

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**Osteoporosi: è possibile contrastarla con l'esercizio fisico? Un'analisi della
letteratura**

Relatore: Prof.ssa Albertin Giovanna

Laureando: Giordan Laura

N° di matricola: 2050095

Anno Accademico 2023/2024

INDICE

INDICE.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUZIONE.....	3
1.1 Osteoporosi: definizione.....	3
1.2 Epidemiologia.....	8
1.3 Rischio di fratture da fragilità.....	8
1.4 Metodi di imaging per la valutazione dell'osteoporosi.....	9
SCOPO DELLA TESI.....	11
ANALISI DELLA LETTERATURA.....	12
Watson et al. (2018) (19).....	12
Zhang et al. (2022) (20).....	15
Herda et al. (2023) (21).....	18
Zhao et al. (2023) (22).....	20
CONCLUSIONI.....	23
BIBLIOGRAFIA.....	24

ABSTRACT

L'osteoporosi è una condizione caratterizzata da bassa massa ossea e da alterazioni microstrutturali dell'osso, che compromettono la resistenza ossea e aumentano il rischio di fratture spontanee. È una patologia molto diffusa in tutto il mondo e colpisce prevalentemente le donne a partire dal periodo della menopausa a causa del calo degli estrogeni.

Analizzando la letteratura attraverso l'utilizzo delle parole chiave "osteoporosis and physical exercise" ho cercato quali fossero i migliori protocolli di allenamento per i soggetti osteoporotici nell'arco temporale degli ultimi 7 anni, e alla fine ho scelto di esaminare 4 articoli in cui vengono applicate diverse metodiche allenanti pensate per coloro che soffrono di questa condizione.

In seguito ho approfondito come sono stati condotti questi studi e le conclusioni, cercando di individuare le migliori tipologie di stimolo allenante per prevenire e trattare l'osteoporosi, al fine di incrementare la densità minerale ossea sia in soggetti giovani che anziani come supporto alla terapia farmacologica.

INTRODUZIONE

1.1 Osteoporosi: definizione

L'osteoporosi è una condizione molto comune caratterizzata da bassa massa ossea e da alterazioni microstrutturali dell'osso, che compromettono la resistenza ossea e aumentano il rischio di fratture da fragilità, a cui si associano mortalità e morbidità significative, oltre che una netta diminuzione della qualità della vita.

La massa ossea (BM) rappresenta la quantità di materia minerale accumulata nello scheletro e il suo picco si raggiunge durante la terza decade di vita, ed inizia a decadere intorno ai 40 anni.

La densità minerale ossea (BMD) è invece la quantità di materia minerale presente per centimetro quadrato di osso e il suo picco si raggiunge a 25 anni; se nelle donne rimane stabile fino alla menopausa, per poi decrescere del 2-3% ogni anno, negli uomini diminuisce dell'1-2% (1), come riportato in *Figura 1*:

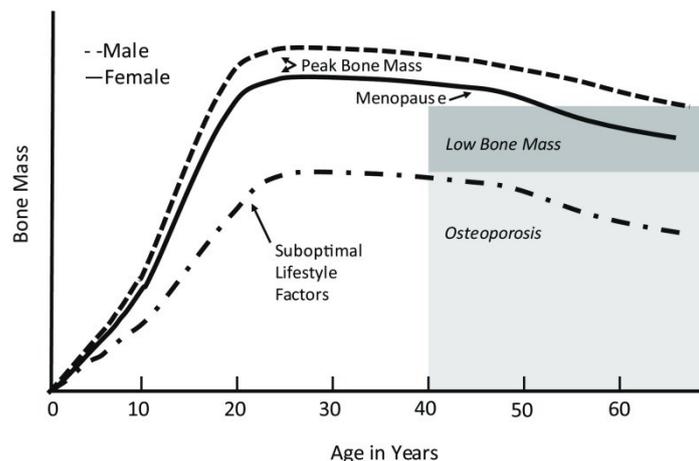


Figura 1: La massa ossea nell'arco della vita con scelte di vita ottimali e non ottimali e differenza tra i due sessi. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4791473/figure/Fig1/>)

La BMD correla con il rischio di fratture e inoltre più alto è il picco raggiunto in giovinezza, più grande sarà il margine di sicurezza durante l'anzianità. Infatti il mancato raggiungimento di un normale picco di massa ossea o l'accelerazione della perdita ossea possono facilmente predisporre all'osteoporosi.

Durante tutta la vita, il tessuto osseo è oggetto di continui processi di riassorbimento e deposizione ossea, mirati ad adeguarne la struttura alle diverse e variabili sollecitazioni meccaniche a cui l'osso è sottoposto. Il rimodellamento osseo è il risultato di un equilibrio dinamico tra questi due meccanismi, dove vengono rinforzate le strutture in cui si applicano maggiori carichi esterni

mentre vengono ridotte le strutture in cui i carichi applicati sono minori o non vengono applicati. Da ciò si deduce che se un osso non viene caricato, si indebolisce (2).

Le sollecitazioni fisiche costanti consentono all'osso di conservare un buon equilibrio tra apposizione di nuova matrice ossea da parte degli osteoblasti e riassorbimento da parte degli osteoclasti. Nell'osteoporosi il processo di riassorbimento osseo prevale su quello di deposizione, causando deterioramento ed erosione ossea con riduzione della massa totale.

A seconda della causa primaria, l'osteoporosi si divide in osteoporosi primaria e osteoporosi secondaria. L'osteoporosi primaria comprende l'osteoporosi postmenopausale, l'osteoporosi senile e l'osteoporosi giovanile, mentre l'osteoporosi secondaria si verifica a causa di farmaci, come la somministrazione a lungo termine di glucocorticoidi in dosi massicce, il disuso a lungo termine degli arti o altre malattie (3). Vi è inoltre un'altra classificazione, che riguarda la differenza tra osteopenia e osteoporosi. Come riportato nel lavoro di C. Christodoulou (4), l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha definito l'osteoporosi come una densità minerale ossea (BMD) inferiore di oltre 2,5 SD (deviazioni standard) rispetto alla media normale dei giovani, mentre l'osteopenia è definita come una BMD tra 1 e 2,5 SD al di sotto della media normale giovanile.

Per quanto riguarda invece l'eziologia, le precise cause che determinano l'osteoporosi non sono ad oggi chiare, tuttavia possibili fattori che contribuiscono alla sua insorgenza sono:

- Fattori ormonali (carenza di estrogeni, testosterone)
- Nutrizione (carenza di calcio, vitamina D, malnutrizione)
- Fattori genetici
- Fattori ambientali (inattività fisica, fumo, alcohol, glucocorticoidi) (5)

Infatti, bassi livelli di attività fisica rientrano tra i predittori di una bassa densità minerale ossea e bassi livelli di funzionalità fisica, come lentezza nel cammino e ridotta forza dei quadricipiti rappresentano due dei fattori di rischio per le fratture (6).

Partendo dal presupposto secondo cui il miglior trattamento dell'osteoporosi è la prevenzione, le soluzioni attuali per ridurre l'incidenza dell'osteoporosi comprendono l'identificazione delle persone a rischio, la prescrizione di un trattamento farmaceutico a lungo termine e la riduzione del rischio di cadute. Inoltre, le strategie di prevenzione comprendono l'assunzione di una quantità sufficiente di calcio e vitamina D, la cessazione del consumo di tabacco o alcol e l'attività fisica in giovane età per aumentare e mantenere il picco di massa ossea. Infatti, molti ricercatori hanno recentemente scoperto che l'esercizio fisico è utile per prevenire e trattare l'osteoporosi. Il

meccanismo attraverso cui l'attività fisica può avere un effetto benefico sulla salute del tessuto osseo si basa sull'applicazione di una sollecitazione meccanica sullo stesso, dove gli osteociti percepiscono, trasformano e trasmettono il carico meccanico (3). Gli osteociti sono le principali cellule ossee in grado di trasformare gli stimoli meccanici in segnali intercellulari attraverso un fenomeno definito "meccanotrasduzione" (2).

