia.

Schema dei riscontri mitocondriali e metabolici favorevoli.

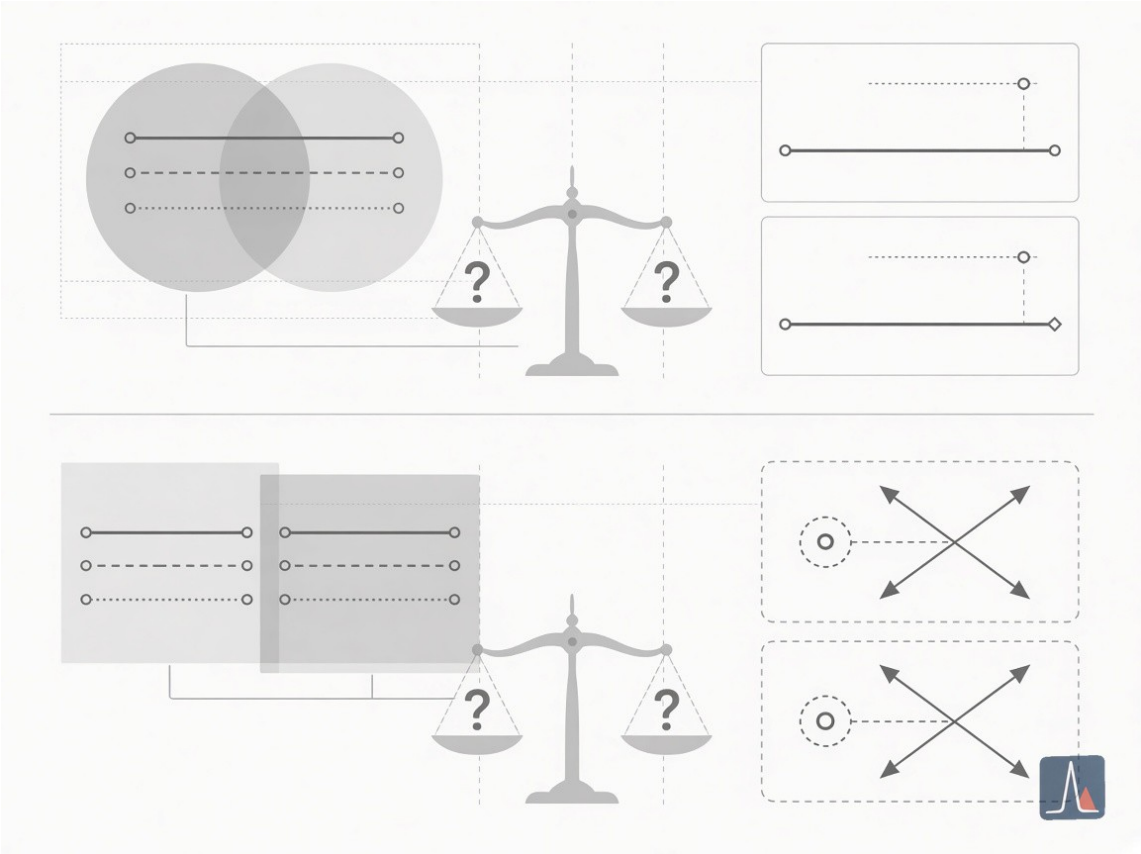
Benefici riportati nella prestazione fisica e nel recupero

Una revisione sistematica e meta-analisi del 2024 di 14 studi in atleti allenati ha riportato che l'integrazione cronica di L-carnitine ha ridotto in modo significativo il lattato ematico post-esercizio (SMD −0.52 to −0.69) e ha aumentato il VO2max (MD +2.16 mL/kg/min). Le analisi per sottogruppi hanno suggerito effetti maggiori con somministrazione prolungata. Ulteriori articoli sulla prestazione e clinici descrivono marcatori di danno muscolare ridotti (CK, myoglobin), un recupero migliorato e incrementi della massa muscolare o della tolleranza fisica in coorti di anziani o centenari. Questi riscontri sono coerenti con il ruolo fondante nel trasporto mitocondriale degli acidi grassi e nella clearance del lattato in condizioni di elevata richiesta metabolica, sebbene i benefici appaiano più costanti negli individui allenati o più anziani rispetto ai soggetti giovani sani che svolgono esercizio moderato.

