



Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA
PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi*

TESI DI LAUREA

**STENOSI SPINALE LOMBARE: VALUTAZIONE E TRATTAMENTI CONSERVATIVI DI
MAGGIOR EFFICACIA SECONDO LE EVIDENZE PIU' RECENTI. UNA REVISIONE
NARRATIVA DELLA LETTERATURA.**

**(Lumbar spinal stenosis: clinical assessment and most effective conservative treatments according
to the latest evidence. A narrative review of the literature.)**

RELATORE: Prof. Mauro Cervesato

LAUREANDO: Tommaso Tuis

Anno Accademico 2024/2025

INDICE

RIASSUNTO

ABSTRACT

INTRODUZIONE	1
---------------------------	----------

MATERIALI E METODI	2
---------------------------------	----------

CAPITOLO 1 – FISIOPATOLOGIA DELLA STENOSI SPINALE LOMBARE

1.1 Anatomia e biomeccanica del rachide lombare.....	4
---	----------

1.1.1 Anatomia del rachide lombare	4
--	---

1.1.2 Biomeccanica del rachide lombare	8
--	---

1.2 Stenosi spinale lombare: definizione, eziologia e classificazione	9
--	----------

1.3 Meccanismi patologici e neurofisiologici della stenosi spinale lombare.....	11
--	-----------

1.3.1 Meccanismi patologici e neurofisiologici della stenosi spinale lombare acquisita	11
--	----

1.3.2 Meccanismi patologici e neurofisiologici della stenosi spinale lombare congenita	15
--	----

CAPITOLO 2 – EPIDEMIOLOGIA E DIAGNOSI DELLA STENOSI SPINALE LOMBARE

2.1 Prevalenza e fattori di rischio	17
--	-----------

2.2 Tecniche diagnostiche	19
--	-----------

2.2.1 Valutazione fisioterapica	19
---------------------------------------	----

2.2.2 Diagnosi differenziale	22
------------------------------------	----

2.2.3 Imaging	23
---------------------	----

CAPITOLO 3 – TRATTAMENTO DELLA STENOSI SPINALE LOMBARE ED EVIDENZE DI EFFICACIA

3.1 Trattamenti conservativi della stenosi spinale lombare	25
---	-----------

3.1.1 Esercizio terapeutico	26
-----------------------------------	----

3.1.2 Terapia manuale	29
-----------------------------	----

3.1.3 Terapie strumentali.....	31
--------------------------------	----

3.1.4 Terapie farmacologiche.....	32
-----------------------------------	----

3.1.5 Iniezioni epidurali	33
---------------------------------	----

3.2 Evidenze di efficacia dei trattamenti conservativi della stenosi spinale lombare	34
---	-----------

3.2.1 Esercizio terapeutico e terapia manuale.....	34
--	----

3.2.2 Fisioterapia supervisionata e autogestista	38
--	----

3.2.3 Trattamenti fisioterapici strumentali	41
---	----

3.2.4 Trattamenti mini-invasivi.....	43
--------------------------------------	----

3.3 Panoramica dei trattamenti chirurgici della stenosi spinale lombare	45
--	-----------

DISCUSSIONE	48
--------------------------	-----------

CONCLUSIONI.....	50
-------------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA.....	51
--------------------------	-----------

RIASSUNTO

Background: La stenosi spinale lombare rappresenta una condizione degenerativa della colonna vertebrale tipica dell'adulto e dell'anziano, caratterizzata da un progressivo restringimento del canale spinale nel tratto lombare ed associata a dolore cronico e riduzione della funzionalità. Ad oggi, nonostante il crescente interesse clinico da parte della comunità scientifica, non esistono protocolli standardizzati per il trattamento conservativo di questa patologia, né linee guida condivise che definiscano con chiarezza la superiorità, in termini di efficacia, di un trattamento sugli altri.

Obiettivo: Questo lavoro si è proposto di analizzare le evidenze disponibili sull'efficacia dei trattamenti conservativi nella gestione della stenosi spinale lombare, al fine di effettuare confronti diretti tra i dati raccolti ed individuare le strategie di trattamento con il maggior livello di efficacia.

Materiali e metodi: È stata condotta una revisione narrativa della letteratura, selezionando *trial* clinici randomizzati e revisioni sistematiche pubblicati negli ultimi dieci anni e pertinenti all'obiettivo del presente studio. Sono stati inclusi studi in lingua inglese e italiana, focalizzati su interventi conservativi quali esercizio terapeutico, terapia manuale, trattamenti strumentali, procedure mini-invasive, trattamenti supervisionati, autogestiti, individuali e di gruppo.

Risultati: Dall'analisi delle evidenze emerge che i programmi di esercizio terapeutico strutturato, soprattutto se integrati con terapia manuale ed educazione del paziente, rappresentano l'approccio conservativo più promettente. La fisioterapia supervisionata si dimostra superiore agli esercizi autogestiti o di gruppo, in particolare nel breve termine, con benefici rilevanti su sintomatologia, capacità di cammino e qualità di vita, presentando inoltre una maggiore probabilità di mantenere i miglioramenti nel medio-lungo periodo. Al contrario, i trattamenti passivi (tecniche strumentali e mini-invasive) hanno mostrato un'efficacia limitata, prevalentemente circoscritta al breve termine e priva di impatto clinico duraturo.

Conclusioni: Le evidenze attualmente disponibili supportano l'efficacia di approcci conservativi attivi, multimodali e supervisionati, indicando la fisioterapia attiva come cardine fondamentale nella gestione conservativa della stenosi spinale lombare. Permane tuttavia la necessità di ulteriori studi di elevata qualità metodologica, con protocolli standardizzati e follow-up prolungati, per consolidare le conoscenze acquisite e definire strategie terapeutiche ottimali.

ABSTRACT

Background: Lumbar spinal stenosis is a degenerative condition of the spine typically affecting older adults, characterized by progressive narrowing of the lumbar spinal canal, leading to chronic pain and functional impairment. Despite the growing clinical interest from the scientific community, no standardized protocols currently exist for its conservative management, nor are there universally accepted guidelines clearly defining the superiority of one treatment over another in terms of effectiveness.

Objective: The aim of this study was to analyze the available evidence on the effectiveness of conservative treatments in the management of lumbar spinal stenosis, in order to perform direct comparisons of the collected data and to identify the strategies associated with the greatest level of efficacy.

Materials and Methods: A narrative literature review was conducted, including randomized controlled trials and systematic reviews published in the last ten years and pertinent to the study objective. Studies written in English and Italian were considered, focusing on conservative interventions such as therapeutic exercise, manual therapy, instrumental treatments, minimally invasive procedures, including supervised, self-managed, individual, and group-based programs.

Results: The analysis showed that structured therapeutic exercise programs, especially when combined with manual therapy and patient education, represent the most promising conservative approach. Supervised physiotherapy proved to be superior to self-managed or group exercise, particularly in the short term, with significant results in terms of symptoms, walking capacity, and quality of life, as well as a greater likelihood of maintaining improvements in the medium to long term. Conversely, passive treatments (instrumental techniques and minimally invasive procedures) demonstrated only limited short-term effectiveness, without long-lasting clinical impact.

Conclusions: Current evidence supports the effectiveness of active, multimodal, and supervised conservative approaches, highlighting active physiotherapy as a cornerstone in the conservative management of lumbar spinal stenosis. Nevertheless, further high-quality studies with standardized protocols and extended follow-ups are needed to consolidate current knowledge and to define optimal therapeutic strategies.

INTRODUZIONE

La stenosi spinale lombare rappresenta una delle principali condizioni degenerative della colonna vertebrale nella popolazione adulta e anziana, ed è caratterizzata dal restringimento del canale vertebrale in sede lombare.^[1] Questo può determinare la compressione delle strutture nervose e, di conseguenza, una vasta gamma di sintomi, tra cui dolore lombare, claudicatio neurogena e limitazioni funzionali, con un impatto significativo sulla qualità di vita dei pazienti.^[1]

L'interesse verso questa condizione non è soltanto clinico, ma anche sociale ed economico. Il progressivo aumento delle patologie cronico-degenerative nella popolazione, conseguente all'invecchiamento demografico e all'aumento dell'aspettativa di vita, comporta un aumento crescente dei casi di stenosi spinale lombare, con conseguenze rilevanti in termini di costi sanitari diretti e indiretti, legati alla gestione terapeutica e alla ridotta indipendenza funzionale dei pazienti.^[2]

In questo contesto, la valutazione clinica e la definizione del percorso terapeutico assumono un ruolo centrale. La chirurgia costituisce un'opzione consolidata nei casi più severi o resistenti; tuttavia, in un'ottica di minore invasività, nelle forme lievi e moderate la gestione conservativa rappresenta il trattamento di prima scelta, includendo interventi di tipo fisioterapico e farmacologico, spesso combinati tra loro, con l'obiettivo di alleviare la sintomatologia, migliorare la funzionalità e preservare l'autonomia, limitando al contempo i rischi e le complicanze operatorie.^[3] Ciononostante, le evidenze scientifiche disponibili non sempre concordano nell'indicare quale tra questi interventi risulti maggiormente efficace; le differenze metodologiche tra gli studi e l'eterogeneità dei pazienti esaminati rendono infatti complessa l'individuazione di linee guida condivise.^[3]

Obiettivo del presente lavoro è dunque approfondire le conoscenze relative alla stenosi spinale lombare e, tramite la revisione della letteratura, individuare le strategie conservative che hanno mostrato i migliori risultati in termini di riduzione del dolore, miglioramento funzionale e qualità di vita dei pazienti, al fine di fornire una panoramica aggiornata e utile per l'ambito fisioterapico.

MATERIALI E METODI

Per la stesura della presente tesi è stata condotta una revisione narrativa della letteratura relativa al trattamento conservativo della stenosi spinale lombare in pazienti adulti, basata principalmente su studi pubblicati in riviste scientifiche internazionali *peer-reviewed*, considerati fonti primarie di evidenza. Per un'accurata contestualizzazione clinica e terminologica, sono stati inoltre consultati libri di testo in lingua inglese e italiana, selezionati per la loro solidità scientifica e per il rigoroso approccio *evidence-based*.

La ricerca degli articoli è stata effettuata attraverso le banche dati informatiche PubMed e Cochrane Library, utilizzando combinazioni di parole chiave quali “*lumbar spinal stenosis*”, “*conservative treatment*”, “*physical therapy*”, “*manual therapy*”, “*exercise*”, “*randomized controlled trial*” e “*systematic review*”. Sono stati considerati articoli esclusivamente in lingua inglese o italiana, dotati di abstract e pubblicati tra il 2015 e il 2025; tuttavia, per i richiami anatomico-fisiologici sono state considerate anche pubblicazioni più datate, in quanto ritenute essenziali per il corretto inquadramento concettuale.

In particolare, per la presente revisione sono stati selezionati sette studi randomizzati controllati (*Randomized Controlled Trial*, RCT), pubblicati a partire dal 2015, con basso rischio di bias e livello di evidenza 1b secondo la gerarchia delle evidenze proposta dall'Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (OCEBM). Questi studi costituiscono il focus principale della tesi, in quanto forniscono dati dettagliati sull'efficacia dei trattamenti conservativi nella stenosi spinale lombare, permettendo di effettuare dei confronti fra le diverse strategie terapeutiche. I criteri di inclusione applicati prevedevano pazienti adulti con diagnosi di stenosi spinale lombare sintomatica sottoposti a interventi conservativi, mentre sono stati esclusi studi su pazienti con altre patologie spinali, studi di casi isolati, studi su pazienti pediatrici, pubblicazioni non *peer-reviewed* o in lingue non selezionate. Inoltre, a supporto dei RCT sono state selezionate sette revisioni sistematiche pertinenti agli stessi criteri di selezione, riportate e descritte nella sezione dedicata all'analisi dei dati, con la funzione di integrare e rafforzare il quadro complessivo delle evidenze scientifiche.

Tutte le caratteristiche dei RCT inclusi sono riportate nel dettaglio nella Tabella 1.

Autore e anno	Titolo	Tipo di studio	Rivista e Impact Factor	Paese	Popolazione	Intervento	Criteri di inclusione ed esclusione	Confronto/controllo	Outcome principali	Durata follow-up	Risultati principali	Rischio di bias	Livello di evidenza	Finanziamento/conflicti di interesse
Friedly et al., 2017	Long-Term Effects of Repeated Injections of Local Anesthetic With or Without Corticosteroid for Lumbar Spinal Stenosis: A Randomized Trial	RCT	Archives of Physical Medicine and Rehabilitation (IF 3,6)	USA	400 pazienti	Iniezione epidurale di corticosteroidi + lidocaina	Inclusione: LSS centrale; sintomi persistenti. Esclusione: chirurgia recente, comorbidità gravi	Iniezione epidurale di solo lidocaina	Livello di disabilità (Roland-Morris Disability Questionnaire); intensità dolore AAI	6 settimane - 12 settimane - 12 mesi	Nessuna differenza tra gruppi; nessun miglioramento se non c'era beneficio entro le prime 6 settimane	Basso	1b	NIH; nessun conflitto dichiarato
Ammendolia et al., 2018	Comprehensive Nonsurgical Treatment Versus Self-directed Care to Improve Walking Ability in Lumbar Spinal Stenosis: A Randomized Trial	RCT	Archives of Physical Medicine and Rehabilitation (IF 3,6)	Canada	104 pazienti	Programma multimodale supervisionato (educazione, esercizi, terapia manuale)	Inclusione: LSS con claudicatio. Esclusione: chirurgia progressa	Programma autogestito	Distanza percorsa nel Self-Paced Walk Test (SPWT); MCID nel SPWT a 6 mesi	6 mesi - 12 mesi	Miglioramenti significativi nella distanza percorsa e nel MCID nel gruppo multimodale	Basso	1b	Canadian Health Research Institute; nessun conflitto dichiarato
Hammerich et al., 2019	Effectiveness of Physical Therapy Combined With Epidural Steroid Injection for Individuals With Lumbar Spinal Stenosis: A Randomized Parallel-Group Trial	RCT	Archives of Physical Medicine and Rehabilitation (IF 3,6)	USA	54 pazienti	Iniezione epidurale steroidica + fisioterapia + educazione	Inclusione: LSS; claudicatio, età >50 anni. Esclusione: interventi chirurgici; comorbidità severe	Iniezione epidurale steroidica + educazione	Indice di disabilità di Oswestry (ODI)	10 settimane - 6 mesi - 12 mesi	Gruppo PT ha miglioramenti superiori in QOL, funzione emotiva e benessere generale	Basso	1b	NIH; nessun conflitto dichiarato
Schneider et al., 2019	Comparative Clinical Effectiveness of Nonsurgical Treatment Methods in Patients With Lumbar Spinal Stenosis	RCT	JAMA Network Open (IF 10,5)	USA	259 pazienti	Fisioterapia - cure mediche - esercizi di gruppo	Inclusione: LSS con sintomi, età ≥60 anni. Esclusione: chirurgia pregressa; comorbidità severe	Fisioterapia - cure mediche - esercizi di gruppo	Sintomi e funzione fisica (SSO); Capacità di cammino (SPWT)	2 mesi - 6 mesi	La fisioterapia è superiore a cure mediche ed esercizi di gruppo a 2 mesi; non ci sono differenze a 6 mesi	Basso	1b	NIH; nessun conflitto dichiarato
Ammendolia et al., 2019	Effect of active TENS versus de-tuned TENS on walking capacity in patients with lumbar spinal stenosis	RCT	Clinopractic & Manual Therapies (IF 2,3)	Canada	104 pazienti	TENS	Inclusione: età ≥50 anni; LSS con claudicatio neurogena. Esclusione: chirurgia pregressa	TENS de-tuned (placebo)	Distanza percorsa durante lo SPWT; MCID (>30% nella distanza di cammino percorsa)	Immediato (durante il test)	Nessuna differenza significativa tra gruppi	Basso	1b	The Arthritis Society; nessun conflitto dichiarato
Minetama et al., 2019	Supervised physical therapy vs. home exercise for patients with lumbar spinal stenosis	RCT	The Spine Journal (IF 4,7)	Giappone	86 pazienti	Fisioterapia supervisionata	Inclusione: LSS; claudicatio; età >50 anni. Esclusione: chirurgia pregressa; comorbidità severe	Esercizi non supervisionati	Severità dei sintomi (ZCO)	6 settimane	Maggiori miglioramenti nel gruppo della fisioterapia supervisionata	Basso	1b	Japan Health Research Institute; nessun conflitto dichiarato
Williamson et al., 2022	The Clinical Effectiveness of a Physiotherapy Delivered Physical and Psychological Group Intervention for Older Adults With Neurogenic Claudication: The BOOST Randomized Controlled Trial	RCT	The Journals of Gerontology: Biological and Medical Sciences (IF 4,1)	UK	435 pazienti	Programma BOOST: intervento di gruppo fisioterapico e psicologico	Inclusione: età ≥65 anni; claudicatio. Esclusione: incapacità di camminare; comorbidità severe	Consulenza individuale ed educazione (BPA)	Indice di disabilità di Oswestry (ODI)	6 mesi - 12 mesi	Miglioramenti maggiori nel gruppo BOOST rispetto al gruppo BPA	Basso	1b	NHS; nessun conflitto dichiarato