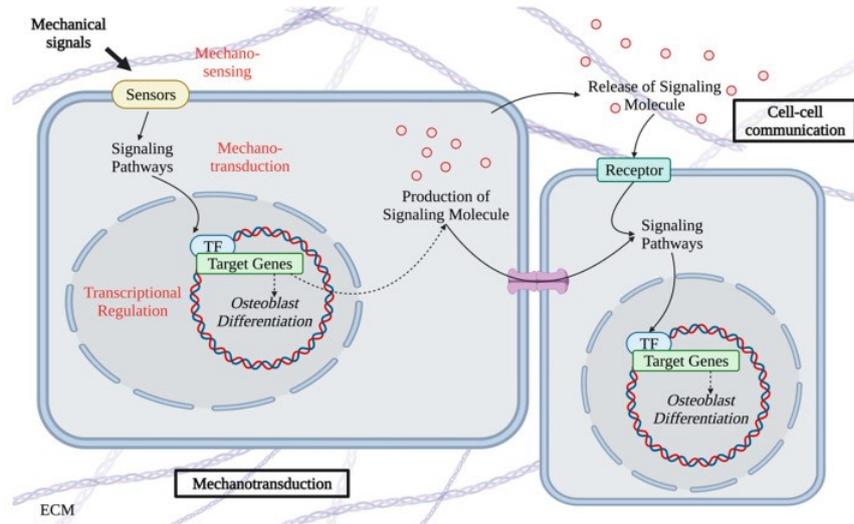


Figura 2: La meccanotrasduzione all'interno e tra le cellule ossee. Le molecole di segnalazione trasmettono i segnali meccanici nelle cellule o nelle cellule vicine. I caratteri rossi evidenziano le tre fasi sequenziali della meccanotrasduzione. (<https://doi.org/10.3390/ijms241814326>) (7)

Durante l'esercizio, gli osteociti sono in grado di percepire le variazioni dello stress meccanico, di rispondere e inviare segnali alle cellule circostanti e di regolare le funzioni di osteoblasti, osteoclasti e matrice extracellulare (ECM) del microambiente osseo (3).

Praticare attività fisica stimola la deposizione di nuovo tessuto osseo da parte degli osteoblasti e favorisce il rallentamento del decorso della patologia. Negli ultimi anni si è scoperto che l'esercizio fisico regolare e corretto non solo aiuta a prevenire l'insorgenza dell'osteoporosi, ma aggiunge anche benefici alla terapia della stessa; di conseguenza, l'omeostasi ossea è strettamente associata allo stress meccanico e all'intricato scambio tra osteoblasti e osteoclasti (3) (Figura 3).

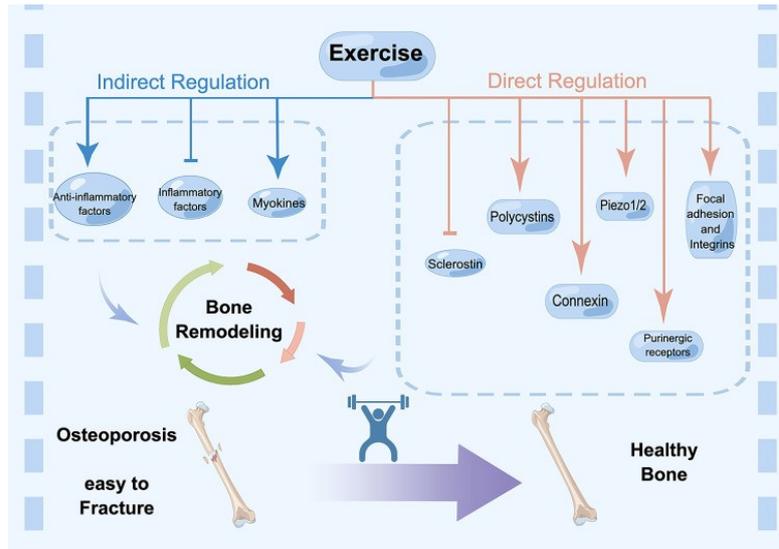


Figura 3: Meccanismi di regolazione diretta e indiretta dell'esercizio fisico per l'osteoporosi. L'esercizio fisico promuove la massa ossea e sostiene la salute delle ossa, mentre la mancanza di esercizio fisico provoca osteoporosi e fratture. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9768366/>)

La scelta del tipo di esercizio fisico richiede un'attenta considerazione dei rischi e dei benefici di ciascun tipo di attività, oltre che dello stato di salute e della forma fisica del soggetto.

I programmi di esercizio fisico sembrano avere un impatto variabile sull'osteoporosi a seconda della loro frequenza, durata e intensità. Esiste una correlazione significativa tra forza muscolare e densità minerale ossea, da ciò ne deriva che l'allenamento contro resistenza può portare a un aumento della stessa a livello delle ossa a cui i muscoli sono collegati (8). Per i pazienti con osteoporosi, l'allenamento di resistenza con sovraccarichi è da preferire rispetto all'allenamento aerobico, in quanto risulta un mezzo più efficace per stimolare l'osteogenesi ossea. L'attività ad alta velocità e ad alto impatto, come il salto, è adatta ai pazienti affetti da osteoporosi se sono in grado di tollerarne l'intensità, ma se costoro presentano segni di osteoartrite, è meglio evitare (3). Due sono le tipologie di esercizi che spesso e volentieri vengono proposte ai pazienti osteoporotici al fine di gestire al meglio la loro condizione: esercizi aerobici con carico di peso ed esercizi di forza e resistenza. Nella prima categoria rientrano: camminare, salire le scale, fare jogging e il Tai Chi. Precisamente, la camminata da sola non sembra migliorare la massa ossea, ma è in grado di limitarne la progressiva perdita. Nella seconda categoria di esercizi rientrano invece quelli che si eseguono con carico, come il sollevamento pesi, o senza, come il nuoto e il ciclismo. Affinché questo tipo di esercizio sia efficace è necessario determinare una forza di reazione articolare superiore alla comune attività quotidiana con un sensibile rafforzamento muscolare. Gli esercizi

di forza e resistenza appaiono estremamente sito-specifici e sembrano essere in grado di aumentare la massa muscolare e la BMD solo nelle regioni corporee stimolate (9), per questo motivo, al fine di espandere l'allenamento alla forza scheletrica di tutto il corpo, l'allenamento dell'equilibrio dovrebbe essere incoraggiato per prevenire le cadute (3).

E' comprovato che l'attività fisica con carico ha effetti benefici sulla salute delle ossa in tutte le fasce di età. Le attività fisiche che generano forze di carico di intensità relativamente elevata, come la pliometria, la ginnastica e l'allenamento di resistenza ad alta intensità, aumentano l'accumulo di minerali ossei nei bambini e negli adolescenti. Inoltre, ci sono prove che i guadagni di massa ossea indotti dall'esercizio fisico nei bambini vengono mantenuti anche in età adulta, suggerendo che le abitudini di attività fisica durante l'infanzia possono avere benefici a lungo termine sulla salute delle ossa. Da ciò, si deduce l'importanza di un programma di esercizi efficace e corretto già in età infantile, al fine di garantire un ottimale sviluppo osseo e una buona salute ossea in età adulta fino alla vecchiaia (10).

Una popolazione particolarmente incline allo sviluppo di osteoporosi è quella femminile, soprattutto a partire dalla menopausa. Il calo degli estrogeni che caratterizza il periodo della menopausa è il principale fattore di rischio per l'osteoporosi, in quanto causa un aumento del riassorbimento scheletrico e una relativa diminuzione della formazione ossea, con conseguente indebolimento dell'architettura ossea che predispone ad osteopenia e osteoporosi. La principale minaccia per la salute dell'osteoporosi è rappresentata dalle fratture osteoporotiche la cui prevalenza è maggiore nelle donne in postmenopausa rispetto agli uomini anziani (11). Secondo Rizzoli R, (12), l'osteoporosi colpisce una donna su tre in postmenopausa e il rischio di fratture da fragilità correlato supera quello del cancro al seno. L'osteoporosi è dunque un importante problema di salute pubblica che deve essere seriamente preso in considerazione. Oltre alla terapia farmacologica ormonale, questa problematica può essere gestita anche attraverso la pratica di regolare di esercizio fisico. Diverse modalità di esercizio sono adatte per le donne in postmenopausa per la prevenzione e il trattamento dell'osteoporosi. Infatti, è stato dimostrato che un protocollo di esercizi che prevede un allenamento multicomponente nelle donne con osteoporosi può migliorare la BMD, la forza, la flessibilità, l'equilibrio, la forma funzionale e la QoL (quality of life) e ridurre il rischio di cadute (13). Risultano particolarmente efficaci gli esercizi con i pesi, in quanto possono contribuire a mantenere la BMD nelle donne in

postmenopausa e ad aumentare la BMD della colonna vertebrale e dell'anca nelle donne con osteopenia e osteoporosi (14).