Rapporti cardiovascolari e altri rapporti clinici

Meta-analisi di studi randomizzati in popolazioni con insufficienza cardiaca, post-infarto miocardico e coronaropatia hanno riportato miglioramenti della frazione di eiezione ventricolare sinistra, del volume sistolico, della gittata cardiaca, dei parametri diastolici (E/A ratio, isovolumic relaxation time), della distanza percorsa nel test del cammino di sei minuti e riduzioni di BNP/NT-proBNP e delle dimensioni del ventricolo sinistro. Una sintesi di studi post-MI ha rilevato riduzioni della mortalità per tutte le cause, delle aritmie ventricolari e degli episodi di angina. Studi randomizzati in bambini con cardiomiopatia dilatativa e in pazienti con insufficienza cardiaca destra indotta da ipertensione arteriosa polmonare hanno riportato miglioramenti additivi della frazione di eiezione, della classe funzionale e della capacità di esercizio quando aggiunti alla terapia convenzionale. Meta-analisi di studi randomizzati su Acetyl-L-carnitine hanno riportato riduzioni dei sintomi depressivi (SMD −1.10 vs placebo), con effetti comparabili agli antidepressivi e minori eventi avversi, in particolare negli adulti più anziani. Alcuni articoli clinici rilevano inoltre un miglioramento della motilità, della morfologia e della concentrazione degli spermatozoi nell'infertilità maschile idiopatica.

Tutte le informazioni e i prodotti trattati sono destinati esclusivamente all'uso di laboratorio e di ricerca. Non per uso umano o veterinario. Non destinati a diagnosticare, trattare, curare o prevenire alcuna malattia.

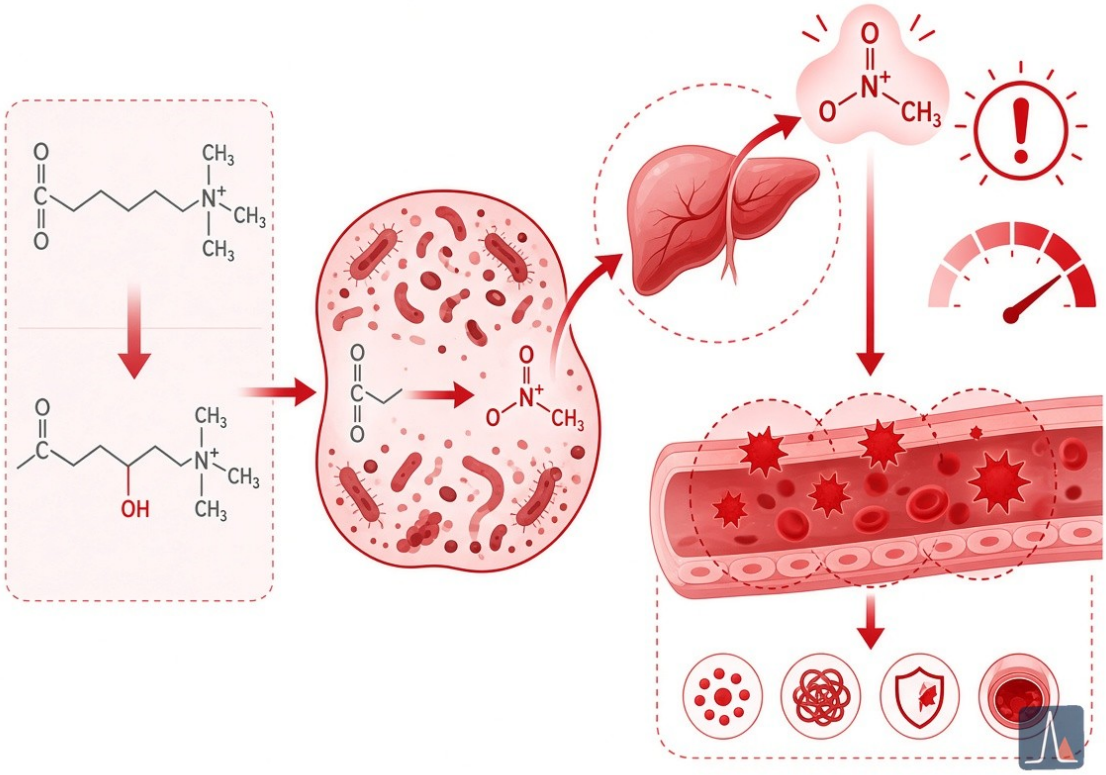


Rappresentazione degli esiti nulli ed eterogenei degli studi.