Tabella 1: selezione articoli RCT.

CAPITOLO 1

FISIOPATOLOGIA DELLA STENOSI SPINALE LOMBARE

1.1 Anatomia e biomeccanica del rachide lombare

1.1.2 Anatomia del rachide lombare

Il rachide lombare costituisce il tratto inferiore della colonna vertebrale e la sua porzione ossea è composta da cinque vertebre, nominate da L1 (estremità superiore) a L5 (estremità inferiore).

Ciascuna vertebra presenta componenti anatomiche ben distinte, quali:^[4]

- Corpo vertebrale: la porzione anteriore e di maggior volume della vertebra, è costituito da osso spugnoso trabecolare ricoperto da un sottile strato di osso compatto. A livello lombare possiede un volume maggiore rispetto ai restanti distretti rachidei, in quanto serve a sostenere il carico proveniente dalle strutture corporee sovrastanti.
- Peduncoli: due corti segmenti ossei che dipartono posteriormente dal corpo vertebrale e fungono da ponte con le strutture ad essi adiacenti; delimitano il forame vertebrale.
- Processi trasversi: due eminenze ossee che si estendono in direzione laterale dai peduncoli; sono punti di inserzione per legamenti e muscoli.
- Processi articolari (o zigapofisari): permettono l'articolazione fra le vertebre, in particolare i due processi articolari superiori si orientano posteriormente e medialmente in direzione dei due processi articolari inferiori della vertebra soprastante, quest'ultimi si direzionano inferiormente e lateralmente per articolarsi con i processi articolari superiori della vertebra sottostante.
- Lamine: due segmenti ossei che si estendono, continuativamente ai peduncoli, in direzione caudale per congiungersi sulla linea mediana e delimitare posteriormente il forame vertebrale.
- Processo spinoso: l'estremità posteriore della vertebra, a decorso quasi orizzontale in questo distretto rachideo, con ruolo di protezione ed inserzione per legamenti e muscoli.
- Processi accessori e processi mammillari: piccole prominenze costituenti siti di inserzione per muscoli profondi del dorso; i primi sono localizzati alle basi dei processi trasversi, i secondi nelle porzioni posteriori dei processi articolari superiori. Sono elementi esclusivi del rachide lombare.

Dalla seconda vertebra cervicale (C2) alla prima vertebra sacrale (S1), fra i corpi vertebrali si interpongono i dischi intervertebrali, strutture fibrocartilaginee con funzione di distribuire il carico, consentire e/o limitare la mobilità vertebrale e mantenere la distanza fra i corpi vertebrali.^[4]

Vi sono tre componenti che costituiscono il disco intervertebrale. La prima è il nucleo polposo, situato centralmente, che grazie alla sua composizione ricca d'acqua, proteoglicani e collagene, permette una distribuzione uniforme delle forze compressive all'interno del disco.^[5] La seconda componente, l'*anulus fibrosus*, circonda il nucleo polposo ed è costituito da una serie di lamelle concentriche formate da fibre collagene orientate in direzioni alternate, le quali conferiscono al disco una buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche.^[5] La terza e ultima componente corrisponde alla placca cartilaginea, uno strato orizzontale inferiore a 1 millimetro di spessore che mette in comunicazione il disco con il corpo vertebrale; consente il passaggio dei nutrienti tramite diffusione, ovviando alla mancanza di vascolarizzazione propria del disco.^[5]

Ad esclusione dei dischi intervertebrali, le vertebre si collegano tra loro tramite le faccette articolari, articolazioni sinoviali che tramite i processi articolari uniscono posteriormente le porzioni superiori ed inferiori di ciascuna vertebra.^[4] A livello lombare le faccette articolari sono orientate in senso sagittale, consentendo una maggior libertà di movimento in flessione e limitando le rotazioni e/o le traslazioni anteriori.^[6]

La stabilità della regione lombare è garantita da un complesso sistema legamentoso, così costituito:

- Legamento longitudinale anteriore: spesso e resistente, è collocato nella porzione anteriore dei corpi vertebrali e dei dischi intervertebrali; stabilizza la colonna nei movimenti effettuati sul piano sagittale, in particolare limitando l'iperestensione. Inoltre, svolge un ruolo contenitivo per il corretto posizionamento dei dischi intervertebrali.^[7]
- Legamento longitudinale posteriore: decorre lungo la porzione posteriore dei corpi vertebrali e dei dischi intervertebrali; stabilizza la colonna nei movimenti effettuati sul piano sagittale, in particolare limitando la flessione. Svolge anch'esso un ruolo contenitivo per il corretto posizionamento dei dischi intervertebrali, ma in misura minore rispetto al legamento longitudinale anteriore poiché risulta molto più sottile.^[8]
- Legamenti gialli (o *legamenta flava*): così denominati per la presenza di fibre di elastina che ne caratterizza la colorazione, sono interposti fra le lamine vertebrali e vengono tensionati durante la flessione della colonna, prevenendo un allontanamento eccessivo delle lamine e favorendo il ritorno in posizione eretta.^[9]

- Legamenti interspinosi e legamento sopraspinoso: i primi sono interposti tra i processi spinosi, il secondo ne collega le apofisi; svolgono entrambi la funzione di limitare la flessione del rachide.^[4]
- Legamento mammillo-accessorio: origina dal processo mammillare e si inserisce nel processo accessorio della medesima vertebra. Crea un tunnel osteofibroso che garantisce il passaggio della branca mediale del ramo dorsale (nervo spinale).^[10]

Il rachide lombare è contornato da numerosi muscoli; la loro contrazione sinergica consente l'esecuzione di una vasta gamma di movimenti, quali flessione anteriore e laterale, estensione e rotazione, concorrendo così alla stabilità statica e dinamica delle strutture vertebrali.^[11] Questo sistema muscolare può essere distinto in più gruppi funzionali. Gli erettori della colonna, che comprendono l'ileo-costale, il lunghissimo e lo spinale (anche se quest'ultimi non sono presenti a livello lombare), rappresentano la componente superficiale della muscolatura estensoria e contribuiscono al mantenimento della postura eretta, opponendosi alla gravità e permettendo movimenti di estensione e inclinazione laterale della colonna.^[4] Più in profondità, il muscolo multifido, particolarmente sviluppato a livello lombare, assicura la stabilità intersegmentaria, mentre gli intertrasversari (ventrali e dorsali) partecipano al controllo fine dei movimenti laterali.^[11] Rimanendo a questo livello, il quadrato dei lombi svolge una funzione duplice, stabilizzando la gabbia toracica durante la respirazione e collaborando nei movimenti di inclinazione laterale del tronco.^[11] Un ulteriore ruolo stabilizzante è svolto dai muscoli addominali, tra cui il trasverso dell'addome, che agisce come una sorta di cintura aumentando la pressione intra-addominale e riducendo il carico sulla colonna, mentre gli obliqui interno ed esterno ed il retto dell'addome partecipano attivamente alla flessione del tronco ed al controllo dei movimenti rotatori, garantendo equilibrio tra le forze anteriori e posteriori.^[11] Infine, alcuni muscoli associati influenzano indirettamente la funzionalità lombare: il grande dorsale, ad esempio, è un potente stabilizzatore grazie alla sua ampia inserzione toraco-lombare, così come il grande psoas, che origina dai corpi vertebrali e processi trasversi di T12–L5, ed agendo sulla flessione d'anca influenza la lordosi lombare e di conseguenza la distribuzione dei carichi sulle vertebre.^[11] Questa complessa integrazione muscolare assicura mobilità e stabilità al rachide lombare, in un complesso equilibrio che costituisce un presupposto fondamentale nella funzionalità di questo distretto.

A livello di L1-L2, all'interno del canale vertebrale, il midollo spinale giunge nel suo tratto conclusivo, il cono midollare; da questa regione le radici nervose si dirigono verso il basso a formare la *cauda equina*.^[4] Ciascuna radice prende collegamento diretto dal midollo spinale, rispettivamente:

le radici ventrali veicolano le informazioni efferenti di tipo motorio provenienti dalle corna anteriori, mentre le informazioni afferenti di tipo sensitivo sono condotte alle corna posteriori dalle radici dorsali.^[12] Quest'ultime presentano i gangli delle radici dorsali, dei rigonfiamenti contenenti i corpi cellulari dei neuroni sensitivi di primo ordine.^[12]

A livello dei forami di coniugazione, le radici ventrali e le radici dorsali si uniscono a formare i nervi spinali, nervi misti in grado di trasportare informazioni sia di tipo efferente che di tipo afferente; questi nervi a loro volta si dividono nei rami ventrali e nei rami dorsali.^[12] Da quest'ultimi originano tre branche: mediale, intermedia e laterale, le quali si dirigono posteriormente e sono deputate principalmente all'innervazione della muscolatura profonda del dorso, delle articolazioni zigoapofisarie e della cute in regione lombare e glutea.^[12] Dai rami ventrali hanno origine due formazioni fondamentali per l'innervazione degli arti inferiori: il plesso lombare ed il plesso sacrale.^[12]

Il plesso lombare è formato dai rami anteriori delle radici spinali da T12 a L4 e fornisce l'innervazione motoria e sensitiva alla parte anteriore e mediale della coscia, alla parete addominale ed alla regione inguinale.^[12] In particolare, i nervi principali che originano dai rami del plesso lombare sono:^[4]

- Nervo femorale: innerva il quadricipite femorale e la cute della parte anteriore della coscia e della parte mediale della gamba.
- Nervo otturatorio: provvede all'innervazione degli adduttori.
- Nervi ileo-ipogastrico, ileo-inguinale, genitofemorale, femorocutaneo laterale: forniscono principalmente l'innervazione sensitiva delle regioni addominali, inguinali, e della coscia (lateralmente).

Il plesso sacrale è formato dai rami anteriori delle radici spinali da L4 a S4; fornisce l'innervazione motoria e sensitiva alla regione glutea, al perineo e agli sfinteri tramite i nervi gluteo superiore, gluteo inferiore e pudendo, ed alla parte posteriore della coscia, alla gamba ed al piede tramite il nervo sciatico, il quale decorre posteriormente per poi dividersi, a livello del cavo popliteo, in nervo tibiale e nervo peroneo comune.^[4]

Infine, dai rami anteriori dei nervi spinali origina un'ulteriore struttura nervosa: il nervo di Luschka, o nervo sinuvertebrale.^[4] Questo dipende dalla porzione anteriore della radice ventrale direzionandosi medialmente, nella porzione di spazio compresa fra il sacco durale e il corpo vertebrale; riceve afferenze direttamente dal tronco simpatico, che decorre lateralmente, ottenendo così competenze autonome, oltre che nocicettive e propriocettive.^[13] A livello segmentale, esso innerva il legamento longitudinale posteriore, la porzione posteriore del disco intervertebrale, la porzione anteriore della dura madre ed il periostio; più globalmente, questo nervo forma un complesso anastomotico tra i plessi ipogastrici superiore ed inferiore, contribuendo alla rete simpatica pelvica.^[13]

La vascolarizzazione del distretto lombare è garantita principalmente da due arterie spinali posteriori, dall'arteria spinale anteriore e dalle arterie lombari.^[7] Quest'ultime, solitamente presenti in quattro paia, originano dall'aorta addominale e danno origine a numerose branche che irrorano le regioni posteriori, conflueno nelle arterie spinali provenienti da livelli superiori.^[7]

Il drenaggio venoso segue grossolanamente lo stesso schema: i plessi venosi vertebrali antero-interno, antero-esterno, postero-interno e postero-esterno convogliano il sangue nelle vene intervertebrali, le quali si riversano nelle vene lombari ascendenti e, successivamente, nella vena cava inferiore.^[7]

1.1.3 Biomeccanica del rachide lombare

Il rachide lombare, così come le restanti porzioni della colonna, è suddivisibile in segmenti utili alla comprensione di una sua visione biomeccanica. Ciascuno di questi segmenti prende il nome di unità funzionale spinale (FSU), considerata l'insieme formato da due vertebre adiacenti e delle strutture che, connettendole, permettono il movimento fra di esse.^[12] Da un punto di vista puramente meccanicistico, ogni FSU può essere vista come un modulo articolare costituito da un segmento anteriore, comprendente i due corpi vertebrali, il disco intervertebrale ed i legamenti longitudinali anteriore e posteriore, e da un segmento posteriore, costituito dalle articolazioni zigapofisarie, gli elementi dell'arco vertebrale ed il complesso dei legamenti posteriori.^[12] Il segmento anteriore, o colonna anteriore, sostiene la maggior parte del carico in compressione; ciò è reso possibile dalla particolare struttura del disco intervertebrale, che agisce come un ammortizzatore idraulico grazie alla distribuzione omogenea delle forze assicurata dal *nucleus pulposus* ed al contenimento delle sollecitazioni esercitato dall'*anulus fibrosus*.^[14] Il segmento posteriore, o colonna posteriore, con i numerosi elementi legamentosi ed articolari che lo compongono, guida e limita i movimenti del rachide, oltre a contribuire alla sua stabilità.^[14]