1.2 Epidemiologia

Mentre nel 2010 è stato stimato che 22 milioni di donne e 5,5 milioni di uomini nell'Unione Europea fossero affetti da osteoporosi secondo il criterio diagnostico dell'OMS (5), dati più recenti che risalgono all'anno scorso (2023) sostengono che oltre 200 milioni di persone nel mondo sono affette da osteoporosi e che il tasso di incidenza aumenta con l'età. Oltre il 70% degli ultraottantenni ne è affetto e le donne sono le più colpite, poiché questa condizione è strettamente correlata alla carenza di estrogeni durante la menopausa. Nei paesi sviluppati, sono colpiti dal 2% all'8% dei maschi e dal 9% al 38% delle femmine (15).

1.3 Rischio di fratture da fragilità

L'osteoporosi è una condizione caratterizzata da una diminuzione della massa ossea per unità di volume e da una compromissione della resistenza ossea, che predispone l'osso colpito alla frattura. Le fratture osteoporotiche comportano una significativa riduzione della qualità della vita, con un aumento della morbilità, della mortalità e della disabilità. Recenti studi (15) suggeriscono che più del 50% delle donne bianche in postmenopausa subirà una frattura osteoporotica e solo il 33% delle donne anziane che subiscono una frattura dell'anca sarà in grado di tornare a una vita indipendente. Inoltre, 1 donna su 3 e un uomo su 5 di età superiore ai 50 anni subiranno una frattura osteoporotica nel corso della loro vita; tuttavia, la mortalità a un anno negli uomini che hanno una frattura dell'anca è doppia rispetto alle donne. Vi sono differenze per quanto riguarda l'etnia, dal momento che uomini e donne di colore hanno una minore incidenza di osteoporosi rispetto ai bianchi anche se, tuttavia, coloro ai quali viene diagnosticata l'osteoporosi hanno rischi di frattura simili. E' stato inoltre dimostrato che le aree del mondo con meno vitamina D attraverso la luce solare rispetto alle regioni più vicine all'equatore hanno tassi di fratture più elevati rispetto alle persone che vivono a latitudini più basse.

In linea generale, le fratture osteoporotiche costituiscono un grave problema globale che grava sul sistema finanziario e sanitario dei vari Paesi, in maniera più o meno marcata.

Secondo C. Christodoulou (4), esistono una serie di fattori che possono predisporre alle fratture osteoporotiche, e questi vengono classificati in "scheletrici" ed "extrascheletrici". Tra i primi

rientrano: ridotta densità minerale ossea, basso BMI (body mass index), architettura ossea, turnover osseo e precedenti fratture, mentre tra i secondi: età avanzata, cadute pregresse, andatura anomala, scarsa coordinazione e demenza. Le sedi comuni di frattura osteoporotica sono la colonna vertebrale, l'anca, l'avambraccio distale e l'omero prossimale (5). La probabilità residua di una frattura in uno di questi siti nelle donne in menopausa supera quella del cancro al seno (circa il 12%) e la probabilità di una frattura in uno di questi siti è del 40% o più nell'Europa occidentale, una cifra vicina alla probabilità di malattia coronarica. A causa dei cambiamenti nella demografia della popolazione, il numero annuale di fratture da fragilità passerà da 3,5 milioni nel 2010 a 4,5 milioni nel 2025, con un aumento del 28%.

Le fratture dell'anca causano dolore acuto e perdita di funzionalità e quasi sempre comportano il ricovero in ospedale, il recupero è lento e la riabilitazione è spesso incompleta, tanto che molti pazienti vengono ricoverati in modo permanente in case di cura. Le fratture vertebrali possono causare dolore acuto e perdita di funzionalità, ma possono anche verificarsi senza sintomi gravi. I pazienti che presentano una frattura in questo sito anatomico, dovrebbero evitare gli esercizi di flessione della schiena (16) in quanto risultano dannosi e aumentano il rischio di nuove fratture vertebrali e al contrario, trarranno beneficio da esercizi di resistenza che rafforzano i muscoli estensori della schiena.

Tuttavia, le fratture vertebrali spesso si ripetono e la disabilità che ne consegue aumenta con il numero di fratture. Anche le fratture radiali distali provocano dolore acuto e perdita di funzionalità, ma il recupero funzionale è solitamente buono o eccellente.

In questo scenario, l'attività fisica può giocare un ruolo determinante in termini di prevenzione, in quanto costituisce un trattamento non farmacologico particolarmente efficace (16). L'esercizio fisico infatti può aumentare la resistenza ossea ottimizzando la BMD e migliorando la qualità dell'osso e ha il potenziale di ridurre il rischio di caduta.

1.4 Metodi di imaging per la valutazione dell'osteoporosi

La densità minerale ossea è uno dei principali determinanti della resistenza ossea e quindi un valido indicatore dello stato di salute dell'osso.

Secondo un recente studio (17) le donne di età pari o superiore a 65 anni e gli uomini di età pari o superiore a 70 anni dovrebbero sottoporsi a test di valutazione della densità minerale ossea (BMD). Tuttavia, anche le donne giovani in menopausa, donne in transizione menopausale e

uomini di età compresa tra i 50 e 69 anni con fattori di rischio clinici per fratture dovrebbero essere indirizzati a sottoporsi a questo screening.

È stato dimostrato che più bassa è la BMD, più alto è il rischio di fratture. La massa ossea può essere valutata in diversi siti, tra cui la colonna vertebrale lombare, l'anca e l'avambraccio e la tecnica più comunemente utilizzata è l'assorbimetria a raggi X a doppia energia (DEXA), anche se esistono altri metodi di imaging che possono sopperire ad alcune sue limitazioni (18). I punteggi T derivati dalla DEXA, pur essendo comuni, non forniscono un quadro completo della salute ossea. La DEXA misura la densità minerale ossea (BMD), un indicatore importante, ma non tiene conto della microarchitettura e della qualità dell'osso.

Per una valutazione più completa, si possono utilizzare metodi complementari, come ad esempio: la tomografia computerizzata quantitativa periferica ad alta risoluzione (HR-pQCT), che fornisce immagini 3D dettagliate dei compartimenti ossei, tra cui osso trabecolare e corticale, valutando così la microarchitettura ossea; l'ecografia quantitativa (QUS) che utilizza le onde sonore per analizzare la struttura ossea e determinare la salute delle ossa indipendentemente dalla BMD; infine la risonanza magnetica (MRI) la quale offre immagini dettagliate del midollo osseo e della struttura trabecolare senza radiazioni, fornendo informazioni sulla microarchitettura e sulla composizione ossea.

L'utilizzo di questi metodi insieme alla DEXA offre una valutazione più globale e accurata della salute ossea, aiutando a identificare precocemente il rischio di frattura e a guidare le decisioni terapeutiche.

SCOPO DELLA TESI

L'osteoporosi costituisce un problema clinico importante che grava sul sistema sanitario di ogni nazione e riguarda prevalentemente le donne a partire dalla menopausa. A causa della diminuzione del contenuto minerale osseo, l'impalcatura ossea si indebolisce e le ossa diventano meno resistenti, aumentando così il rischio di frattura in seguito alle cadute.

Nonostante la terapia farmacologica rappresenti in genere la prima linea d'intervento, è stato dimostrato che la pratica di esercizio fisico combinata con l'integrazione di calcio e vitamina D può contribuire positivamente alla gestione dell'osteoporosi. L'attività fisica, nello specifico quella contro resistenza, riduce il rischio di frattura aumentando la resistenza ossea ottimizzando la BMD e ha inoltre il potenziale di ridurre il rischio di caduta migliorando la capacità di equilibrio e la forza muscolare.

Lo scopo della tesi è stato quello di esaminare la letteratura per individuare una relazione tra l'osteoporosi e specifici programmi di allenamento mirati al rafforzamento osseo e finalizzati al miglioramento della qualità della vita delle persone affette da questa problematica. Inizialmente è stata condotta una ricerca bibliografica su Medline utilizzando le parole chiave "*osteoporosis and physical exercise*" che ha rilevato 4942 articoli, di cui 1199 risalgono agli ultimi 7 anni.