Risultati nulli, incoerenti e dipendenti dal contesto

Molte delle stesse meta-analisi evidenziano una sostanziale eterogeneità (I^2 spesso 80–98%), dimensioni dell'effetto modeste e specificità di sottogruppo. Non è stata osservata alcuna riduzione coerente della circonferenza vita o della percentuale di grasso corporeo tra gli studi. Gli effetti sui parametri antropometrici erano assenti o attenuati nei pazienti sottoposti a emodialisi. Le meta-analisi sulla performance mostrano risultati nulli o incoerenti per l'ossidazione dei grassi durante l'esercizio, la resistenza a intensità moderata in soggetti non allenati e gli incrementi della forza muscolare in donne anziane sane. Le meta-analisi cardiovascolari non riportano un impatto significativo sull'incidenza di insufficienza cardiaca, sul reinfarto miocardico o sulla mortalità per tutte le cause in alcune analisi aggregate, in contrasto con precedenti segnalazioni positive. I rating GRADE sono frequentemente bassi o moderati. I risultati nulli predominano nelle popolazioni giovani, magre e sane e per determinate apolipoproteine o endpoint della pressione arteriosa. Questi articoli clinici, di revisione e metodologici sottolineano che i benefici non sono universali e dipendono dallo stato basale di carnitina, dalla composizione corporea, dallo stato di malattia, dalla dose, dalla durata e dalle co-interventi.

Tutte le informazioni e i prodotti trattati sono destinati esclusivamente all'uso di laboratorio e di ricerca. Non per uso umano o veterinario. Non destinati a diagnosticare, trattare, curare o prevenire alcuna malattia.



Schema della produzione di TMAO e delle vie di rischio associate.

Risultati sfavorevoli: via del TMAO, segnali aterosclerotici ed evidenze genetiche

Un tema sfavorevole prominente è l'aumento riproducibile del trimetilammina-N-ossido (TMAO) plasmatico. Studi randomizzati e studi meccanicistici dimostrano che la L-carnitine orale (1–4 g/day) aumenta il TMAO circolante da 5 a >10 volte tramite il metabolismo, da parte del microbiota intestinale, della carnitina a trimetilammina (TMA), seguito dall'ossidazione epatica mediante la flavin-containing monooxygenase 3 (FMO3) a TMAO. Studi di coorte prospettici, meta-analisi di dati osservazionali e revisioni umbrella collegano un TMAO elevato a rischi più elevati di eventi cardiovascolari avversi maggiori (HR ~1.4–2.0), mortalità per tutte le cause (HR ~1.55), ipertensione, progressione del diabete e declino del tasso di filtrazione glomerulare, indipendentemente dai fattori di rischio tradizionali. Modelli animali alimentati con carnitina hanno mostrato un'aterosclerosi accelerata mediata dal TMAO. Uno studio randomizzato del 2022 in pazienti con sindrome metabolica ha riportato che la L-carnitine ha aumentato la progressione della stenosi dell'arteria carotide (9.3%, p=0.02) e ha innalzato il colesterolo totale e l'LDL-C rispetto al placebo, nonostante l'assenza di variazioni del volume totale di placca. Uno studio di randomizzazione mendeliana del 2022 ha rilevato che livelli di L-carnitine geneticamente predetti più elevati erano nominalmente associati a un aumentato rischio di malattia coronarica (OR 1.07 complessivamente, 1.09 negli uomini) e di insufficienza cardiaca, senza evidenza di beneficio e con segnali di potenziale danno. Questi articoli meccanicistici, animali, clinici, osservazionali e genetici (2013–2026) sollevano preoccupazioni riguardo alla sicurezza cardiovascolare a lungo termine, in particolare con la supplementazione cronica o in

Tutte le informazioni e i prodotti trattati sono destinati esclusivamente all'uso di laboratorio e di ricerca. Non per uso umano o veterinario. Non destinati a diagnosticare, trattare, curare o prevenire alcuna malattia.

individui con microbiomi onnivori che producono più TMAO dai precursori della carnitina.