La costituzione anatomica del rachide lombare permette una maggior espressione dei movimenti che avvengono sul piano sagittale (flesso-estensione); nello specifico, un ruolo determinante viene svolto dall'orientamento postero-mediale dei processi trasversi a questo livello, che consente una maggior escursione di movimento delle faccette articolari.^[15] In particolare, la flessione del rachide lombare ha in media un'escursione articolare (*range of motion*, ROM) di circa 45-55°, l'estensione di circa 15-25°, comportando un'escursione totale di circa 60-80° di flesso-estensione; a seguire, risultano maggiormente limitate le inclinazioni laterali con un range di 20° per lato e le rotazioni, con circa 5-8° per lato.^[11] Durante il movimento di flessione vi è una distrazione delle faccette articolari e una corrispondente compressione delle stesse durante l'estensione.^[15] Inoltre, queste strutture partecipano alla limitazione della flessione anteriore, coadiuvate dai dischi intervertebrali, dai legamenti

sovraspinosi, interspinosi e dai legamenti gialli.^[7] Come per la flessione, anche i movimenti di inclinazione laterale sono limitati dalle faccette articolari, nelle quali avviene una compressione omolateralmente all'inclinazione ed una distrazione controlateralmente, oltre ad una messa in tensione dei complessi legamentosi controlaterali ed allo *strain* delle fibre dell'*anulus fibrosus*.^[7] Per quanto concerne il canale vertebrale, questo subisce un'espansione durante il movimento di flessione ed una riduzione di ampiezza nel movimento di estensione; in entrambi i movimenti le variazioni di ampiezza del canale variano di circa l'11% della dimensione totale.^[16] Seguono lo stesso principio le dimensioni dei forami di coniugazione, i quali si ampliano di circa il 12% in flessione e si riducono di circa il 15% in estensione.^[16] La rotazione è il movimento che risulta maggiormente limitato dalla struttura anatomica del distretto lombare, in quanto comporta una contemporanea messa in tensione delle capsule articolari faccettarie, dei legamenti e delle fibre dell'*anulus fibrosus*.^[7]

Al fine di ottenere una visione completa e funzionale della cinematica rachidea, risulta utile conoscere il concetto di ritmo lombopelvico, definito da Neumann come “*la relazione cinematica tra il rachide lombare e le articolazioni dell'anca durante i movimenti sul piano sagittale*”.^[11] In media, la flessione anteriore di tronco, partendo dalla posizione eretta a femore fisso, raggiunge i 115° (con una variabilità interindividuale di circa 12,5°), mentre l'estensione raggiunge i 34° (con una variabilità interindividuale di circa 10,5°).^[7] Il rachide lombare contribuisce alla flessione anteriore di tronco con 45° di flessione, mentre i restanti 60° sono apportati dalla flessione d'anca; inoltre, è proprio la porzione lombare a dare inizio al movimento di flessione, che verrà poi concluso, agli ultimi gradi, dall'articolazione coxo-femorale.^[7] Viceversa, nel movimento di estensione di tronco, partendo da una posizione in flessione anteriore, vi è una prima fase a carico soprattutto degli estensori dell'anca, seguita dall'attivazione degli erettori spinali, che intervengono all'incirca a metà range di movimento.^[11]

1.2 Stenosi spinale lombare: definizione, eziologia e classificazione

La stenosi spinale lombare (*lumbar spinal stenosis*, LSS) è una condizione patologica caratterizzata da un restringimento del canale vertebrale e/o dei forami intervertebrali a livello lombare, che può determinare compressione delle strutture neurali con conseguente comparsa di sintomi neurologici.^[1] In particolare, stenosi è un termine derivante dal greco (*stènosi*) e significa “strettezza, restringimento”.^[17]

A seconda delle strutture anatomiche coinvolte, le stenosi vengono classificate in:^[7]

- Stenosi centrale: qualora sia il canale vertebrale centrale a subire una riduzione in ampiezza; tendenzialmente causata da ipertrofia dei legamenti gialli e/o da *bulging* discale.
- Stenosi laterale: la radice nervosa subisce una compressione appena prima di attraversare il forame di coniugazione (o forame intervertebrale), nel recesso laterale; solitamente secondaria ad ipertrofia delle faccette articolari e/o alla formazione di osteofiti.
- Stenosi foraminale: considerata tale se vi è restringimento di un forame di coniugazione, che potrebbe essere causato da erniazione discale, spondilolistesi, formazione di osteofiti, diminuzione dello spessore del disco, ipertrofia faccettaria e/o legamentosa.

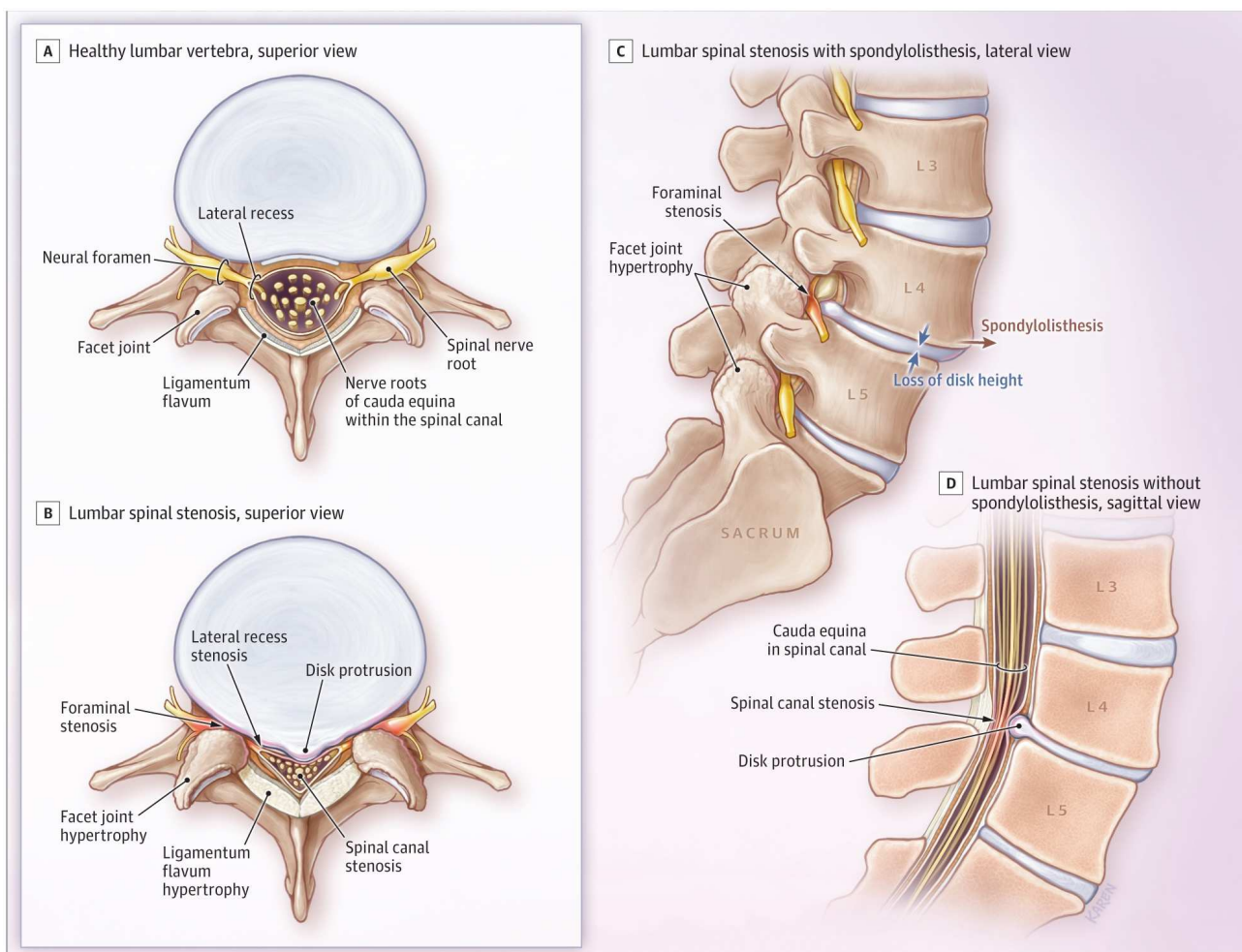


Immagine 1: illustrazione delle tipologie di stenosi spinale lombare. Fonte: JAMA. 2022;327(17):1688-1699. doi:10.1001/jama.2022.592.

Tipicamente, la stenosi spinale lombare rappresenta una condizione acquisita, la cui causa principale viene ricondotta alla spondilosi, l'insieme di processi degenerativi della colonna vertebrale.^[7] Questa comprende alterazioni strutturali come l'erniazione o il *bulging* discale, l'ipertrofia delle faccette

articolari, l'osteofitosi, la spondilolistesi e l'ispessimento dei legamenti gialli, le quali possono determinare una progressiva riduzione dello spazio occupato dalle strutture neurali.^[7] A causa della sua origine prevalentemente degenerativa, questa condizione tende a presentarsi nell'età adulta e senile.^[7] Altre cause meno comuni possono essere: neoplasie, cisti neurali, lipomi o lipomatosi epidurale, fibrosi post-operatoria, traumi, patologie a carico dell'apparato muscoloscheletrico come la malattia di Paget, la spondilite anchilosante o l'artrite reumatoide.^[18]

Un'ulteriore tipologia di stenosi spinale lombare è rappresentata dalla forma congenita, meno frequente e ad esordio più precoce rispetto alla variante acquisita; questa è generalmente causata da una lunghezza ridotta dei peduncoli vertebrali, che determina una minore area trasversale del canale spinale.^[1] Tra i disordini potenzialmente caratterizzanti una stenosi congenita possono esservi: nanismo, acondroplasia, displasie spondiloepifisarie, sindrome di Morquio, disrafismi.^[7]

Ad oggi, non esiste una definizione univoca ed universalmente accettata di stenosi spinale lombare.^[3] Difatti, questa condizione presenta una natura eterogenea e complessa, che può presentarsi con caratteristiche anatomiche ed eziologiche molto differenti.^[3] Inoltre, come verrà approfondito nei paragrafi successivi, le manifestazioni cliniche associate alla stenosi lombare non sempre risultano coerenti con i reperti anatomici evidenziati all'imaging. Per cui, alla luce di questa multifattorialità, la stenosi spinale lombare viene considerata una sindrome clinico-radiologica, il cui inquadramento richiede una valutazione omnicomprensiva che non può perciò basarsi sull'applicazione di una singola definizione.^[3]

1.3 Meccanismi patologici e neurofisiologici della stenosi spinale lombare

1.3.1 Meccanismi patologici e neurofisiologici della stenosi spinale lombare acquisita

La stenosi spinale lombare acquisita è una condizione multifattoriale, strettamente correlata a processi degenerativi che interessano le componenti discali, articolari e legamentose del rachide.^[7] Un fattore determinante è rappresentato dalla degenerazione del disco intervertebrale, fenomeno che comporta disidratazione e perdita di altezza discale, riducendo così la capacità di assorbire e distribuire i carichi assiali.^[1] Tale alterazione genera instabilità nel segmento vertebrale corrispondente, con conseguente ipermobilità articolare.^[1] Questa ipermobilità comporta un aumento di pressione sulle articolazioni zigapofisarie, determinando una progressiva riduzione dello spazio interdiscale, modificazioni dell'angolo di estensione lombare e ipertrofia delle faccette articolari, in particolare del processo

articolare superiore; nei casi più avanzati, tali articolazioni possono andare incontro ad irrigidimento e fusione ossea, culminando nell'anchilosi.^[1] Inoltre, la degenerazione del disco e l'instabilità vertebrale possono portare ad una spondilolistesi degenerativa, condizione in cui lo scivolamento anteriore di una vertebra provoca il restringimento del canale, aumentando il rischio di compressione nervosa.^[3]

In aggiunta, svolge un ruolo rilevante la presenza di modificazioni strutturali a carico del legamento giallo, il cui ispessimento costituisce uno dei principali meccanismi compressivi a livello del canale vertebrale.^[9] Analisi istologiche del suddetto legamento in pazienti affetti da stenosi spinale lombare hanno evidenziato una sostituzione progressiva delle fibre elastiche con fibre collagene, con conseguente diminuzione delle proprietà elastiche a favore di fenomeni fibrotici.^[1] Tali alterazioni comportano un aumento di rigidità ed ipertrofia del legamento, contribuendo al restringimento canalare.^[9]

Un ulteriore fattore determinante nella patogenesi della stenosi spinale lombare è rappresentato dal tropismo delle faccette articolari, definito come l'asimmetria nell'orientamento delle faccette tra i due lati di uno stesso livello vertebrale.^[1] La presenza di questa condizione anatomica può determinare una distribuzione non uniforme sulla colonna dei carichi meccanici, contribuendo alla progressione dei processi degenerativi.^[1] Studi radiologici ed anatomopatologici hanno dimostrato una correlazione significativa tra tropismo faccettario e sviluppo di osteoartrosi articolare, condizione che contribuisce alla compromissione della dinamica vertebrale e al restringimento del canale spinale.^[1] Inoltre, l'orientamento anomalo delle faccette è stato associato a disallineamenti vertebrali e ad instabilità segmentaria, con relativo aggravamento del quadro clinico ed intensificazione della sintomatologia.^[1]