Un'analisi più approfondita, ha messo in evidenza particolari protocolli di allenamento che sono stati applicati in ricerca al fine di migliorare la condizione dei soggetti osteoporotici. Ho dunque scelto di analizzare 4 articoli in cui vengono proposte e applicate diverse metodiche allenanti, che possono offrire degli ottimi suggerimenti per la strutturazione di programmi da parte del chinesiologo.

ANALISI DELLA LETTERATURA

Watson et al. (2018) (19)

High-intensity resistance and impact training improves bone mineral density and physical function in postmenopausal women with osteopenia and osteoporosis: The LIFTMOR randomized controlled trial

Introduzione: Studi precedenti hanno dimostrato che gli esercizi a intensità moderata raccomandati dalle linee guida per la pratica di esercizio fisico in soggetti osteoporotici hanno prodotto miglioramenti modesti, se non nulli, nella densità minerale ossea.

Scopo: Lo scopo primario dell'attività di sollevamento per l'allenamento muscolare e la riabilitazione dell'osteoporosi (Lifting Intervention for Training Muscle and Osteoporosis Rehabilitation – LIFTMOR trial) è stato di valutare la sicurezza e l'efficacia dell'allenamento di resistenza progressiva ad alta intensità e di impatto sul peso (HiRIT) sul miglioramento della densità minerale ossea (BMD) del collo del femore (FN) e della colonna vertebrale lombare (LS) in donne in postmenopausa con massa ossea da bassa a molto bassa. Inoltre, questo lavoro si occupa di monitorare gli eventi avversi dell'HiRIT per ridurre i parametri di rischio di frattura nelle donne in postmenopausa con bassa massa ossea.

Materiali e metodi: i partecipanti allo studio LIFTMOR (in totale 101 donne) sono stati randomizzati a 8 mesi di esercizio supervisionato HiRIT (n=49) della durata di 30 minuti, due volte a settimana, o di esercizio domiciliare a bassa intensità non supervisionato (CON) (n=52). Nel primo gruppo, inizialmente sono state svolte varianti di esercizi a corpo libero e con carichi bassi per apprendere al meglio la tecnica esecutiva, successivamente l'intensità del carico è aumentata. Gli esercizi di resistenza (deadlift, overhead press e back squat) sono stati eseguiti secondo lo schema 5x5 (ovvero 5 serie da 5 ripetizioni), mantenendo un'intensità compresa tra >80% e 85% di 1 RM (one repetition maximum). Il carico d'impatto è stato applicato tramite chin-up in salto con atterraggio in caduta. Ai partecipanti è stato chiesto di afferrare una sbarra posta sopra la loro testa con le spalle e i gomiti flessi a 90 gradi e le mani alla larghezza delle spalle. Il partecipante ha poi saltato il più in alto possibile, tirandosi contemporaneamente al massimo delle sue possibilità con le braccia. Al culmine del salto, il partecipante è sceso a terra, concentrandosi sull'atterraggio nel modo più pesante e confortevole possibile. Ogni sessione di esercizi è stata eseguita in piccoli gruppi con un massimo di 8 partecipanti per istruttore, che era un chinesiologo o un fisioterapista.

I partecipanti assegnati al gruppo CON sono stati sottoposti a un programma di esercizi a bassa intensità (da 10 a 15 ripetizioni ad intensità <60% 1 RM), della durata di 8 mesi, due volte a settimana, della durata di 30 minuti, da svolgere a casa, progettato per migliorare l'equilibrio e la mobilità, ma anche per fornire uno stimolo minimo alle ossa. Il programma CON consisteva in 10 minuti di camminata come riscaldamento (warm-up) e 5 come defaticamento (cool-down), nella parte centrale dell'allenamento venivano svolti esercizi di resistenza a basso carico tra cui affondi, sollevamenti dei polpacci (calf raises), sollevamenti in piedi (alzarsi in piedi) e scrollate. Inoltre vi era la parte di stretching/allungamento di vari distretti corporei come collo (allungamento laterale), polpacci, spalle e colonna lombare (allungamento laterale). L'intensità degli esercizi di resistenza è stata aumentata a partire dal peso corporeo fino a un massimo di 3 kg di pesi manuali nell'ultimo mese del programma. I test pre e post intervento comprendevano l'analisi della densità minerale ossea (BMD) della colonna vertebrale lombare e del femore prossimale rilevata tramite l'assorbimetria a raggi X a doppia energia (DXA) e misure di performance funzionale. Quest'ultime consistevano in una serie di test, tra cui: il timed up-and-go test (TUGT), dove il paziente veniva osservato e cronometrato mentre si alzava da una poltrona, camminava per 3 metri, si girava, tornava indietro e si sedeva di nuovo, il 5 times sit-to-stand test (FTSTS), che misurava il tempo impiegato per alzarsi da una sedia e tornare alla posizione seduta per 5 volte e infine il functional reach test (FRT), in cui si misurava la differenza tra la lunghezza del braccio e la massima estensione in avanti, utilizzando una base d'appoggio fissa. La forza muscolare isometrica massima è stata determinata per i muscoli estensori degli arti inferiori e della schiena, mentre le prestazioni neuromuscolari degli arti inferiori sono state determinate dal test di salto verticale massimale (VJ) su una piastra di forza e dalla misura delle forze verticali di reazione al suolo.

Risultati: Al termine degli 8 mesi di sperimentazione, il gruppo HiRIT ha ottenuto risultati superiori al gruppo di controllo (CON) sia per quanto riguarda gli indici di forza ossea che le prestazioni funzionali. Infatti, nel gruppo di intervento sono stati registrati miglioramenti a livello della BMD della colonna lombare (LS) ($2,9 \pm 2,8\%$ contro $-1,2 \pm 2,8\%$ del gruppo CON, $p < 0,001$), della BMD del collo del femore (FN) ($0,3 \pm 2,6\%$ contro $-1,9 \pm 2,6\%$, $p = 0,004$), dello spessore corticale del FN ($13.6 \pm 16.6\%$ contro $6.3 \pm 16.6\%$, $p = 0.014$), dell'altezza ($0,2 \pm 0,5$ cm contro $-0,2 \pm 0,5$ cm, $p = 0,004$) e a livello di tutte le misure di performance funzionale ($p < 0,001$).

Nella *Figura 4* sono messi a confronto i risultati ottenuti dai due gruppi al termine del periodo dello studio.

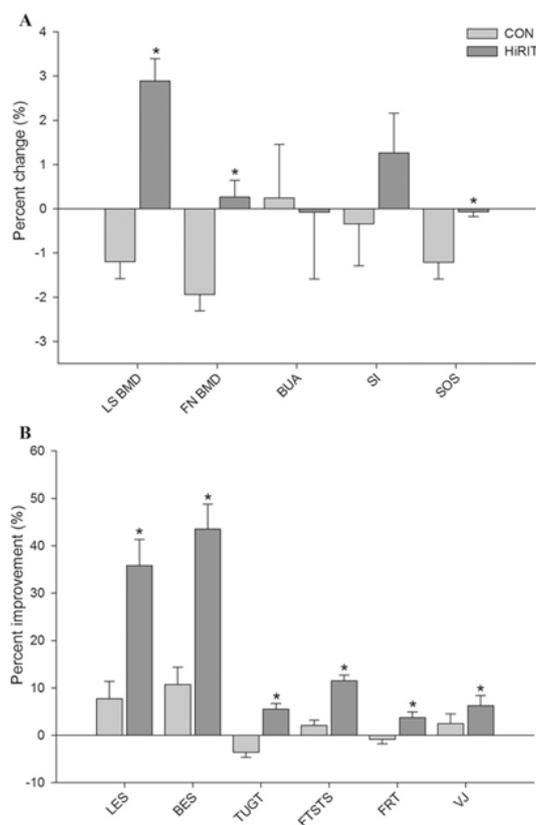


Figura 4: Variazioni a 8 mesi (\pm SE) nelle prestazioni delle ossa (A) e fisiche (B) per HiRIT e CON dopo un intervento di esercizio fisico di 8 mesi in donne in postmenopausa con massa ossea ridotta ($n = 101$). LS = colonna lombare; BMD = densità minerale ossea; FN = collo femorale; LES (forza degli estensori della gamba); BES (forza degli estensori posteriori). (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28975661/>)

Questi risultati suggeriscono che un protocollo di allenamento ad alta intensità e alto impatto (HiRIT) di breve durata e svolto due volte a settimana è stato sicuro, efficace e migliore rispetto ai tradizionali approcci conservativi a bassa intensità in quanto ha permesso di migliorare la resistenza ossea in siti clinicamente rilevanti per il rischio fratture, la funzionalità fisica e la statura delle partecipanti, dove quest'ultima è aumentata grazie al miglioramento della forza dei muscoli estensori posteriori.