Sintesi delle evidenze, limitazioni ricorrenti e implicazioni per il catalogo

Le revisioni sistematiche e le meta-analisi umbrella che sintetizzano decine di studi riconoscono modesti miglioramenti dei marcatori surrogati in popolazioni selezionate affette da malattia o in sovrappeso, sottolineando al contempo limitazioni ricorrenti: elevata eterogeneità statistica, brevi durate degli studi (spesso 8–24 settimane), biodisponibilità e composizione del microbioma variabili, rischio di bias in alcuni studi più datati e scarsità di dati a lungo termine sugli hard outcome cardiovascolari in individui sani. Gli effetti sono frequentemente confinati a sottogruppi con compromissione metabolica o insufficienza di carnitine; la traslazione alle popolazioni generali o al potenziamento della prestazione atletica resta non dimostrata. L'aumento del TMAO è documentato in modo coerente, ma il suo contributo causale rispetto allo status di epifenomeno continua a essere oggetto di dibattito. La certezza GRADE per molte associazioni è da bassa a moderata. Per i ricercatori di laboratorio, questi risultati evidenziano la L-carnitine come strumento prezioso per lo studio del metabolismo mitocondriale, delle interazioni intestino–microbioma–ospite, della biologia del TMAO e dell'omeostasi energetica tessuto-specifica. La letteratura polarizzata — segnali surrogati favorevoli negli stati di malattia, risultati nulli in molti contesti di soggetti sani e dati meccanicistici e genetici sfavorevoli correlati al TMAO — sottolinea la necessità di studi preclinici e metodologici rigorosamente controllati, di più lunga durata e stratificati per microbioma. La voce di catalogo funge pertanto da punto di riferimento neutrale per la ricerca di laboratorio in corso, piuttosto che da qualsiasi implicazione di utilità terapeutica.

Fonti

• Pooyandjoo M et al. (2020). Effects of l-carnitine supplementation on weight loss and body composition: A systematic review and meta-analysis of 37 randomized controlled clinical trials with dose-response analysis. *Clin Nutr ESPEN*. doi:10.1016/j.clnesp.2020.03.008. PMID: 32359762.
• The effects of L-carnitine supplementation on cardiovascular risk factors in participants with impaired glucose tolerance and diabetes: a systematic review and dose–response meta-analysis (2024). *Diabetol Metab Syndr*. doi:10.1186/s13098-024-01415-8. PMID: 39085907.
• The effect of l-carnitine supplementation on lipid profile and glycaemic control in adults with cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials (2020). *Clin Nutr*. doi:10.1016/j.clnu.2019.01.020. PMID: 30850271.
• L-carnitine supplementation decreases post-exercise blood lactate levels and enhances aerobic capacity in trained individuals: systematic review and meta-analysis (2024). *Trends Sport Sci*.
• Acetyl-L-Carnitine Supplementation and the Treatment of Depressive Symptoms: A Systematic Review and Meta-Analysis (2018). *Psychosom Med*. doi:10.1097/PSY.0000000000000537. PMID: 29076953.
• l-carnitine, a friend or foe for cardiovascular disease? A Mendelian randomization study (2022). *BMC Med*. doi:10.1186/s12916-022-02477-z.
• Koeth RA et al. (2013). Intestinal microbiota metabolism of L-carnitine, a nutrient in red meat,

Tutte le informazioni e i prodotti trattati sono destinati esclusivamente all'uso di laboratorio e di ricerca. Non per uso umano o veterinario. Non destinati a diagnosticare, trattare, curare o prevenire alcuna malattia.

promotes atherosclerosis. *Nat Med*. doi:10.1038/nm.3145. PMID: 23563705.
• Meta-analisi e revisioni aggiuntive su TMAO, insufficienza cardiaca ed esiti di performance (2013–2026) indicizzate in PubMed e Europe PMC.

Il corpus di evidenze resta specifico per contesto, eterogeneo e polarizzato tra benefici surrogati in popolazioni definite e preoccupazioni meccanicistiche incentrate sull'asse microbiota–TMAO.

Tutte le informazioni e i prodotti discussi sono destinati esclusivamente all'uso di laboratorio e di ricerca. Non per uso umano o veterinario. Non destinati a diagnosticare, trattare, curare o prevenire alcuna malattia.

Tutte le informazioni e i prodotti trattati sono destinati esclusivamente all'uso di laboratorio e di ricerca. Non per uso umano o veterinario. Non destinati a diagnosticare, trattare, curare o prevenire alcuna malattia.