Numerose evidenze in letteratura sottolineano come l'infiammazione cronica ed i processi fibrotici svolgano un ruolo rilevante nella fisiopatologia della stenosi spinale lombare.^[1] Difatti, studi istologici hanno documentato un incremento dei markers pro-infiammatori e degli enzimi responsabili del rimodellamento della matrice extracellulare, in particolare a livello del legamento giallo e delle faccette articolari.^[1,19] Questi meccanismi promuovono un ispessimento tissutale progressivo, con conseguente perdita di elasticità e compromissione della mobilità della colonna vertebrale.^[1] In particolare, sono state oggetto di studio le azioni dell'angiopoietina-2 (Ang-2) e dell'interleuchina-6 (IL-6). L'angiopoietina-2, appartenente alla famiglia delle angiopoietine, è una glicoproteina che agisce come mediatore infiammatorio ed è implicata nella regolazione della stabilità vascolare e dell'angiogenesi, processo di formazione di nuovi vasi sanguigni.^[20] Viene prodotta principalmente dalle cellule endoteliali ed immagazzinata nei granuli di Weibel-Palade, organelli di

secrezione situati all'interno dei vasi sanguigni, da cui può essere rilasciata rapidamente in risposta a stimoli infiammatori o meccanici.^[20] Difatti, questa proteina è fortemente coinvolta in processi come infiammazione, ipossia e tumorigenesi, rappresentando un biomarker prognostico in molteplici condizioni cliniche.^[20] Si è notato come i livelli di angiopoietina-2 siano significativamente più elevati nei tessuti ipertrofici dei legamenti gialli rispetto a tessuti sani, nei pazienti con stenosi spinale lombare.^[20] Questa elevata espressione di ang-2 contribuisce a sua volta ad un'aumentata produzione di interleuchina-6; l'IL-6, appartenente alla famiglia delle interleuchine, è una citochina pleiotropica prodotta da numerosi tipi cellulari, come macrofagi, cellule endoteliali, fibroblasti, miociti e adipociti in risposta ad eventi traumatici, infezioni, stimoli infiammatori o stress meccanici.^[21] Svolge un ruolo chiave nella risposta immunitaria e adattiva, attraverso la regolazione della sintesi proteica a livello epatico e nell'attivazione dei linfociti T e B; tuttavia, una sua produzione eccessiva può portare a stati infiammatori cronici, contribuendo allo sviluppo di malattie autoimmuni, sindromi da risposta infiammatoria sistemica e neoplasie.^[21] L'interleuchina-6 è quindi responsabile della produzione di tessuto fibrotico con relativo ispessimento tissutale.^[21] Nel legamento giallo, quando l'IL-6 viene attivata dall'ang-2, si innesca una serie di risposte cellulari che aumentano la deposizione di collagene e l'attività dei fibroblasti.^[21] Quest'ultimi, cellule mesenchimali pleiotropiche presenti in quasi tutti i tessuti connettivi dell'organismo e fondamentali per i processi di sintesi e rimodellamento della matrice extracellulare, producono le principali proteine strutturali dell'organismo (collagene, elastina, fibronectina, laminina e glicosaminoglicani), garantendo l'integrità tissutale e la trasmissione dei segnali biochimici e biomeccanici.^[22] In condizioni di riposo sono adibiti al mantenimento dell'omeostasi tissutale, mentre in presenza di infiammazione o di lesione migrano e proliferano nel sito interessato.^[22] Una loro iperattività comporta la formazione di fibrosi, con conseguente perdita di elasticità ed ispessimento del legamento, concorrendo al restringimento dello spazio intracanalare ed alla compressione neurale caratteristica delle stenosi spinali lombari.^[22]

Uno studio ha impiegato l'analisi proteomica per valutare i livelli di espressione proteica nei campioni di legamento giallo, ai fini di approfondire i meccanismi patologici alla base della sua ipertrofia.^[19] I risultati hanno evidenziato un aumento di specifiche proteine nel legamento ispessito, tra cui la fibronectina, glicoproteina della matrice extracellulare che si accumula durante i processi riparativi, svolgendo un ruolo fondamentale nella fibrogenesi; è stato rilevato inoltre un aumento della proteasi HTRA1 e della glicoproteina nexina, coinvolte nella formazione di cicatrici cheloidee e negli stati fibrotici.^[19]

La stenosi spinale lombare acquisita si manifesta tipicamente nel sesto o settimo decennio di vita.^[23] Il sintomo cardine di questa condizione è rappresentato dalla claudicatio neurogena, o *claudicatio*

intermittens, che si manifesta con dolori, parestesie, senso di debolezza e/o di pesantezza agli arti inferiori che insorgono o peggiorano durante la deambulazione, con la stazione eretta prolungata e/o l'estensione di tronco, mentre si alleviano con il riposo, la posizione seduta o la flessione anteriore di tronco.^[24] Questa sintomatologia è legata ad un meccanismo dinamico, difatti l'estensione del rachide riduce l'area del canale spinale e dei forami neurali, aumentando la compressione su radici nervose e strutture vascolari; la flessione del rachide, invece, amplia lo spazio disponibile nel canale, aumentando di conseguenza lo spazio per le strutture nervose, oltre che la perfusione.^[25] Infatti, spesso i pazienti riferiscono che i sintomi migliorano camminando in salita, dove avviene una flessione del rachide lombare, mentre peggiorano nel cammino in discesa, dove invece aumenta l'estensione; un ulteriore indicatore di miglioramento della sintomatologia in flessione è lo *shopping cart sign*, o segno del carrello della spesa.^[7] Questo segno descrive l'assunzione di una postura in flessione del rachide lombare, che il soggetto adotta appoggiandosi su un oggetto posto anteriormente al fine di ridurre il dolore.^[7] La distanza percorribile prima dell'insorgenza dei sintomi è variabile; in alcuni soggetti è possibile osservare, nella deambulazione e nell'ortostatismo, l'assunzione di una posizione antalgica con tronco, anche e ginocchia leggermente flessi, definita come *simian stance*, o posizione della scimmia.^[1] La sintomatologia è tipicamente bilaterale e tende a coinvolgere l'inguine, i glutei, le porzioni anteriori delle cosce e le porzioni posteriori delle gambe fino ai piedi; possono esservi anche dei sintomi asimmetrici, ma solitamente non seguono il decorso di un unico dermatomero.^[18] Nei quadri più compromessi, la claudicatio neurogena può comportare una limitazione severa del cammino, debolezza muscolare ed alterazione dell'equilibrio posturale, andando quindi a caratterizzare una significativa disabilità funzionale.^[24] La stenosi spinale lombare può manifestarsi anche con sintomi di origine radicolare; questi sono più frequentemente unilaterali e secondari a stenosi foraminale o del recesso laterale, differentemente dalla claudicatio che, invece, risulta maggiormente associata alla stenosi del canale centrale. Questi pazienti riportano dolore severo agli arti inferiori con distribuzione radicolare, spesso peggiorato dall'estensione lombare; possono inoltre riportare dolore a riposo e crampi notturni agli arti inferiori.^[26] Un coinvolgimento severo delle radici nervose può arrecare deficit neurologici, quali debolezza focale, riflessi osteotendinei ridotti e parestesie.^[1] Infine, in alcuni pazienti la sintomatologia può risultare poco specifica e non chiaramente riconducibile alla stenosi spinale lombare, come la lombalgia isolata; questa, solitamente, tende comunque a presentare elementi posturali indicativi di claudicatio neurogena, come il miglioramento della sintomatologia in flessione lombare.^[25]

1.3.2. Meccanismi patologici e neurofisiologici della stenosi spinale lombare congenita

La stenosi spinale lombare è stata associata anche ad eziologie congenite, che portano ad una comparsa più precoce dei sintomi, solitamente nel quarto o quinto decennio di vita.^[23] Analisi genealogiche hanno dimostrato che la stenosi lombare congenita segue un modello di trasmissione autosomica dominante; inoltre, i pazienti portatori di questa condizione presentano spesso un coinvolgimento a più livelli rachidei e meno segni di degenerazione.^[27] In un ampio studio volto a caratterizzare la stenosi congenita, Kitab *et al* hanno confrontato 66 pazienti, di età inferiore ai 50 anni, con stenosi congenita rilevata alla risonanza magnetica.^[28] I pazienti presentavano una stenosi a più livelli da L3 a L5, mentre il coinvolgimento di L1, L2 e S1 risultava raro; è stata inoltre riscontrata una riduzione statisticamente significativa ($P < 0,05$) del rapporto tra l'area della sezione trasversale del canale spinale e l'area del corpo vertebrale, così come una riduzione del rapporto tra il diametro anteroposteriore del canale e il diametro del corpo vertebrale, in tutti i livelli lombari esaminati.^[28] Nell'analisi qualitativa delle immagini assiali alla risonanza magnetica, gli autori hanno individuato tre principali configurazioni di stenosi congenita: la prima caratterizzata da un ridotto diametro anteroposteriore del canale spinale (peduncoli corti), la seconda associata ad una marcata riduzione dell'angolo interlaminare (lamine piatte), infine una terza configurazione che presentava una riduzione globale del calibro del canale, coinvolgente sia i diametri anteroposteriori e trasversali, sia gli angoli interlaminari.^[28]

Sono stati identificati ruoli significativi delle mutazioni del *transforming growth factor-beta1* (TGF- β 1) e della *bone morphogenetic protein-2* (BMP-2) nella genesi della stenosi spinale congenita.^[1] Il TGF- β 1, citochina appartenente alla superfamiglia del TGF- β , interviene, attraverso le vie di segnalazione SMAD e MAPK, nella regolazione della proliferazione e differenziazione cellulare, dell'apoptosi e nella sintesi della matrice extracellulare.^[29] La BMP-2, anch'essa parte della stessa superfamiglia, promuove la differenziazione delle cellule mesenchimali in osteoblasti, contribuendo al rimodellamento osseo e cartilagineo anche in età adulta.^[29] Le alterazioni dei geni TGF- β , e in particolare del TGF- β 1, rivestono un ruolo cruciale nella regolazione del metabolismo osseo e sono state associate a una maggiore predisposizione all'ossificazione del legamento longitudinale posteriore.^[29] Concentrazioni elevate di TGF- β 1 sono state osservate nella matrice ossificata e nei condrociti delle regioni cartilaginee adiacenti al legamento, ma non nel tessuto non ossificato né nelle cellule staminali mesenchimali; tali evidenze suggeriscono un coinvolgimento del TGF- β 1 nelle fasi più tardive dell'ossificazione ectopica.^[29] Al contrario, le alterazioni della BMP-2, per la loro capacità di indurre la differenziazione delle cellule staminali mesenchimali, sembrano agire nelle fasi iniziali del processo ossificativo del legamento longitudinale posteriore.^[29] Attivazioni anomale delle vie di

segnalazione fisiologica mediate da TGF- β e BMP-2, tipicamente causate da stress meccanici, risposte infiammatorie, regolazioni negative di trascrizione e mutazioni genetiche, possono attivare cascate molecolari con conseguenti proliferazioni e differenziazioni di cellule staminali mesenchimali, osteoblasti e condrociti, favorendo così l'ossificazione del legamento longitudinale posteriore e, quindi, la presenza di stenosi spinale.^[29]

Tra le forme congenite di stenosi spinali lombari, quelle associate all'acondroplasia risultano tra le più frequentemente sintomatiche.^[30] Difatti, nei pazienti acondroplasici la stenosi è correlata alla presenza di peduncoli corti, lamina spessa e progressiva riduzione della distanza interpeduncolare in senso caudale, fattori che determinano una maggiore prevalenza del restringimento nelle porzioni più caudali della colonna.^[30]

L'acondroplasia deriva da una mutazione del gene FGFR3, che codifica per l'omonima proteina, fondamentale nel processo di trasformazione della cartilagine in tessuto osseo.^[29] La stenosi spinale lombare associata a questa condizione è connessa alla via di segnalazione del *fibroblast growth factor* (FGF), il cui recettore si localizza principalmente nelle aree del pericondrio, della cartilagine e della piastra di crescita in fase di maturazione.^[29] Il legame del FGF con il recettore FGFR3 ne provoca l'attivazione e la dimerizzazione, modificando la conformazione del recettore e attivandone l'attività tirosin-chinasica, che stimola la proliferazione e la maturazione dei condrociti, favorendo la crescita ossea endocondrale.^[29] Tuttavia, quando FGFR3 è iperattivato a causa della mutazione, si verifica una marcata inibizione della proliferazione e maturazione dei condrociti, determinando una riduzione della dimensione della cartilagine di accrescimento e del volume dell'osso trabecolare, con conseguente rallentamento dell'allungamento osseo.^[29] Pur essendo compromessa la crescita delle ossa lunghe, le manifestazioni cliniche più rilevanti sono a livello della colonna vertebrale, dove si osservano cifosi toracolombare e stenosi spinale.^[29]

Nonostante la sua eziologia, la stenosi spinale lombare congenita presenta un quadro clinico pressoché identico alla forma acquisita.^[31]

CAPITOLO 2

EPIDEMIOLOGIA E DIAGNOSI DELLA STENOSI SPINALE LOMBARE

2.1 Prevalenza e fattori di rischio

Negli ultimi anni, l'interesse epidemiologico verso la stenosi spinale lombare è progressivamente aumentato, principalmente a causa dell'invecchiamento demografico e del crescente impatto funzionale e socio-sanitario delle patologie spinali negli anziani.^[2] Si stima che ogni anno vengano diagnosticati circa 102 milioni di nuovi casi di stenosi spinale a livello mondiale, corrispondenti a un'incidenza pari a circa l'1,4% della popolazione globale, mentre in Europa l'incidenza annuale risulta più elevata, attestandosi intorno al 2,2%, pari a circa 9–10 milioni di nuovi casi ogni anno.^[32] Le più recenti analisi confermano che la stenosi spinale lombare rappresenta una condizione tipica dell'età avanzata ed è una delle principali cause di intervento chirurgico lombare negli over 65.^[33] La prevalenza stimata della LSS varia ampiamente a seconda dei criteri diagnostici impiegati (solo sintomi clinici, solo reperti radiologici, o una combinazione dei due) e della fascia d'età considerata; studi indicano che la prevalenza sintomatica nella popolazione generale adulta sia di circa l'11%, con percentuali che possono superare il 20% negli individui di età superiore ai 60 anni.^[3,34] Parallelamente, la prevalenza radiologica, valutata attraverso fattori quali riduzione del calibro canale, ipertrofia delle faccette articolari o ispessimento del legamento giallo, raggiunge valori molto più elevati: alcune analisi riportano valori fino al 40–47% nelle coorti over 60 quando si includono segni radiologici degenerativi, pur sottolineando che una quota significativa di tali quadri risulti asintomatica.^[33]

L'interpretazione di questi dati deve considerare diverse criticità metodologiche. In primo luogo, l'eterogeneità diagnostica complica il confronto tra studi: molti utilizzano definizioni diverse (solo sintomi, solo reperti o criteri misti), influenzando in modo sostanziale le stime di prevalenza e incidenza. In secondo luogo, esistono differenze legate alle popolazioni analizzate, poiché coorti asiatiche, europee o americane divergono per età media, stile di vita ed accesso alle indagini radiologiche. Inoltre, l'elevata quota di quadri asintomatici positivi all'imaging limita la possibilità di attribuire loro un chiaro significato clinico. Infine, numerosi studi sono costruiti su disegni osservazionali di tipo *cross-sectional* o su registri sanitari, con il rischio di bias di selezione e di misurazione. Resta quindi necessario interpretare tali valori alla luce delle limitazioni metodologiche, che impongono prudenza nel confronto tra studi e nella generalizzazione dei risultati.