E' importante sottolineare che lo studio si è dimostrato sicuro poichè è stato svolto sotto la supervisione di esperti quali chinesiologi e/o fisioterapisti, rispettando l'incremento graduale del carico e controllando la tecnica esecutiva degli esercizi svolti. Da ciò si deduce che, nonostante il pensiero comune tenda ad associare il lavoro ad alta intensità ad un maggior rischio di fratture, HiRIT rappresenta un'opzione terapeutica molto interessante per la gestione dell'osteoporosi nelle donne in postmenopausa con massa ossea da bassa a molto bassa.

Zhang et al. (2022) (20)

Effect of a home-based resistance exercise program in elderly participants with osteoporosis: a randomized controlled trial

Introduzione: L'esercizio fisico, in particolare quello di resistenza, è una delle strategie essenziali per migliorare la massa muscolo-scheletrica inducendo l'ipertrofia muscolare e riducendo la perdita ossea. Tuttavia, la maggior parte degli studi è stata condotta in ambito ospedaliero, mentre in questo studio si è cercato di intraprendere ricerche simili a domicilio.

Scopo: Questo studio mirava a valutare l'effetto di un programma di esercizi di resistenza a domicilio (HBRE) della durata di 12 settimane sulla funzione fisica, l'autoefficacia dell'esercizio, che corrisponde alla consapevolezza di essere capace di svolgere e controllare certi movimenti, l'efficacia nelle cadute, ovvero la fiducia dei partecipanti nel non temere cadute durante l'attività e la qualità della vita correlata alla salute (HRQOL) in partecipanti anziani con osteoporosi.

Materiali e metodi: I partecipanti idonei sono stati randomizzati in due gruppi: gruppo di intervento e di controllo. Il primo ha seguito un programma HBRE di 12 settimane, che comprendeva esercizi di resistenza per gli arti superiori, come ad esempio curl bicipiti ed estensione dei tricipiti con elastico, e per gli arti inferiori, come flessione del ginocchio, dorsiflessione e flessione plantare di caviglia, estensione del ginocchio in posizione seduta, flessione prona del ginocchio e abduzione della coscia da seduti, tutti da svolgere con l'ausilio di un elastico o banda elastica di diverse resistenze. Questo programma è stato svolto dai partecipanti tre volte a settimana per 45-60 minuti e l'intensità dell'esercizio, che era basata sul Rating of Perceived Exertion (RPE) riferito dal paziente, è stata incrementata gradualmente. Anche la resistenza dell'elastico veniva aumentata quando il paziente riusciva a svolgere un esercizio troppo facilmente, rendendo così la seduta effettivamente allenante. Infatti, lo svolgimento degli esercizi da parte dei pazienti è stato supervisionato settimanalmente da un ricercatore (un operatore sanitario) per curare la tecnica esecutiva. Inoltre, i partecipanti sono stati informati delle precauzioni e delle indicazioni per interrompere l'esercizio in caso di disagio durante l'esercizio e hanno anche ricevuto un diario per registrare il completamento giornaliero e i possibili eventi avversi. D'altra parte, il gruppo di controllo non ha ricevuto alcun intervento aggiuntivo rispetto alle cure abituali e i partecipanti sono stati seguiti telefonicamente o ambulatorialmente con cadenza mensile.

La funzione fisica dei soggetti è stata misurata attraverso la forza della presa della mano (HGS), il test dell'alzarsi cinque volte e risedersi (FTSST, ovvero "five-time sit-to-stand test"), il test del tempo di salita e discesa (TUGT, ovvero "time up and go test") e la scala di equilibrio di Berg (BBS). Sono state inoltre valutate: l'autoefficacia nell'esercizio fisico, l'efficacia nelle cadute e l'HRQOL.

Risultati: Un totale di 72 partecipanti è stato randomizzato al gruppo HBRE (n = 36) e al gruppo di controllo (n = 36), ma nel corso della sperimentazione due partecipanti in ciascun gruppo (HBRE e di controllo) hanno abbandonato durante il follow-up, e alla fine sono stati inclusi 68 partecipanti. Di questi, 57 erano donne mentre 11 uomini e l'età media era di 68,43 anni.

Per quanto riguarda gli effetti del programma HBRE, i partecipanti a questo gruppo hanno migliorato notevolmente la funzione fisica, mentre non sono stati rilevati risultati statisticamente significativi nel gruppo di controllo (Figura 5).

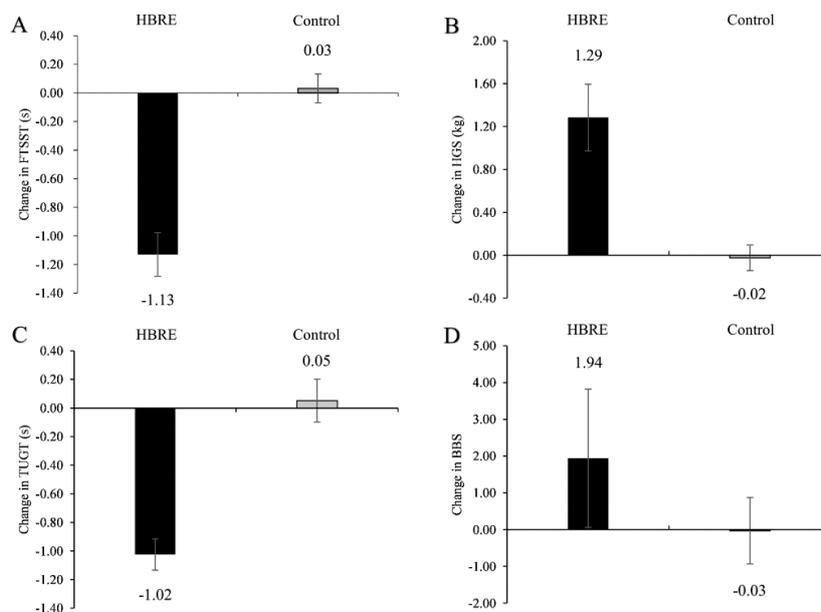


Figura 5: Variazione media degli esiti della funzione fisica: A) Test cinque volte da seduti a in piedi (FTSST) (secondi, s); B) forza della presa della mano (HGS) (chilogrammi, kg); C) tempo di salita e discesa (TUGT) (secondi, s); D) Scala di equilibrio di Berg (BBS) dopo 12 settimane nei gruppi HBRE e controllo. (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00198-022-06456-1>)

Sia i punteggi ESES (scala di autoefficacia dell'esercizio) che FES (scala di efficacia delle cadute) sono migliorati significativamente nel gruppo HBRE a differenza del gruppo di controllo, come è riportato nella Figura 6.

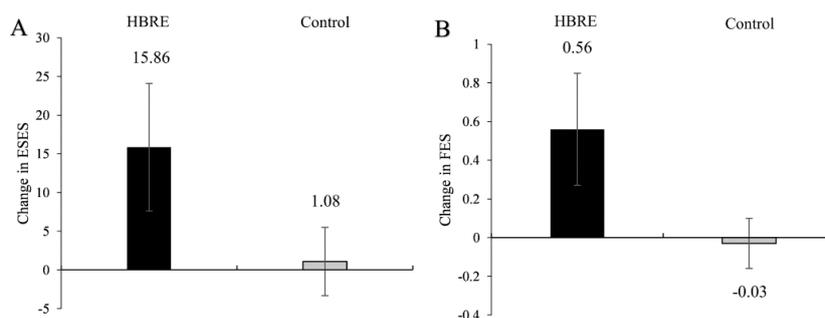


Figura 6: Variazione media dell'autoefficacia nell'esercizio fisico e dell'efficacia nelle cadute: A) scala di autoefficacia dell'esercizio (ESES); B) scala di efficacia delle cadute (FES) dopo 12 settimane nei gruppi HBRE e di controllo. (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00198-022-06456-1>)

Inoltre, i partecipanti al gruppo HBRE hanno notevolmente migliorato la loro qualità della vita correlata alla salute (HRQOL) ottenendo punteggi significativamente più alti in tutte le dimensioni, tra cui quella fisica, emotiva e mentale e nei punteggi totali.

In merito all'aderenza al programma da parte delle persone, al termine dello studio è stato registrato un tasso di completamento <85%, che rappresenta una buona compliance e per giunta non sono stati registrati eventi avversi legati all'esercizio.

In conclusione, lo studio ha dimostrato che un programma HBRE di 12 settimane può essere utile per migliorare i risultati della funzione fisica, come la forza muscolare (misurata con FTSSST e HGS) e la capacità di equilibrio (misurata con il TUGT e il BBS) e allo stesso tempo migliorare l'autoefficacia dell'esercizio, l'efficacia nelle cadute e la HRQOL. Nello specifico, i partecipanti al gruppo di intervento hanno innalzato i loro livelli di forza soprattutto sugli arti inferiori, il che è un fattore predittivo di future cadute, disabilità, ospedalizzazione e morte, oltre al fatto che praticare regolarmente esercizio di resistenza può rallentare il declino della forza muscolare legato all'età. In merito a ciò, uno strumento che è stato utilizzato dai partecipanti del gruppo di intervento è stata la banda elastica, la quale ha permesso di applicare una resistenza negli esercizi svolti a casa. Sul piano psicologico, l'autoefficacia dell'esercizio costituisce un fattore essenziale per l'impegno a seguire con costanza un piano di allenamento e un miglioramento di questa, assieme all'efficacia nelle cadute, può aumentare la fiducia nell'esercizio fisico e ridurre la paura di cadere in soggetti osteoporotici. Tuttavia, il trial potrebbe aver sovrastimato l'effetto terapeutico dell'esercizio su alcune variabili a causa della presenza di alcune limitazione dello studio, come la dimensione limitata del campione e il breve periodo di follow-up. Da ciò si deduce l'evidente necessità di condurre ulteriori studi per indagare meglio la "dose-risposta" dell'esercizio fisico nei partecipanti anziani con osteoporosi per migliorare la prognosi in questa popolazione.

Herda et al. (2023) (21)

Effect of six weeks of resistance training on bone preservation in older adults: a randomized control trial

Introduzione: Sebbene l'efficacia dell'esercizio fisico contro resistenza nel rinforzo della struttura ossea sia già stato ampiamente documentato, le ricerche precedenti si sono occupate prevalentemente di strategie di carico tradizionali, come bilancieri, manubri e macchine.

Scopo: valutare gli effetti di sole sei settimane di allenamento contro resistenza con manubri (DBRT) e con elastici (EBRT) sulla morfologia ossea dei partecipanti rispetto al gruppo di controllo senza esercizio fisico (CON) in adulti anziani.

Materiali e metodi: 73 adulti sani (tra i 55 e gli 85 anni) si sono offerti volontari e cinquantotto hanno completato questo studio. I partecipanti sono stati randomizzati nei due gruppi di intervento e nel gruppo di controllo e tutti si sono sottoposti inizialmente ad una sessione di test che consisteva in una DXA total body a digiuno per misurare il contenuto minerale osseo e la densità (rispettivamente BMC e BMD) sia dell'intero corpo che dei segmenti, ovvero braccia e gambe (BMCarm e BMCleg assieme a BMDarm e BMDleg). Inoltre, in ogni momento sono stati registrati i punteggi Z corrispondenti all'età e i punteggi T dei giovani adulti per indicare lo stato di osteopenia o osteoporosi. Per quanto riguarda invece il protocollo di intervento, tutti i partecipanti randomizzati a EBRT e DBRT hanno svolto 2 allenamenti a settimana per 6 settimane consecutive, per un totale di 12 sedute. Ogni sessione era supervisionata da un ricercatore e consisteva in tre serie di sei movimenti composti multiarticolari che riguardavano tutto il corpo e che venivano completati in ordine sequenziale: chest press, bent over row, squat, deadlift, overhead press e upright row. I recuperi tra una serie e l'altra sono diminuiti ogni due settimane, per favorire un aumento graduale dell'intensità; infatti nelle settimane 1-2 gli intervalli di riposo erano di 120 s, nelle settimane 3-4 di 90 s e nelle ultime due settimane di 60 s. Il carico di resistenza per i partecipanti è aumentato progressivamente con il completamento delle ripetizioni, l'intensità dell'esercizio o la diminuzione dell'intervallo di riposo. Quando i partecipanti completavano tre serie consecutive da 15, il carico aumentava per la sessione successiva, a meno che non fosse imminente il passaggio a periodi di riposo più brevi (settimana 3 o settimana 5). L'intensità della DBRT è stata registrata in base al peso totale dei manubri sollevati per ogni esercizio, mentre l'intensità della EBRT è stata registrata in base al colore/dimensione della fascia. Ai partecipanti del gruppo di controllo (CON) invece è stato chiesto di continuare a svolgere l'attività quotidiana.

Risultati: L'analisi statistica (*Figura 7*) ha evidenziato un significativo incremento della BMC_{arm} nel gruppo sottoposto ad allenamento con manubri ($p = 0,016$), a seguito del protocollo di esercizio. Al contrario, non sono emerse differenze significative nella BMD per gli altri gruppi considerati ($p > 0,05$). Un'interazione significativa tra il fattore tempo e il gruppo di trattamento ($p = 0.024$) sui punteggi Z standardizzati per l'età ha rivelato un miglioramento esclusivo del gruppo manubri dopo 6 settimane ($p = 0.015$). Tale risultato suggerisce una maggiore efficacia dell'allenamento con manubri nel migliorare la BMD rispetto all'allenamento con elastici, nonostante quest'ultimo gruppo presentasse inizialmente punteggi Z più elevati rispetto al gruppo di controllo.

		EBRT (n=24)			DBRT (n=21)			CON (n=13)		
		Mean	SD	%ch	Mean	SD	%ch	Mean	SD	%ch
BMD (g/cm ²)	PRE	1.18	0.15	0%	1.19	0.13	0%	1.12	0.11	1%
	POST	1.18	0.15		1.20	0.13		1.14	0.11	
BMD _{arm} (g/cm ²)	PRE	0.93	0.19	3%	0.92	0.18	4%	0.82	0.10	4%
	POST	0.96	0.20		0.95	0.17		0.85	0.15	
BMD _{leg} (g/cm ²)	PRE	1.24	0.19	1%	1.25	0.18	0%	1.18	0.14	0%
	POST	1.25	0.20		1.24	0.18		1.18	0.14	
BMC (kg)	PRE	2.66	0.69	0%	2.64	0.61	1%	2.40	0.47	-1%
	POST	2.66	0.69		2.65	0.63		2.36	0.43	
BMC _{arm} (kg)	PRE	0.34	0.12	0%	0.32	0.10	2%*	0.29	0.07	-2%
	POST	0.34	0.12		0.33	0.10	($p=0.016$)	0.28	0.07	
BMC _{leg} (kg)	PRE	1.05	0.27	1%	0.97	0.26	-1%	0.92	0.19	0%
	POST	1.06	0.27		0.97	0.26		0.92	0.19	
T-score	PRE	0.37	1.59	24%	0.50	1.32	11%	-0.18	1.50	59%
	POST	0.45	1.65		0.55	1.32		-0.08	1.49	
Z-score	PRE	0.95	1.29	8%	1.20	0.98	5%*	0.73	1.21	20%
	POST	1.03	1.33		1.26	0.99	($p=0.015$)	0.87	1.15	

*Denotes a significant change ($p < 0.05$) from PRE to POST for group indicated

Figura 7: Confronto dati gruppo EBRT, DBRT, CON prima e dopo l'intervento. (<https://link.springer.com/article/10.1007/s40520-023-02575-9#Tab2>).

Dal presente studio si evince che con un allenamento di resistenza di sole 6 settimane negli adulti anziani non si evidenzia alcun cambiamento significativo nella BMC o BMD assoluta totale del corpo, anche se il BMC_{arm} è migliorato nel DBRT. Infatti, sembra che l'applicazione di un carico fisico esterno al corpo, come accade nel tradizionale allenamento contro resistenza con sovraccarichi, fornisca uno stimolo maggiore per il rinforzo e il mantenimento della struttura ossea rispetto all'allenamento con bande elastiche o al gruppo di controllo.

Zhao et al. (2023) (22)

The effect of virtual reality technology on anti-fall ability and bone mineral density of the elderly with osteoporosis in an elderly care institution

Introduzione: le fratture osteoporotiche in seguito alle cadute rappresentano un problema per il sistema sanitario nazionale in quanto molto spesso comportano complicanze, soprattutto in soggetti anziani. Sono sicuramente necessarie strategie innovative ed efficaci per migliorare la capacità anticaduta e la densità minerale ossea dei soggetti osteoporotici.