L'identificazione dei fattori di rischio associati alla stenosi spinale lombare risulta determinante per comprendere al meglio i meccanismi patogenetici, orientare strategie preventive ed individuare i sottogruppi di popolazione maggiormente esposti allo sviluppo di questa condizione. Dati recenti indicano che, accanto a fattori non modificabili come età e predisposizione genetica, numerosi fattori modificabili influenzano significativamente l'insorgenza e la progressione della patologia.^[3] Tra i fattori non modificabili, l'età avanzata rappresenta il determinante principale, ed è associata a degenerazione discale, ipertrofia delle faccette articolari ed ispessimento del legamento giallo.^[3] Recenti studi suggeriscono inoltre un possibile contributo ereditario, evidenziando come i fattori genetici possano predisporre allo sviluppo della stenosi spinale lombare; secondo gli autori, alcune alterazioni genetiche favorirebbero i processi patologici responsabili della proliferazione di osteofiti a livello dei corpi vertebrali e delle faccette articolari, dell'ipertrofia del legamento giallo e della degenerazione dei dischi intervertebrali.^[3]

Tra i fattori modificabili, un elevato indice di massa corporea (*Body Mass Index*, BMI) è stato individuato come predittore significativo: studi hanno documentato un incremento del rischio proporzionale al grado di obesità, con *hazard ratio* (HR, rapporto di rischio nel tempo) maggiori nelle donne e nei soggetti di età inferiore ai 65 anni.^[35] L'eccesso ponderale sembra agire sia biomeccanicamente sia attraverso processi metabolici e infiammatori, che accelerano la degenerazione vertebrale.^[35] I fattori occupazionali risultano altresì rilevanti: impieghi che comportano sollevamento ripetuto di carichi pesanti o comunque movimenti e posture che causino dei sovraccarichi a livello lombare, sono associati a maggiore rischio di LSS, così come alcuni fattori psicosociali (ad esempio stress lavorativo, scarsa soddisfazione), che sembrerebbero influire sulla cronicizzazione dei sintomi.^[36] Altri fattori emergenti includono sedentarietà e comorbidità metaboliche (ad esempio diabete, sindrome metabolica), le quali, sebbene non ancora pienamente confermate, sembrerebbe che possano contribuire alla degenerazione del canale lombare tramite meccanismi infiammatori e biomeccanici.^[3]

Le criticità metodologiche degli studi recenti comprendono l'eterogeneità dei criteri diagnostici, la predominanza di disegni osservazionali e la presenza di reperti radiologici asintomatici, che complicano la distinzione tra fattori di rischio per stenosi radiologica e fattori di rischio per stenosi ritenuta clinicamente rilevante. Nonostante ciò, l'evidenza suggerisce che interventi mirati sui fattori modificabili, in particolare sul controllo del peso corporeo, rappresentano strategie promettenti per ridurre il rischio complessivo di stenosi spinale lombare nella popolazione.^[3]

2.2 Tecniche diagnostiche

La diagnosi di stenosi spinale lombare si basa su un processo integrato che combina dati anamnestici, evidenze cliniche e riscontri radiologici.^[18] Nessuno di questi elementi, se considerato isolatamente, risulta sufficiente a stabilire una diagnosi di stenosi: difatti, è noto che numerosi soggetti possono presentare reperti radiologici di restringimento del canale vertebrale in assenza di sintomatologia clinica, così come la gravità dei sintomi non sempre correla in modo lineare con il grado di stenosi evidenziato dall'imaging.^[18] Ne consegue che la diagnosi non può prescindere da una rigorosa correlazione clinico-radiologica.

Nella fase valutativa il fisioterapista riveste un ruolo di rilievo, contribuendo alla raccolta di un'anamnesi dettagliata e all'esecuzione di test obiettivi volti a misurare l'impatto della patologia sulla funzionalità e sulla qualità della vita del paziente.^[7] L'integrazione dei dati anamnestici, dell'esame obiettivo e delle informazioni fornite dalle indagini strumentali, consente di delineare un quadro diagnostico completo, utile per confermare o meno la presenza di stenosi lombare, orientare la scelta terapeutica e monitorare l'evoluzione del quadro clinico.^[7] Nella gestione della stenosi spinale lombare, la collaborazione con la medicina specialistica riveste un ruolo fondamentale.^[7] La complessità della patologia richiede infatti l'integrazione di diverse competenze: il neurochirurgo, l'algologo, il neurologo, l'ortopedico, il fisiatra, il geriatra e il medico di medicina generale sono tra i principali professionisti che possono collaborare attivamente con il fisioterapista nella gestione di questi pazienti.^[7] Un approccio multidisciplinare consente di pianificare strategie personalizzate, monitorare l'evoluzione dei sintomi e modulare il trattamento in base alle risposte individuali, massimizzando l'efficacia del percorso riabilitativo e riducendo il rischio di complicanze.^[7] Recenti studi hanno riportato come la collaborazione tra professionisti, unita a protocolli basati sulle evidenze, possa effettivamente migliorare gli esiti clinici e la soddisfazione dei pazienti.^[37]

2.2.1 Valutazione fisioterapica

L'anamnesi costituisce un punto centrale nella valutazione fisioterapica della stenosi spinale lombare, in quanto permette di identificare i sintomi caratteristici, analizzare la storia evolutiva della patologia e stimare l'impatto funzionale sulla vita quotidiana del paziente.^[7] Nella raccolta della storia clinica, un punto cardine riguarda la presenza o meno di claudicatio neurogena, sintomo caratteristico (anche se non sempre presente) di questa condizione, che si manifesta tipicamente con dolore, senso di pesantezza o parestesia agli arti inferiori durante la deambulazione o la stazione eretta, e tendenzialmente si attenua con la flessione del tronco o con il riposo.^[18] Analogamente andrà indagata

anche la presenza di dolore lombare costante, con particolare attenzione all'irradiazione verso glutei o arti inferiori.^[18] Verrà inoltre richiesto al paziente se sono presenti sintomi sensitivi (formicolii, intorpidimento, alterazioni della sensibilità) e motori (debolezza, diminuita resistenza, difficoltà nel cammino, instabilità); in rari casi potrebbero esservi anche disturbi sfinterici, indicatori di una compressione nervosa grave.^[3]

Al fine di ottenere una comprensione sufficientemente chiara della natura del dolore, andranno esplorate caratteristiche quali: la sede (lombare, glutea, lungo l'arto/gli arti); modalità d'insorgenza (con il movimento, con l'adozione di determinate posture); fattori aggravanti (cammino, stazione eretta, estensione lombare) e allevianti (seduta, flessione del tronco, posizione supina).^[7] Un ulteriore fattore determinante corrisponde all'impatto funzionale soggettivo della condizione: al paziente verrà chiesto quanta distanza riesce a percorrere prima che compaiano i sintomi, in che misura sono limitate le funzioni quotidiane (salire scale, camminare in piano, stare in piedi) e se utilizza strategie compensatorie (utilizzo di ausili, camminare con busto flesso, appoggiarsi a dei supporti, sedersi frequentemente).^[18]

Un ulteriore pilastro riguardante la valutazione fisioterapica della stenosi spinale lombare corrisponde all'esame obiettivo, volto ad individuare i deficit funzionali del paziente e guidare la scelta degli interventi.^[7]

Tra i principali domini da analizzare vi sono:^[7,18,25]

- Osservazione posturale: l'attenzione si pone sull'assetto del rachide lombare, del bacino e degli arti inferiori, in stazione eretta e durante la deambulazione, individuando eventuali atteggiamenti compensatori (ad esempio flessione anteriore di tronco, flessione delle ginocchia) che il paziente può adottare per alleviare i sintomi.
- Mobilità lombare: vengono valutati i *range of motion* articolari attivi e passivi del rachide lombare, privilegiando in particolare le differenze tra flessione ed estensione: l'estensione lombare prolungata può evocare o aggravare i sintomi del paziente, mentre la flessione spesso risulta più tollerata.
- Esame neurologico di base: viene esaminata la forza muscolare degli arti inferiori con test segmentari (es. glutei, quadricipiti, tibiali anteriori, tricipite surale), i riflessi osteotendinei profondi (rotuleo e achilleo) e la sensibilità tattile superficiale, profonda, vibratoria, nocicettiva e termocettiva al fine di identificare eventuali deficit radicolari.
- Valutazione del cammino: viene svolta un'analisi sia qualitativa (simmetria, stabilità) sia quantitativa: test come il *Self-Paced Walking Test* (cammino a velocità desiderata) o il *Six-*

Minute Walk Test (distanza percorsa in sei minuti continuativi) permettono di determinare la distanza massima percorribile prima della comparsa dei sintomi. Tali test sono largamente utilizzati nella maggior parte degli studi riguardanti la stenosi lombare ed aiutano a quantificare il livello di disabilità nella deambulazione.

- Test clinici specifici: alcuni test risultano particolarmente indicati per identificare una possibile stenosi lombare. Tra questi vi è il *Bicycle Stress Test* (o “bike test di van Gelderen”), in cui viene chiesto al paziente di pedalare su una cyclette a tronco esteso, al momento della comparsa dei sintomi, il test prosegue facendo pedalare il paziente appoggiato sul manubrio, in flessione di tronco. Un miglioramento della sintomatologia in questa seconda fase è indicativo di potenziale claudicatio neurogena da stenosi spinale lombare. Un ulteriore test specifico è il *Two-Stage Treadmill Test*, che consiste nel cammino su tapis-roulant dapprima con tronco esteso e braccia lungo i fianchi, registrando la tempistica di comparsa dei sintomi, o la distanza percorsa. In una seconda fase, il paziente cammina invece a tronco flesso anteriormente; un miglioramento dei parametri in questa fase è un indicatore utile di potenziale claudicatio neurogena da stenosi spinale lombare.
- Questionari: un ulteriore strumento valutativo è rappresentato dai questionari standardizzati, volti a quantificare dolore, disabilità e funzionalità. Alcuni di questi possono fornire informazioni utili alla gestione di quadri di stenosi lombare, tra cui:
 - *ZCQ (Zurich Claudication Questionnaire)*: specifico per la stenosi spinale lombare, attraverso 18 item valuta severità dei sintomi, funzione fisica e soddisfazione del paziente. Utile per monitorare l’evoluzione dei sintomi e l’efficacia dei trattamenti.
 - *ODI (Oswestry Disability Index)*: questionario generico per la disabilità legata al mal di schiena. Comprende dieci sezioni (dolore, attività quotidiane, mobilità, lavoro, vita sociale) e fornisce un punteggio percentuale di disabilità.
 - *RMDQ (Roland-Morris Disability Questionnaire)*: specifico per low back pain, contiene 24 affermazioni su attività quotidiane compromesse dal dolore lombare. Più il punteggio è alto, maggiore è la disabilità.
 - *VAS (Visual Analogue Scale)* o *NPRS (Numeric Pain Rating Scale)*: misurano l’intensità del dolore. VAS: linea continua di 10cm, il paziente indica il livello di dolore. NPRS: punteggio numerico da 0 (nessun dolore) a 10 (massimo dolore).
 - *SF-36* o *EQ-5D*: sono questionari generici di qualità di vita. SF-36: valuta 8 domini tra cui salute fisica, dolore, attività quotidiane e salute mentale. EQ-5D: valuta mobilità, cura personale, attività abituali, dolore, ansia e depressione.

2.2.2 Diagnosi differenziale

Nella pratica clinica, un aspetto fondamentale riguarda la distinzione della stenosi spinale lombare da altre condizioni che possono presentare sintomatologie simili. Difatti, pur non avendo facoltà di formulare una diagnosi medica, il fisioterapista è comunque tenuto a riconoscere con precisione la condizione clinica del paziente, così da pianificare correttamente l'intervento riabilitativo o indirizzarlo allo specialista competente.

La distinzione tra claudicatio neurogena, tipica della stenosi spinale lombare, e claudicatio vascolare, conseguente a patologia arteriosa periferica (*Peripheral Artery Disease*, PAD), rappresenta una delle principali diagnosi differenziali da considerare, a causa della sintomatologia spesso sovrapponibile delle due condizioni.^[7] La claudicatio neurogena si manifesta con dolore, formicolio o debolezza agli arti inferiori che peggiora durante la deambulazione o con l'estensione della colonna, mentre tende a ridursi con la flessione lombare o la posizione seduta.^[7] Per contro, la claudicatio vascolare provoca dolore muscolare localizzato, spesso a livello del polpaccio o della coscia, che si manifesta indipendentemente dalla postura del tronco e si risolve solamente con la sospensione dell'attività motoria.^[7] Test funzionali come il bike test di Van Gelderen o il *Two-Stage Treadmill Test*, già descritti nella sezione dedicata all'esame obiettivo, consentono di valutare la variazione della sintomatologia in relazione alla postura; un peggioramento dei sintomi con il prosieguo dell'attività, nonostante le variazioni posturali, corrisponde ad un indicatore per potenziale claudicatio vascolare.^[25] In aggiunta, un test proprio delle problematiche vascolari è l'*Ankle-Brachial Index* (ABI), il quale fornisce informazioni oggettive sul livello di perfusione arteriosa; nei soggetti con claudicatio vascolare, questi valori risultano tendenzialmente alterati rispetto ai pazienti affetti da claudicatio neurogena.^[7]

Ulteriori condizioni che possono mimare il quadro della stenosi spinale lombare:^[2,7,25]

- Radicolopatia: condizione spesso secondaria a compressione meccanica di una radice nervosa, più frequentemente dovuta a erniazione discale; si manifesta con dolore radicolare, formicolii, ipoestesia o debolezza distribuiti lungo il dermatomero corrispondente. Per cui, rispetto alla stenosi lombare, che presenta tendenzialmente sintomatologia bilaterale o intermittente, la radicolopatia si caratterizza per un quadro clinico più acuto e circoscritto, senza la stessa variabilità legata a postura e deambulazione. L'esame neurodinamico risulta uno strumento utile alla differenziazione di queste due condizioni.

- *Non specific low back pain*: il dolore è tipicamente localizzato alla regione lombare, con o senza irradiazione, ma sono assenti i pattern di claudicatio neurogena, i segni neurologici ed i deficit motori.
- Degenerazione discale; spondilolisi: provocano dolore lombare localizzato, talvolta irradiato, con una sintomatologia generalmente più segmentaria e meccanica rispetto ai quadri di stenosi.
- Artrosi d'anca (coxartrosi): può provocare dolore con irradiazione verso la regione inguinale o laterale della coscia, con limitazione del range articolare. Tuttavia, sono solitamente assenti i segni neurologici tipici della stenosi, come riflessi alterati o sintomi sensitivi/motori progressivi.
- Polineuropatia distale simmetrica: presenta sintomi sensitivi “a calza” o “a guanto”, spesso persistenti anche a riposo, con possibile disturbo notturno, nonché alterazioni sensoriali diffuse. Questi elementi aiutano a differenziare da una stenosi lombare, che tipicamente peggiora con la posizione eretta o la deambulazione e migliora con la flessione o il riposo.