Scopo: lo studio in questione si propone di valutare gli effetti dell'esercizio fisico applicato tramite la tecnologia della realtà virtuale (VR) e dell'integrazione orale di calcio sulla capacità di prevenire le cadute e sulla BMD (densità minerale ossea) di soggetti anziani affetti da osteoporosi ricoverati in un istituto di cura. Si è ipotizzato che tra i possibili effetti ci fossero: un miglioramento dei punteggi della Berg Balance Scale (BBS), del Timed Up and Go Test (TUGT) e del Functional Gait Assessment (FGA) e un aumento della BMD della colonna vertebrale lombare e del collo del femore, prevenendo e riducendo così il rischio di lesioni negli anziani.

Materiali e metodi: Cinquanta persone che soddisfacevano i criteri di inclusione sono stati selezionate per lo studio e sono state suddivise in modo casuale in due gruppi: gruppo di controllo (n=25) e gruppo di intervento (n=25). I soggetti di entrambi i gruppi hanno assunto calcio come trattamento di base contro l'osteoporosi (sotto forma di compresse masticabili di vitamina D). I soggetti del primo gruppo hanno seguito un programma di esercizi tradizionale per la prevenzione alle cadute, che prevedeva ginnastica aerobica di media intensità ed esercizi con gli attrezzi, da svolgere 3 volte a settimana per 50 minuti per 12 mesi. Gli obiettivi erano di migliorare la forza dei muscoli addominali e degli arti inferiori, allenare l'equilibrio e migliorare la deambulazione. Invece i soggetti del gruppo d'intervento si sono sottoposti ad un programma di riabilitazione basato sulla VR (Nanjing Moxun Company, Motion2.0) in cui hanno indossato delle maschere oculari e hanno svolto 3 tipi di giochi sportivi: sci, immersioni e corsa. Il regime di allenamento era di 3 volte a settimana per 50 minuti (compresi 5 minuti di riscaldamento, 40 minuti di allenamento con giochi sportivi VR e 5 minuti di esercizio organizzato), per un periodo totale di 12 mesi. Nella raccolta dei dati è stato utilizzato l'International Physical Activity Questionnaire-Short Form (IPAQ-SF) per misurare i livelli di attività fisica prima dell'allenamento. Tutti i soggetti sono stati valutati per i parametri anticaduta e la BMD prima dell'allenamento, 6 mesi e 12 mesi dopo l'allenamento. Tra i parametri anticaduta erano compresi la Berg balance scale (BBS), il Timed up and go test (TUGT) e

il Functional gait assessment (FGA), mentre la densità minerale ossea del collo del femore e delle vertebre lombari dei pazienti è stata misurata con una assorbimetria a raggi X a doppia energia.

Risultati: Dai risultati dello studio, visibili nella *Figura 1*, si evince che vi sia una correlazione positiva tra i punteggi della BBS e del FGA con i valori della densità minerale ossea del collo del femore e delle vertebre lombari, mentre i punteggi del TUGT erano correlati negativamente con la BMD del collo femorale e delle vertebre lombari. Prima dell'intervento, non erano state riscontrate differenze significative in termini di punteggi BBS, TUG e FGA tra i gruppi di controllo e VR. Tuttavia, 12 mesi dopo l'intervento i punteggi BBS e FGA del gruppo VR sono aumentati significativamente rispetto a quelli del gruppo di controllo, mentre il punteggio TUG del gruppo VR è diminuito significativamente rispetto a quello del gruppo di controllo (*Figura 8*). Pertanto, l'esercizio fisico applicato con tecniche di VR si dimostra più efficace del tradizionale allenamento sportivo nel migliorare la capacità di equilibrio, la coordinazione dell'andatura e la forza muscolare degli arti inferiori dei partecipanti allo studio, rappresentando così un intervento migliore per la prevenzione delle cadute negli anziani ricoverati in un istituto sanitario.

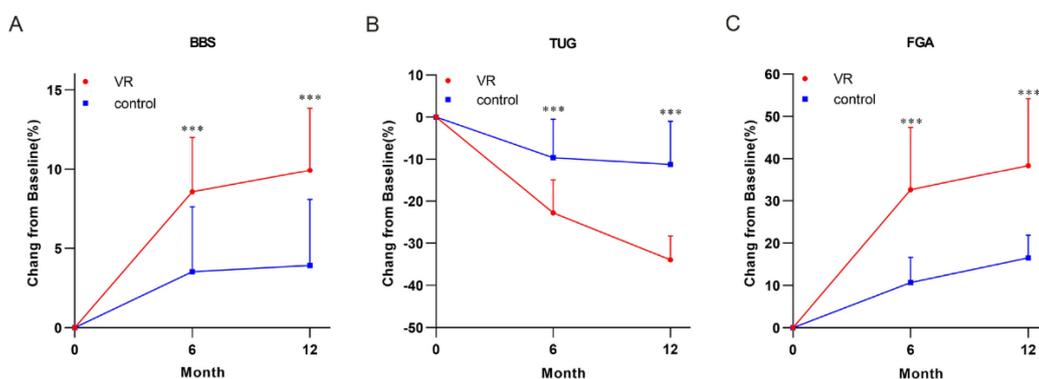


Figura 8: Variazione percentuale di BBS, TUG e FGA dopo l'intervento. I risultati sono mostrati per le variazioni percentuali di BBS (A), TUG (B) e FGA (C). (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37386503/>)

Per quanto concerne l'aspetto osseo, sono state valutate e confrontate le variazioni percentuali della BMD della colonna lombare e del collo femorale dei gruppi VR e di controllo prima e durante il periodo in cui si è svolto lo studio. I risultati hanno mostrato che la BMD della colonna lombare e del collo del femore del gruppo VR è aumentata significativamente dopo l'allenamento di 12 mesi. Tuttavia, la BMD della colonna lombare e del collo del femore del gruppo di controllo non è aumentata significativamente dopo l'allenamento di 6 mesi (*Figura 9*).

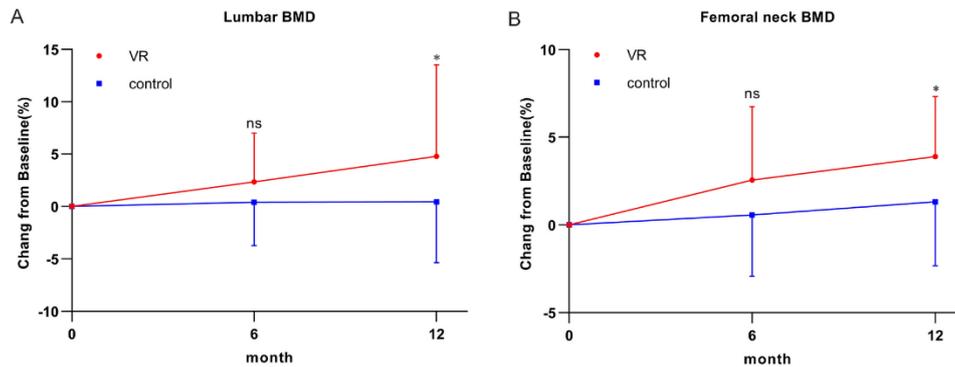


Figura 9: Variazione percentuale della BMD della colonna lombare e del collo del femore dopo l'intervento. I risultati sono mostrati per le variazioni percentuali della BMD a livello della colonna lombare (A) e del collo del femore (B). I dati sono presentati come media \pm SD. * $P < 0,05$, ns: nessuna significatività. (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37386503/>).

Durante il periodo della sperimentazione, due soggetti del gruppo di controllo hanno subito una caduta, uno dei quali ha riportato una frattura del radio distale, mentre nel gruppo VR un soggetto ha subito una caduta ma non si è verificata alcuna frattura. Tuttavia, non vi è stata alcuna differenza significativa nell'incidenza di eventi avversi tra i due gruppi.

In conclusione, è possibile affermare che un protocollo di esercizio fisico applicato con tecniche VR è più efficace nel migliorare la capacità anticaduta e la BMD dei pazienti anziani osteoporotici rispetto all'allenamento tradizionale.