La diagnosi differenziale deve sempre tenere conto di condizioni gravi o potenzialmente urgenti.^[7] Tra queste vi sono la sindrome della *cauda equina*, che si distingue per l'insorgenza acuta di dolore lombare con deficit neurologici bilaterali, anestesia a sella e disfunzioni sfinteriche, che impongono un immediato inquadramento neurochirurgico.^[7] La sindrome del midollo ancorato, più rara e tipicamente congenita o acquisita in età giovanile, si caratterizza per dolore lombare cronico e deficit neurologici, distinguendosi dalla stenosi degenerativa per il decorso lentamente progressivo e l'esordio precoce dei sintomi.^[7] Le malformazioni vascolari del midollo spinale (frequentemente fistole durali) possono simulare un quadro stenotico con dolore e disturbi neurologici progressivi, ma si associano più frequentemente a segni midollari diffusi e trovano conferma mediante risonanza magnetica con studio vascolare.^[7] Le neoplasie spinali, primitive o metastatiche, determinano dolore lombare notturno o ingravescente, spesso resistente al trattamento conservativo, associato a deficit neurologici asimmetrici o a rapida progressione clinica.^[7] Infine, le infezioni spinali (spondilodisciti, ascessi epidurali) si manifestano con dolore severo, febbre, rialzo degli indici infiammatori e segni sistemici, richiedendo un'attenta valutazione laboratoristica e radiologica.^[7] In tutti i casi elencati, anamnesi, esame obiettivo e imaging risultano fondamentali per distinguere tali condizioni dalla stenosi spinale lombare e indirizzare il paziente verso una gestione specialistica tempestiva.^[7]

2.2.3 Imaging

L'imaging svolge un ruolo cruciale nella valutazione della stenosi spinale lombare, contribuendo alla conferma diagnostica ed alla programmazione terapeutica.^[18] Tuttavia, i reperti radiologici non sempre corrispondono alla sintomatologia del paziente, rendendo quindi necessaria una valutazione clinica integrata.^[18] La scelta del tipo di indagine dipende dalle caratteristiche cliniche del paziente, dalla disponibilità delle tecnologie e dalle controindicazioni individuali.^[18]

Il gold standard per la diagnosi di stenosi spinale lombare corrisponde alla risonanza magnetica (RM, o *Magnetic Resonance Imaging*, MRI), grazie alla sua capacità di visualizzare dettagliatamente le strutture nervose e i tessuti molli.^[25] Essa consente infatti di identificare la compressione delle radici nervose e del sacco durale, nonché di individuare la localizzazione della stenosi e di valutarne l'entità.^[25] La letteratura riporta che la risonanza magnetica per la diagnosi di stenosi spinale lombare presenta valori di sensibilità compresi tra l'87% e il 96% e di specificità tra il 68% ed il 75%; tuttavia, questi sono presentati come intervalli variabili, in quanto dipendono da definizioni radiologiche, lettura dei referti e protocolli di imaging usati negli studi originali.^[25] Qualora questo esame sia controindicato (pacemaker non RM-compatibili, defibrillatori, protesi metalliche recenti) una valida alternativa risiede nella tomografia computerizzata (TC), la quale offre una visualizzazione dettagliata delle strutture ossee, permettendo di identificare stenosi ossee o fratture vertebrali; inoltre, nel caso venga utilizzata una TC-mielografica (TC eseguita dopo iniezione intratecale di mezzo di contrasto), si ottengono ottimi livelli di dettaglio nella visualizzazione delle strutture nervose e dei tessuti molli.^[3] Tuttavia, quest'ultima procedura risulta maggiormente invasiva rispetto a una TC standard con mezzo di contrasto endovenoso.^[3] Ulteriori tipologie di esami strumentali per la diagnosi di stenosi spinale lombare sono: la radiografia convenzionale, che permette di valutare l'allineamento vertebrale e l'eventuale presenza di spondilolistesi, osteofiti e degenerazione discale, ma possiede una sensibilità limitata nel rilevare il restringimento canalare; l'imaging dinamico, che include radiografie o RM in diverse posizioni del paziente (tipicamente massima flessione e massima estensione) e permette di identificare segni di instabilità lombare o variazioni del canale spinale che potrebbero non essere evidenti in posizione neutra.^[3]

In conclusione, la diagnosi di stenosi spinale lombare richiede un approccio integrato, che combini anamnesi accurata, esame obiettivo fisioterapico e imaging appropriato. Un'attenta differenziazione permette di distinguere la stenosi da altre patologie con sintomatologia sovrapponibile, mentre la comprensione dei test clinici e degli strumenti di valutazione funzionale guida il fisioterapista nella scelta degli interventi maggiormente idonei. L'integrazione con la medicina specialistica non solo assicura sicurezza e precisione nella gestione clinica, ma rappresenta anche un modello di cura centrato sul paziente, volto a ottimizzare la qualità di vita e la funzionalità quotidiana.

CAPITOLO 3

TRATTAMENTO DELLA STENOSI SPINALE LOMBARE ED EVIDENZE DI EFFICACIA

3.1 Trattamenti conservativi della stenosi spinale lombare

Il trattamento conservativo della stenosi spinale lombare comprende un insieme di strategie volte a gestire la sintomatologia, preservare la funzionalità e migliorare la qualità della vita del paziente, consentendo, quando possibile, di evitare il ricorso alla chirurgia. Il presente sottocapitolo si propone di fornire una panoramica delle principali modalità di intervento conservativo, con particolare attenzione alle tecniche maggiormente pertinenti alla pratica fisioterapica, come esercizio terapeutico e terapia manuale. Verranno descritti i principi di applicazione, gli obiettivi clinici e le modalità operative dei vari approcci, per offrire una visione completa delle opzioni disponibili nella gestione della patologia.

In via preliminare, si rende necessaria una precisazione riguardo la gestione delle stenosi foraminale e laterale, le quali presentano caratteristiche peculiari rispetto alla stenosi centrale e possono dunque richiedere una gestione differente del trattamento. Le stenosi foraminale e laterale comportano delle manifestazioni cliniche spesso sovrapponibili a quelle di una sindrome radicolare, differentemente dalla forma centrale che tende invece a causare con maggior frequenza dolore bilaterale agli arti inferiori.^[25] Per cui, in fase acuta o di riacutizzazione, il quadro clinico di un paziente con stenosi foraminale o laterale si manifesta generalmente con dolore radicolare o radicolopatia a carico di qualunque distretto dell'arto inferiore, con un'intensità generalmente compresa tra moderata e severa.^[7] La gestione di tali condizioni segue pertanto principi simili a quelli adottati per la sindrome radicolare: ad esempio, il soggetto può trarre beneficio da interventi volti a favorire l'apertura delle interfacce articolari, mentre la flessione, normalmente considerata alleviante per questi pazienti, può risultare dolorosa a seconda dello stato di irritazione del tessuto neurale.^[7] La valutazione e la gestione di questa fase clinica si completano, inevitabilmente, attraverso un accurato esame neurologico; nel caso in cui il paziente con stenosi foraminale o del recesso laterale si trovi invece in una fase cronica o persistente, la gestione terapeutica tende a uniformarsi a quella prevista per la stenosi centrale.^[7] Rimane tuttavia opportuno considerare alcune specificità come, ad esempio, la maggiore sintomaticità indotta da movimenti di inclinazione laterale del tronco, che possono risultare particolarmente aggravanti (o allevianti) in questi soggetti.^[7]

3.1.1 Esercizio terapeutico

Tra le opzioni conservative disponibili, l'esercizio terapeutico rappresenta uno degli interventi maggiormente studiati ed applicati nella gestione della stenosi spinale lombare.^[38] Si configura come un approccio complesso e multifattoriale, che integra il ricondizionamento con obiettivi di tipo funzionale, educativo, preventivo e di miglioramento della qualità della vita.^[38] Inoltre, i programmi di esercizio risultano completamente adattabili alle caratteristiche cliniche del paziente e sono quindi modulabili in funzione delle fasi della condizione patologica, caratterizzando quindi una forte personalizzazione e specificità dell'intervento.^[38]

Principali tipologie di esercizio terapeutico per la stenosi spinale lombare:^[7,38,39]

1. Esercizi di mobilità in flessione lombare:

- Mirano a ridurre la compressione sulle strutture neurali migliorando la mobilità in flessione del rachide.
- Esempi: flessioni di tronco in ortostatismo o da seduti per raggiungere le punte dei piedi; raccoglimento delle ginocchia al petto in posizione supina; spostamento del bacino verso i talloni in quadrupedia.

2. Esercizi di rinforzo muscolare:

- Si concentrano sul potenziamento dei muscoli erettori spinali (nel rispetto del ROM eseguibile senza dolore in estensione), degli addominali, dei glutei e degli arti inferiori, con l'obiettivo di migliorare la stabilità lombare e il controllo posturale.
- Esempi: ponte gluteo; squat assistiti; estensioni dell'anca contro resistenza elastica; crunch addominale.

3. Esercizi di resistenza aerobica (*endurance training*):

- Favoriscono il miglioramento della tolleranza allo sforzo, contrastando la limitazione funzionale tipica della claudicatio neurogena.
- Esempi: camminata su tapis roulant inclinato; cyclette; cammino su superfici piane con soste programmate.

4. Esercizi di stabilizzazione e controllo motorio:

- Mirano a ottimizzare l'attivazione coordinata dei muscoli stabilizzatori del rachide, riducendo i carichi anomali sulle strutture lombari.
- Esempi: esercizi di attivazione del trasverso dell'addome; *plank* modificati; *tilt* pelvico in quadrupedia.

5. Esercizi neurodinamici:

- Nei pazienti che presentano una componente radicolare con segni di irritabilità neurale acuta, come dolore irradiato agli arti inferiori o positività ai test neurodinamici. Sono volti a migliorare lo scorrimento del nervo, aumentando così la tolleranza al movimento.
- Esempi: esercizi di *sliding* neurale come lo *Slump Exercise*, in cui da posizione seduta il paziente estende attivamente il ginocchio e la cervicale (contemporaneamente), con movimenti ripetuti, lenti e controllati.

6. Esercizi di stretching e mobilità articolare:

- Migliorano la flessibilità dei tessuti molli e contribuiscono a ridurre la rigidità lombare e degli arti inferiori.
- Esempi: stretching dei flessori dell'anca; stretching degli ischiocrurali; esercizi di mobilità del bacino e delle anche in tutte le direzioni di movimento, esercizi di mobilità in estensione del rachide toracico.



Immagine 2: proposte di esercizi in flessione lombare.

La corretta applicazione dell'esercizio terapeutico nella gestione della stenosi spinale lombare richiede il rispetto di principi strutturali e progressivi, finalizzati a garantire sicurezza, efficacia e adattamento individuale.^[7] In primo luogo, la programmazione deve considerare la frequenza, la durata e il numero di serie e ripetizioni, modulandoli sulla base delle condizioni cliniche e della tolleranza del paziente; ad esempio, nelle fasi iniziali si prediligono volumi contenuti e basso carico, successivamente è possibile aumentare gradualmente l'intensità e la complessità dei movimenti.^[7] La progressione deve seguire un criterio sequenziale che tenga conto della capacità di controllo motorio, della forza muscolare e della resistenza dell'individuo, evitando stimoli eccessivi che possano indurre dolore o irritazione del tessuto neurale; risulta inoltre fondamentale personalizzare l'approccio in funzione delle fasi del quadro clinico, dell'età e delle comorbidità del soggetto, scegliendo esercizi che rispettino le limitazioni funzionali e riducano al minimo il rischio di sovraccarico.^[7] La supervisione da parte del fisioterapista risulta essenziale per garantire la corretta esecuzione dei movimenti, correggere eventuali compensi posturali e adattare il programma in base alla risposta del paziente, assicurando così un percorso progressivo e sicuro verso il miglioramento della sintomatologia e della funzionalità globale.^[40]

Nella progettazione dei programmi di esercizio terapeutico per la stenosi spinale lombare, è fondamentale distinguere le strategie in relazione alla fase della condizione clinica.^[40] Durante le fasi acute o in caso di riacutizzazione dei sintomi, gli esercizi devono essere modulati per ridurre al minimo la tensione sulle strutture neurali e sui tessuti circostanti, privilegiando movimenti controllati, posizioni di flessione che allevino il dolore e volumi di lavoro contenuti.^[7] Al contrario, nelle fasi croniche o persistenti, è possibile aumentare gradualmente l'intensità, la complessità e la durata degli esercizi, introducendo movimenti dinamici e programmi di rinforzo e resistenza.^[7] Tale adattamento consente di ottimizzare il recupero funzionale, migliorare la capacità di deambulazione e la resistenza muscolare, sempre nel rispetto dei limiti individuali e sotto attenta supervisione professionale.^[40] In aggiunta, in alcuni pazienti con difficoltà nella deambulazione o claudicatio neurogena, possono essere impiegati ausili come bastoni, bastoni canadesi o deambulatori per migliorare la stabilità e ridurre il carico sulle strutture lombari.^[7] Può risultare utile l'utilizzo di corsetti per fornire stabilità lombare e contenere i movimenti in estensione, tuttavia un loro uso prolungato risulta controproducente, in quanto può determinare un decondizionamento della muscolatura del rachide.^[7] L'esercizio terapeutico nella stenosi spinale lombare persegue obiettivi funzionali, mirati a preservare e potenziare l'autonomia del paziente.^[40] Tra i principali scopi si annoverano il miglioramento della capacità di deambulazione, dell'equilibrio posturale e della resistenza muscolare degli arti inferiori e del tronco, oltre alla riduzione della rigidità lombare e della limitazione articolare.^[40] Inoltre, gli esercizi sono finalizzati a prevenire l'insorgenza di disabilità ed a mantenere il più possibile

l'indipendenza nelle attività quotidiane, fornendo strumenti di autoregolazione del carico e di gestione del dolore.^[38] Questi obiettivi funzionali costituiscono il filo conduttore che orienta la scelta, la progressione e la personalizzazione del programma di esercizio.^[40]

3.1.2 Terapia manuale

La terapia manuale rappresenta una componente importante del trattamento conservativo della stenosi spinale lombare, in quanto consente di intervenire sia sulla sintomatologia dolorosa sia sulle limitazioni funzionali attraverso tecniche mirate di mobilizzazione dei tessuti.^[7] Si fonda sull'applicazione di manovre manuali con finalità analgesiche e di miglioramento della mobilità, mirando ad ottimizzare la funzione globale del rachide e delle strutture adiacenti.^[7] Sebbene la stenosi lombare sia una condizione caratterizzata da un restringimento anatomico del canale vertebrale difficilmente modificabile, la terapia manuale può contribuire ad alleviare la sintomatologia e a favorire una migliore tolleranza al movimento, soprattutto quando integrata con programmi di esercizio terapeutico.^[41] In questo contesto, risulta pertanto utile analizzare le principali tecniche manuali adottate in ambito clinico e il loro ruolo all'interno di un approccio riabilitativo multimodale. Principali tecniche di terapia manuale per la stenosi spinale lombare:^[7]

1. Mobilizzazioni in posizione di flessione e/o in inclinazione controlaterale:
 - Favoriscono la riduzione della sintomatologia, in quanto ampliano lo spazio disponibile nel canale spinale e nei forami di coniugazione.
2. Tecniche sui tessuti molli:
 - Tecniche di massoterapia decontratturante e/o di rilascio miofasciale per ridurre la rigidità paravertebrale e migliorare l'elasticità dei tessuti.
3. Tecniche neurodinamiche:
 - Possono essere integrate per migliorare la mobilità nervosa quando vi è irritazione radicolare associata; ad esempio, esercizi di *sliding* come il *Side-Lyng Slump*, in cui si alterna l'estensione attiva della cervicale del paziente all'estensione passiva del ginocchio, in decubito laterale.
4. Tecniche di trazione manuale:
 - Trazioni lombari manuali, ad esempio con paziente supino e presa del fisioterapista sugli arti inferiori; utilizzate soprattutto per ottenere una modulazione dei sintomi.

5. Mobilizzazioni articolari di anca e torace:

- Tecniche per il miglioramento del ROM in estensione d'anca e del torace per migliorare il contributo di queste strutture nella direzione dell'estensione e quindi alleviare il carico sul distretto lombare.



Immagine 3: esempi di tecniche di mobilizzazione del rachide lombare in flessione (sopra) ed in inclinazione laterale (sotto).

L'impiego della terapia manuale nei pazienti affetti da stenosi spinale lombare non segue un approccio univoco, bensì viene adattato in funzione della fase clinica e della risposta individuale al trattamento.^[7] Nelle fasi iniziali o in presenza di sintomatologia acuta con componente radicolare, trovano indicazione tecniche a bassa intensità (intesa come la forza applicata dal terapeuta combinata con ampiezza e velocità del movimento) prevalentemente analgesiche, come le mobilizzazioni in flessione, la distrazione lombare e le tecniche sui tessuti molli, il cui obiettivo è quello di ridurre il dolore e l'irritabilità neurale.^[7] In condizioni croniche, dove prevalgono rigidità e limitazioni

funzionali, la terapia manuale si orienta verso il mantenimento della mobilità, il rilascio delle tensioni muscolari e la preparazione al carico funzionale, in associazione a programmi di esercizio.^[40]

Dal punto di vista della programmazione, non esistono linee guida ufficiali riguardo alla durata ottimale dei programmi di terapia manuale per la stenosi spinale lombare; tuttavia, la maggior parte degli studi clinici randomizzati disponibili adotta protocolli di 6–12 settimane con una frequenza di 1–2 sedute settimanali, spesso ridotta progressivamente in funzione del miglioramento clinico e della capacità di autogestione del paziente.^[38] L'intensità e la tipologia delle tecniche vengono dunque modulate in relazione alla fase patologica, alla risposta clinica e alla presenza di eventuali comorbidità, sottolineando l'importanza di un approccio personalizzato e progressivo. La terapia manuale assume quindi un ruolo complementare e sinergico all'esercizio, volto nelle prime fasi al controllo del dolore e successivamente orientato a facilitare il recupero funzionale, nonché a promuovere l'autonomia del paziente.^[7]

3.1.3 Terapie strumentali

I trattamenti fisioterapici fisici e strumentali, nei pazienti con stenosi spinale lombare, rappresentano approcci passivi utilizzati per modulare il dolore, favorire il rilassamento muscolare e migliorare la circolazione locale.^[42]

Tra le principali metodiche riportate in letteratura si annoverano:^[42,43]

1. TENS (*Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*): consiste nella somministrazione di impulsi elettrici a bassa frequenza attraverso elettrodi applicati sulla cute, con lo scopo di stimolare le fibre nervose sensoriali e modulare la percezione del dolore.
2. Elettrostimolazione muscolare (EMS): impiega correnti elettriche applicate tramite elettrodi per indurre contrazioni muscolari controllate, finalizzate al rilassamento della muscolatura ed al miglioramento della funzione muscolare.
3. Laserterapia: prevede l'applicazione di radiazione luminosa a bassa o alta intensità sui tessuti, con effetto analgesico, antinfiammatorio e stimolante sul metabolismo cellulare locale.
4. Ultrasuoni: consistono nell'utilizzo di onde sonore ad alta frequenza per indurre effetti meccanici e termici nei tessuti profondi, favorendo la vasodilatazione, il rilassamento muscolare e la riduzione della rigidità.
5. Campi elettromagnetici pulsati (PEMF): applicazione di campi elettromagnetici a bassa frequenza sui tessuti, con finalità di stimolazione cellulare e modulazione della percezione dolorosa.

6. Terapia del calore superficiale o profondo: comprende l'uso di fonti di calore, come impacchi, diatermia o ultrasuoni a effetto termico, per favorire il rilassamento muscolare, aumentare la circolazione e ridurre la rigidità dei tessuti molli.

Queste metodiche sono generalmente impiegate come approcci passivi di supporto, indicati soprattutto nelle fasi acute o subacute, quando la sintomatologia limita l'esecuzione di esercizio attivo.^[39] Ad ogni modo, non potendo agire sull'ampiezza del canale spinale né sulla compressione radicolare, vengono utilizzate spesso come tecniche complementari all'interno di programmi riabilitativi multimodali.^[43] La scelta della terapia più appropriata, così come la durata e la frequenza del trattamento, deve essere personalizzata in base alle caratteristiche cliniche del paziente, alla sua tolleranza individuale ed alla presenza di eventuali comorbidità e controindicazioni.^[39]

3.1.4 Terapie farmacologiche

Nella gestione conservativa della stenosi spinale lombare, il trattamento farmacologico rappresenta un'opzione prevalentemente sintomatica, finalizzata al controllo del dolore e al miglioramento della funzionalità quotidiana.^[44] Tra le principali classi di farmaci impiegate vi sono i farmaci antinfiammatori non steroidei (FANS), ad esempio ibuprofene e naproxene, che rappresentano generalmente la scelta più comune nelle fasi di riacutizzazione per via del loro effetto sulla sintomatologia infiammatoria e algica; a questi si affiancano gli analgesici, come il paracetamolo, che costituiscono spesso la prima linea terapeutica nei casi di dolore lieve, grazie a un buon profilo di tollerabilità ed a un rischio limitato di effetti gastrointestinali o cardiovascolari rispetto ai FANS.^[45] In associazione, o in alternativa, soprattutto in presenza di ipertono muscolare o spasmi, possono essere prescritti i farmaci miorilassanti, che agiscono sul tono muscolare favorendo un miglioramento della mobilità e una riduzione del dolore associato alla rigidità.^[45] Nei casi in cui il dolore assuma caratteristiche neuropatiche, legate al coinvolgimento radicolare, trovano invece indicazione farmaci ad azione specifica sul dolore neuropatico, come gli antidepressivi triciclici (come l'amitriptilina) e gli anticonvulsivanti (ad esempio gabapentin, pregabalin), i quali modulano i meccanismi di trasmissione nervosa e riducono l'iperattività delle vie dolorifiche centrali.^[45] Infine, in pazienti selezionati e solo quando il dolore risulti particolarmente intenso e resistente ad altre terapie, può essere presa in considerazione la somministrazione di analgesici oppioidi, che richiedono tuttavia cautela a causa del rischio di effetti collaterali, di tolleranza e di dipendenza.^[45] Nel complesso, la terapia farmacologica nella stenosi spinale lombare non sembra essere risolutiva, se impiegata come unico trattamento, ma può svolgere un ruolo importante nel contenere la sintomatologia e consentire

una migliore aderenza ad altre strategie conservative come l'esercizio terapeutico o la terapia manuale.^[44]

3.1.5 Iniezioni epidurali

Sebbene le iniezioni epidurali prevedano una procedura invasiva, che richiede l'introduzione di un ago nello spazio epidurale e talvolta l'ausilio della guida fluoroscopica, esse vengono comunemente incluse in letteratura tra gli approcci conservativi della stenosi spinale lombare.^[46] Tale classificazione viene giustificata dal fatto che, a differenza dei trattamenti chirurgici propriamente detti, queste procedure non determinano modificazioni anatomiche permanenti, ma si limitano a svolgere un'azione sintomatica e temporanea; vengono perciò definite come trattamenti “minimamente invasivi non chirurgici”, rappresentando un'opzione intermedia tra le terapie farmacologiche e fisioterapiche e l'intervento chirurgico.^[46]

Le iniezioni epidurali costituiscono un'opzione terapeutica frequentemente utilizzata nell'ambito del trattamento conservativo della stenosi spinale lombare, con lo scopo di ridurre l'infiammazione a carico delle radici nervose e conseguentemente alleviare il dolore.^[46] La procedura prevede l'introduzione di corticosteroidi, spesso associati ad anestetici locali, nello spazio epidurale: i primi agiscono attraverso un effetto antinfiammatorio e antiedemigeno, mentre i secondi determinano un temporaneo blocco della conduzione nocicettiva, contribuendo ad un sollievo immediato.^[45]

Sono disponibili diverse tecniche di somministrazione, che differiscono per modalità di accesso e distribuzione del farmaco. L'approccio interlaminare consiste nell'eseguire un'iniezione tra le lamine di due vertebre adiacenti, lungo la linea mediana, permettendo una diffusione relativamente ampia del farmaco nello spazio epidurale; si tratta della tecnica più comunemente eseguita e trova indicazione in presenza di dolore diffuso o bilaterale.^[45] L'approccio transforaminale, invece, risulta più selettivo: il farmaco viene veicolato attraverso il forame intervertebrale, in prossimità della radice nervosa compressa, garantendo una maggiore concentrazione locale del principio attivo; questa modalità trova indicazione nei casi di dolore radicolare monolaterale.^[45] Infine, l'approccio caudale prevede l'introduzione dell'ago attraverso lo *hiatus* sacrale, con diffusione in direzione craniale del farmaco nello spazio epidurale; risulta utile soprattutto nei pazienti con stenosi multiple o in coloro che hanno già subito interventi chirurgici a livello lombare, in cui le aderenze cicatriziali possono rendere difficoltoso l'accesso con altre tecniche.^[45]

Tendenzialmente, le iniezioni epidurali vengono prese in considerazione quando il dolore risulta severo e refrattario alla terapia farmacologica orale, nei pazienti che non sono candidabili a chirurgia o che preferiscono posticiparla, nonché come supporto temporaneo per permettere l'avvio o la

prosecuzione del percorso riabilitativo.^[45] Nonostante siano procedure considerate sicure, le iniezioni epidurali possono comportare delle complicanze, tra le quali si annoverano: cefalea post-puntura, infezioni (come meningite o ascessi epidurali, molto raramente), ematomi, reazioni avverse ai farmaci e, seppur in casi eccezionali, anche deficit neurologici permanenti.^[45]

Le linee guida internazionali ne raccomandano l'impiego con cautela e in maniera mirata, sottolineando che le iniezioni epidurali non rappresentano una terapia definitiva ma piuttosto un'opzione temporanea e selettiva all'interno di un approccio multimodale.^[46] Viene inoltre suggerito di limitarne la ripetizione, generalmente a non più di quattro procedure nell'arco di un anno, al fine di ridurre il rischio di effetti avversi correlati alla somministrazione ripetuta di corticosteroidi.^[45]

3.2 Evidenze di efficacia dei trattamenti conservativi della stenosi spinale lombare

Il presente sottocapitolo si propone di analizzare l'evidenza disponibile sull'efficacia dei principali trattamenti conservativi utilizzati nella gestione della stenosi spinale lombare, ponendo il focus sugli studi clinici randomizzati selezionati e riportati nella Tabella 1, supportandoli con i dati estratti da sette revisioni sistematiche pertinenti. L'obiettivo è fornire una panoramica chiara delle strategie più efficaci, dei limiti degli interventi e delle eventuali differenze nei risultati tra approcci diversi, al fine di orientare scelte terapeutiche basate sulle evidenze scientifiche più solide. I dati saranno organizzati per tipologia di intervento, così da consentire una lettura ordinata e facilitare, nel capitolo successivo, una discussione critica e comparativa.

3.2.1 Esercizio terapeutico e terapia manuale

Uno studio clinico randomizzato di Williamson *et al.*^[47] ha confrontato un programma di gruppo fisioterapico e psicologico (BOOST) con un intervento di consigli basati sulle *best practice advice* (BPA). Sono stati selezionati 435 partecipanti, randomizzati con rapporto 2:1 a ricevere il programma BOOST (n=292) oppure la BPA (n=143). L'outcome primario era rappresentato dall'*Oswestry Disability Index* (ODI) a 12 mesi, mentre ulteriori esiti comprendevano il punteggio dell'item "cammino" dell'ODI, il *Six-Minute Walk Test* (6MWT) e la frequenza di cadute. L'età media dei partecipanti era di 74,9 anni, con una prevalenza femminile del 57% (246/435). Il programma BOOST (*Better Outcomes for Older People with Spinal Trouble*), condotto da fisioterapisti, prevedeva 12 sessioni di gruppo da 90 minuti nell'arco di 12 settimane, integrate da un programma di esercizi domiciliari da eseguire due volte a settimana. Ogni partecipante veniva inizialmente sottoposto ad

una valutazione fisioterapica individuale per analizzare sintomi, stato di salute, livello di attività, capacità di cammino, oltre che per definire lo “*starting point*” degli esercizi. Le sessioni comprendevano una parte educativa della durata di trenta minuti, basata su un approccio cognitivo-comportamentale per promuovere l’aderenza al programma, seguita da un’ora di esercizi di forza (come estensioni del ginocchio da seduto, *sit-to-stand*, abduzioni ed estensioni dell’anca in stazione eretta), equilibrio, flessibilità ed un circuito di cammino supervisionato. Gli esercizi domiciliari erano progressivamente personalizzati e rinforzati con contatti telefonici di follow-up a uno e due mesi dalla fine delle sessioni supervisionate, per favorire l’aderenza e risolvere eventuali barriere. Il gruppo di controllo ha invece ricevuto consigli individuali (BPA) erogati da fisioterapisti in una seduta di un’ora, con possibilità di massimo due incontri di revisione (30 minuti ciascuno) se ritenuto necessario. L’incontro comprendeva una valutazione clinica iniziale e l’erogazione di consigli verbali e scritti riguardanti la claudicatio neurogena, l’importanza dell’attività fisica, l’uso dei farmaci, le indicazioni su quando richiedere ulteriore supporto e la prescrizione di esercizi domiciliari (fino a quattro), principalmente di flessione e stabilizzazione del tronco. In base alle necessità, poteva anche essere prescritto un ausilio per la deambulazione. Nel gruppo BPA non erano previsti interventi attivi come terapia manuale o esercizio supervisionato.

A 12 mesi non sono emerse differenze significative tra i gruppi nei punteggi ODI (differenza media aggiustata = -1,4; IC 95%: -4,03-1,17). Tuttavia, a 6 mesi i punteggi ODI erano significativamente migliori nel gruppo BOOST (differenza media aggiustata = -3,7; IC 95%: -6,27-1,06). A 12 mesi, il programma BOOST ha mostrato un miglioramento superiore della capacità di cammino al 6MWT (MD = 21,7 m; IC 95%: 5,96-37,38), dell’item “cammino” dell’ODI (differenza media = -0,2; IC 95%: -0,45-0,01) ed una riduzione del rischio di cadute (*odds ratio* = 0,6; IC 95%: 0,40-0,98) rispetto al gruppo BPA.

Gli autori concludono che il programma BOOST determini un sostanziale miglioramento della mobilità negli anziani con claudicatio neurogena, mentre ritengono che futuri sviluppi dovranno concentrarsi sul potenziamento degli effetti a lungo termine sulla disabilità correlata al dolore.