CONCLUSIONI

In tutti gli articoli analizzati l'esercizio fisico, nello specifico quello contro resistenza, si è rivelato un potente mezzo per gestire e contrastare l'osteoporosi rafforzando l'architettura ossea e migliorando le performance fisiche funzionali alla prevenzione delle cadute, specie nei soggetti anziani. Dallo studio di Watson et al. (19) emerge che l'esercizio fisico contro resistenza ad alta intensità e ad alto impatto non solo migliora i parametri di resistenza ossea e le funzioni fisiche in donne in postmenopausa con osteopenia o osteoporosi, ma sia anche sicuro, nonostante il pensiero comune tenda a considerare questo tipo di allenamento inadeguato e pericoloso per questa popolazione. Talvolta però non si hanno a disposizione i mezzi per applicare questo tipo di programma, quindi Zhang et al. (20) hanno indagato gli effetti di un allenamento di resistenza svolto in ambiente domestico con l'ausilio di una banda elastica da parte di partecipanti anziani con osteoporosi. Essi sono migliorati sia sotto l'aspetto fisico, aumentando la loro forza muscolare e la capacità di equilibrio, sia sotto l'aspetto psicologico, aumentando l'efficacia nelle cadute, l'autoefficacia dell'esercizio e la HRQOL. Lo studio di Herda et al. (21) invece ha preso in considerazione non solo le bande elastiche ma anche i manubri (che vengono solitamente utilizzati nell'allenamento tradizionale) come mezzi per fornire uno stimolo allenante e ha confrontato gli effetti di un programma basato su questi con un gruppo di controllo senza esercizio fisico. Vista la breve durata della sperimentazione (solo 6 settimane) non sono stati rilevati cambiamenti statisticamente significativi a livello osseo, ma è stato possibile affermare che l'applicazione di un carico fisico esterno al corpo, come accade nel tradizionale allenamento contro resistenza con sovraccarichi, fornisca uno stimolo maggiore per il rinforzo e il mantenimento della struttura ossea rispetto all'allenamento con bande elastiche o al gruppo di controllo. Inoltre, lo studio di Zhao et al. (22) ha invece sfruttato le recenti innovazioni tecnologiche studiando gli effetti di un programma di allenamento basato sulla realtà virtuale rivolto agli anziani di un istituto di cura. Nello specifico, sono stati indagati gli effetti di questo protocollo sulla capacità anticaduta e sulla BMD dei partecipanti dimostrando, al termine della sperimentazione, la sua validità e addirittura la sua superiorità rispetto ai programmi tradizionali di allenamento pensati per questa popolazione.

Per concludere, tramite le ricerche da me condotte, ho avuto modo di esplorare le diverse metodiche di allenamento adattate alle persone con osteoporosi, riuscendo così ad ampliare il mio bagaglio di conoscenze che potrò applicare in ambito lavorativo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Cashman (2003), in Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)
- 2) A. Redaelli e F. Montevercchi, (2007), “Biomeccanica, analisi multiscala di tessuti biologici”, pp.56-59
- 3) Chang X, Xu S, Zhang H. Regulation of bone health through physical exercise: Mechanisms and types. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2022 Dec 7;13:1029475. doi: 10.3389/fendo.2022.1029475. PMID: 36568096; PMCID: PMC9768366
- 4) C Christodoulou, C Cooper, What is osteoporosis?, *Postgraduate Medical Journal*, Volume 79, Issue 929, March 2003, Pages 133–138, <https://doi.org/10.1136/pmj.79.929.133>
- 5) Kanis, International Osteoporosis Foundation. Toronto, 2006
- 6) Ettinger MP. Aging bone and osteoporosis: strategies for preventing fractures in the elderly. *Arch Intern Med*. 2003 Oct 13;163(18):2237-46. doi: 10.1001/archinte.163.18.2237. PMID: 14557222.
- 7) Liu, Z.; Wang, Q.; Zhang, J.; Qi, S.; Duan, Y.; Li, C. The Mechanotransduction Signaling Pathways in the Regulation of Osteogenesis. *Int. J. Mol. Sci.* 2023, 24, 14326. <https://doi.org/10.3390/ijms241814326>
- 8) Sinaki (1989) [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(21\)01691-9](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(21)01691-9)
- 9) Benedetti MG (2018), Furlini G, Zati A, Letizia Mauro G. The Effectiveness of Physical Exercise on Bone Density in Osteoporotic Patients. *Biomed Res Int*. 2018 Dec 23;2018:4840531. doi: 10.1155/2018/4840531. PMID: 30671455; PMCID: PMC6323511.
- 10) Kohrt (2004), Wendy M. Ph.D., FACSM (Chair); Bloomfield, Susan A. Ph.D., FACSM; Little, Kathleen D. Ph.D.; Nelson, Miriam E. Ph.D., FACSM; Yingling, Vanessa R. Ph.D.. Physical Activity and Bone Health. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36(11):p 1985-1996, November 2004. | DOI: 10.1249/01.MSS.0000142662.21767.58.
- 11) Ji MX (2015), Yu Q. Primary osteoporosis in postmenopausal women. *Chronic Dis Transl Med*. 2015 Mar 21;1(1):9-13. doi: 10.1016/j.cdtm.2015.02.006. PMID: 29062981; PMCID: PMC5643776.
- 12) Rizzoli R (2014), Bischoff-Ferrari H, Dawson-Hughes B, Weaver C. Nutrition and bone health in women after the menopause. *Womens Health (Lond)*. 2014 Nov;10(6):599-608. doi: 10.2217/whe.14.40. PMID: 25482487

- 13) Linhares DG, Borba-Pinheiro CJ, Castro JBP, Santos AOBD, Santos LLD, Cordeiro LS, Drigo AJ, Nunes RAM, Vale RGS. Effects of Multicomponent Exercise Training on the Health of Older Women with Osteoporosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Oct 30;19(21):14195. doi: 10.3390/ijerph192114195. PMID: 36361073; PMCID: PMC9655411
- 14) Zehnacker, Carol Hamilton PT, DPT, MS1; Bemis-Dougherty, Anita PT, DPT, MAS2. Effect of Weighted Exercises on Bone Mineral Density in Post Menopausal Women A Systematic Review. *Journal of Geriatric Physical Therapy* 30(2):p 79-88, August 2007
- 15) Porter JL, Varacallo M. Osteoporosis. [Updated 2023 Aug 4]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441901/>
- 16) Srivastava M, Deal C. Osteoporosis in elderly: prevention and treatment. *Clin Geriatr Med*. 2002 Aug;18(3):529-55. doi: 10.1016/s0749-0690(02)00022-8. PMID: 12424871. (2002)
- 17) Anika K, (2021), <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2021.05.016>
- 18) Sangondimath G, Sen RK, T FR. DEXA and Imaging in Osteoporosis. *Indian J Orthop*. 2023 Dec 12;57(Suppl 1):82-93. doi: 10.1007/s43465-023-01059-2. PMID: 38107793; PMCID: PMC10721776. (2023)
- 19) Watson SL, Weeks BK, Weis LJ, Harding AT, Horan SA, Beck BR. High-Intensity Resistance and Impact Training Improves Bone Mineral Density and Physical Function in Postmenopausal Women With Osteopenia and Osteoporosis: The LIFTMOR Randomized Controlled Trial. *J Bone Miner Res*. 2018 Feb;33(2):211-220. doi: 10.1002/jbmr.3284. Epub 2017 Oct 4. Erratum in: *J Bone Miner Res*. 2019 Mar;34(3):572. doi: 10.1002/jbmr.3659. PMID: 28975661. (2018)
- 20) Zhang F, Wang Z, Su H, Zhao H, Lu W, Zhou W, Zhang H. Effect of a home-based resistance exercise program in elderly participants with osteoporosis: a randomized controlled trial. *Osteoporos Int*. 2022 Sep;33(9):1937-1947. doi: 10.1007/s00198-022-06456-1. Epub 2022 Jun 15. PMID: 35704055.
- 21) Herda, A.A., Nabavizadeh, O. Effect of six weeks of resistance training on bone preservation in older adults: a randomized control trial. *Aging Clin Exp Res* 35, 2633–2641 (2023). <https://doi.org/10.1007/s40520-023-02575-9>
- 22) Zhao R, Zhao X, Guan J, Zhang C, Zhu K. The effect of virtual reality technology on anti-fall ability and bone mineral density of the elderly with osteoporosis in an elderly care institution.

Eur J Med Res. 2023 Jun 29;28(1):204. doi: 10.1186/s40001-023-01165-9. PMID: 37386503;
PMCID: PMC10308624.