In uno studio clinico randomizzato a tre bracci della durata di tre anni, condotto da Schneider *et al.*^[41], è stata esplorata l’efficacia comparativa di tre interventi conservativi nei pazienti con stenosi spinale lombare. Sono stati selezionati 259 partecipanti con età media di 72,4 anni (52,9% donne), con stenosi centrale o del recesso laterale documentata da RM o TC e sintomi clinici compatibili (claudicatio neurogena, miglioramento con la flessione). I partecipanti sono stati randomizzati a cure mediche (n=88; 34,0%), esercizi di gruppo (n=84; 32,4%) o terapia manuale/esercizi individualizzati (n=87; 33,6%). Le cure mediche consistevano in farmaci e/o iniezioni epidurali somministrate da un fisiatra;

gli esercizi di gruppo erano svolti sotto la supervisione di istruttori di fitness presso centri comunitari per anziani; la terapia manuale con esercizi individualizzati comprendeva mobilizzazioni spinali, stretching e rinforzo muscolare erogati da fisioterapisti e chiropratici. Tutti gli interventi avevano durata di sei settimane, con follow-up a due e sei mesi. Gli outcome primari erano rappresentati dai punteggi del *Swiss Spinal Stenosis Questionnaire* (range 12–55) e dalla capacità di cammino misurata tramite *Self-Paced Walking Test* (SPWT).

A due mesi, l'analisi tra i gruppi ha mostrato che la terapia manuale associata a esercizi individualizzati determinava un miglioramento significativamente maggiore dei sintomi e della funzione rispetto alle cure mediche (differenza media -2,0; IC 95%: -3,6–-0,4) e agli esercizi di gruppo (-2,4; IC 95%: -4,1–-0,8). Inoltre, il gruppo terapia manuale/esercizi individualizzati presentava una maggiore proporzione di *responder*, definiti come miglioramento $\geq 30\%$, sia per sintomi e funzione (20%) sia per la capacità di cammino (65,3%), rispetto alle cure mediche (7,6% e 48,7%) ed agli esercizi di gruppo (3,0% e 46,2%). A sei mesi, invece, non sono emerse differenze significative tra i tre gruppi né nei punteggi medi né nelle percentuali di *responder*.

In conclusione, la combinazione di terapia manuale ed esercizi individualizzati ha dimostrato un beneficio superiore a breve termine in quanto a sintomi, funzione e capacità di cammino rispetto a cure mediche o esercizi di gruppo, mentre nel lungo termine tutti e tre gli interventi si sono associati a un miglioramento della capacità di deambulazione.

Oltre ai trial di cui sopra, ulteriori dati rilevanti sono stati raccolti ed analizzati da alcune revisioni sistematiche recenti, utili ad implementare la visione d'insieme sull'efficacia terapeutica di esercizio e terapia manuale nel trattamento della stenosi spinale lombare.

Nella loro revisione sistematica, Comer *et al.*^[38] hanno incluso 13 RCT per un totale di 1440 partecipanti (età media 65 anni) con l'obiettivo di esaminare le componenti degli interventi rivolti a persone con claudicatio neurogena da stenosi spinale lombare, ed individuare quelli associati a maggior efficacia. Sono stati identificati 23 programmi di esercizio, di cui la maggior parte erano interventi supervisionati e multimodali (20/23) che includevano spesso terapia manuale, educazione e approcci psicologicamente informati. Dei 13 trial considerati, otto programmi di esercizio (da sette studi) sono stati classificati come efficaci, mentre gli altri non hanno riportato benefici significativi. Nei programmi efficaci erano più frequentemente presenti stretching (7/8 vs 5/15), rinforzo muscolare (7/8 vs 8/15), esecuzione di cyclette o esercizi aerobici in flessione (5/8 vs 2/15), ed approcci psicologicamente informati (2/8 vs 0/15). Al contrario, nei programmi inefficaci ricorrevano maggiormente cure autogestite, conduzione da parte di istruttori non fisioterapisti, aggiunta di terapie mediche, elettroterapia, impacchi di calore. Nei trial con esiti positivi si osservavano miglioramenti

significativi sia nel dolore (VAS o ZCQ-SS) sia nella funzionalità (ODI o ZCQ-PF) e nella capacità di cammino, con follow-up fino a 12 mesi. L'esercizio su cyclette risultava particolarmente associato a miglioramenti della sintomatologia (4/7) e della capacità di cammino (4/7 a breve termine), mentre un approccio psicologicamente informato favoriva il mantenimento dei risultati sul cammino nel lungo periodo.

Una revisione di Ammendolia *et al.*^[39] ha incluso 44 RCT (3792 partecipanti, età media 63 anni) per analizzare l'efficacia dei trattamenti conservativi nei pazienti affetti da stenosi spinale lombare, con claudicatio neurogena. In particolare, tre trial di qualità moderata hanno mostrato che la combinazione di terapia manuale ed esercizio, con o senza educazione, determina miglioramenti clinicamente rilevanti rispetto a cure mediche standard o a programmi di esercizio di gruppo generici. Nei confronti a breve termine, l'associazione di terapia manuale ed esercizio ha prodotto una riduzione dei sintomi ed un miglioramento funzionale superiori rispetto al solo trattamento medico, mentre a lungo termine è stato osservato un incremento significativo della distanza percorsa nel cammino. Un approccio multimodale che comprendeva terapia manuale, educazione ed esercizio basato su principi cognitivo-comportamentali ha determinato i risultati più consistenti sulla capacità di deambulazione, mantenuti anche oltre i 12 mesi.

Kirker *et al.*^[48] hanno incluso nella loro revisione 85 studi (RCT e prospettici) sul trattamento conservativo della stenosi spinale lombare, analizzando in particolare programmi di riabilitazione comprendenti esercizio terapeutico e terapia manuale. Nei confronti tra riabilitazione strutturata ed assenza di trattamento o placebo, l'esercizio ha mostrato una riduzione significativa del dolore (MD -1,63; IC 95%: -2,68—-0,57; $I^2 = 71\%$; $P = 0.002$). Tuttavia, non sono state rilevate differenze significative per la disabilità (misurata con ODI o RMDQ), per la distanza percorsa al cammino né per la gravità dei sintomi specifici della stenosi. Le evidenze sull'efficacia della terapia manuale risultano più limitate: alcuni studi riportano miglioramenti funzionali e nella capacità di cammino quando la terapia manuale è combinata con esercizio e educazione, ma l'eterogeneità metodologica non consente conclusioni robuste.

Nel complesso, i dati estrapolati suggeriscono che l'applicazione di programmi di esercizio terapeutico strutturato, soprattutto se integrati con terapia manuale e, in alcuni casi, con educazione del paziente ed approcci cognitivo-comportamentali, rappresentano le strategie conservative con i risultati più promettenti nel migliorare dolore, funzionalità e capacità di deambulazione nei pazienti con stenosi spinale lombare.

3.2.2 Fisioterapia supervisionata e autogestita

Uno studio randomizzato controllato di Ammendolia *et al.*^[49] ha confrontato l'efficacia di un programma di allenamento conservativo, strutturato e completo, rispetto ad un approccio autogestito nel migliorare la capacità di cammino in 104 pazienti con stenosi spinale lombare confermata da imaging e claudicatio neurogena. L'età media era di 70,6 anni, il 57% erano donne, l'84% presentava sintomi agli arti inferiori da oltre 12 mesi e la distanza media massima percorribile era di 328,7 metri. Il programma strutturato prevedeva due sedute settimanali di 15–20 minuti per sei settimane, seguite da una singola seduta “*booster*” dopo quattro settimane. Il programma comprendeva:

- Educazione: istruzione individuale su strategie di autogestione basate su un approccio cognitivo-comportamentale, incluse tecniche di problem solving, *pacing*, rilassamento, riposizionamento del corpo (*tilt* pelvico) per ridurre la lordosi lombare e aumentare il diametro del canale spinale.
- Esercizi: un set standardizzato di 18 esercizi progressivi, eseguiti sia in seduta che a domicilio, mirati a stretching, rinforzo e condizionamento della schiena e degli arti inferiori, con particolare attenzione alla flessione lombare. L'attività includeva anche cyclette stazionaria quotidianamente, con aumento graduale di durata e intensità, eseguita due volte al giorno. Dopo sei settimane, la frequenza degli esercizi a domicilio veniva ridotta a una volta al giorno, mantenendo comunque la routine giornaliera di esercizi e strategie di autogestione a lungo termine.
- Terapia manuale: combinazione standardizzata di mobilizzazioni articolari, dei tessuti molli e neurali, flesso-estensione lombare e stretching muscolare manuale, replicata in ogni seduta per migliorare flessibilità, ridurre dolore e facilitare la flessione lombare intersegmentale.

Ai partecipanti venivano inoltre forniti un video istruttivo, un diario per la registrazione degli esercizi e delle strategie di autogestione ed un pedometro per monitorare settimanalmente i passi percorsi prima dell'insorgenza di sintomi neurogenici. Il programma autogestito includeva gli stessi materiali educativi (video, diario, pedometro) e una singola seduta di 15–30 minuti con un terapeuta indipendente per illustrare il programma e spiegare l'uso del pedometro. A differenza del gruppo completo, i partecipanti del gruppo autogestito non ricevevano educazione personalizzata, interventi cognitivo-comportamentali, terapia manuale o altre modalità terapeutiche. Gli outcome primari erano la distanza di cammino continuo, valutata tramite il *Self-Paced Walk Test* (SPWT), e la proporzione di pazienti che raggiungevano un miglioramento clinicamente significativo ($\geq 30\%$) a sei mesi; tra gli outcome secondari figuravano il *Zurich Claudication Questionnaire* (ZCQ), l'*Oswestry Disability Index* (ODI), l'*ODI walk score* e le sottoscale dello *Short-Form General Health Survey* (SF-36). Il

gruppo sottoposto al programma completo ha evidenziato un miglioramento statisticamente significativo e clinicamente rilevante nella SPWT rispetto al gruppo autogestito in ciascun periodo di follow-up. A sei mesi, la differenza media aggiustata tra i gruppi nella distanza percorsa era di 421,0 m (IC 95%: 181,4–660,6; $P = 0.0006$), mentre a 12 mesi la differenza media aggiustata tra i gruppi era di 473,2 m (IC 95%: 203,9–742,4; $P = 0.0007$). In ciascun follow-up, la proporzione di partecipanti che migliorava la distanza percorsa di almeno il 30% (MCID) era significativamente maggiore nel gruppo completo rispetto al gruppo autogestito. A sei mesi, l'82% dei partecipanti nel gruppo completo e il 63% nel gruppo autogestito hanno raggiunto la MCID (rischio relativo aggiustato, 1,3; IC 95%: 1,0–1,7; $P = 0.03$). L'effetto del trattamento è stato mantenuto anche a 12 mesi, sempre a favore del gruppo completo (81% vs 59%, rischio relativo aggiustato, 1,4; IC 95%: 1,1–1,8; $P = 0.018$). A sei mesi, il gruppo completo ha mostrato un miglioramento statisticamente significativo e clinicamente rilevante nell'ODI *walk score* rispetto al gruppo autogestito, con una differenza media aggiustata tra i gruppi di -0,9 (IC 95%: -1,3–-0,4; $P = 0.0001$). Non sono state osservate altre differenze significative negli altri outcome secondari a sei mesi. A 12 mesi, il gruppo completo ha mostrato un miglioramento statisticamente significativo nella scala funzionale ZCQ e nelle scale combinate ZCQ *Symptom* e ZCQ *Functional* rispetto al gruppo autogestito, con una differenza media aggiustata tra i gruppi di -0,27 (IC 95%: -0,49–-0,04; $P = 0.020$) e -0,48 (IC 95%: -0,90–-0,06; $P = 0.025$), rispettivamente. Queste differenze tra i gruppi erano clinicamente rilevanti. Sempre a 12 mesi, differenze significative a favore del gruppo completo sono state osservate nel punteggio di funzione fisica SF-36 (MD 8,2; IC 95%: 0,2–16,2; $P = 0.045$) e dolore corporeo SF-36 (MD 10,0; IC 95%: 2,1–17,9; $P = 0.013$), entrambe clinicamente rilevanti. Complessivamente, il programma conservativo completo ha dimostrato miglioramenti superiori, consistenti e duraturi nella capacità di cammino, configurandosi come un'opzione terapeutica conservativa sicura per pazienti con claudicatio neurogena da stenosi spinale lombare.

Ad opera di Minetama *et al.*^[50] è stato svolto uno studio clinico randomizzato che ha confrontato l'efficacia della fisioterapia supervisionata rispetto a un programma di esercizi non supervisionati nei pazienti con stenosi spinale lombare sintomatica, diagnosticata tramite risonanza magnetica. L'obiettivo principale era valutare il miglioramento della gravità dei sintomi a sei settimane tramite lo *Zurich Claudication Questionnaire* (ZCQ), mentre gli outcome secondari includevano la funzione fisica (ZCQ), la distanza percorsa al *Self-Paced Walking Test* (SPWT), il dolore misurato con scala numerica (NRS) e il numero medio di passi giornalieri registrati con pedometro. I pazienti sono stati randomizzati in due gruppi: il gruppo fisioterapia (PT, $n=43$), che ha seguito due sedute settimanali per sei settimane, comprendenti terapia manuale, esercizi personalizzati di stretching e rinforzo,

ciclismo e cammino su *treadmill* con supporto del peso corporeo; ed il gruppo esercizi domiciliari (HE, n=43), che ha seguito un programma di esercizi non supervisionati.

I risultati hanno evidenziato un chiaro vantaggio del gruppo PT rispetto al gruppo HE: una percentuale significativamente più alta di pazienti ha raggiunto la *minimum clinically important difference* (MCID) nella gravità dei sintomi (differenza tra gruppi = 30,2%; IC 95%: 9,1–48,6; $P = 0.01$), nella funzione fisica (32,6%; IC 95%: 11,6–50,6; $P < 0.01$), nella distanza percorsa al SPWT (39,5%; IC 95%: 18,8–56,7; $P < 0.01$), nel dolore agli arti inferiori (34,9%; IC 95%: 13,9–52,7; $P < 0.01$) e nel numero di passi giornalieri (25,6%; IC 95%: 4,9–43,9; $P = 0.01$).

Gli autori concludono che la fisioterapia supervisionata nei pazienti con LSS porta a miglioramenti significativi a breve termine in termini di gravità dei sintomi, funzione fisica, distanza di cammino, dolore e livello di attività fisica, rispetto agli esercizi non supervisionati.

Diverse revisioni sistematiche hanno confrontato l'efficacia della fisioterapia supervisionata rispetto agli esercizi autogestiti o di gruppo nei pazienti con stenosi spinale lombare.

Per quanto riguarda la capacità di cammino, Jacobi *et al.*^[51] riportano un aumento significativo nel *Self-Paced Walk Test* (MD = 293,3 m; IC 95%: 61,7–524,9 m; bassa qualità dell'evidenza, $I^2 = 79\%$) a breve termine, mentre Temporiti *et al.*^[43] rilevano un incremento simile di MD = 270,5 m (IC 95%: 23,7–517,3) dopo 6–8 settimane, con effetti che generalmente non persistono fino a sei mesi, sebbene alcuni dati non combinati indichino miglioramenti mantenuti a tre mesi (MD = 267,4 m; IC 95%: 38,7–496,7) ed a un anno (MD = 473,2 m; IC 95%: 206,0–740,4). Riguardo il dolore, entrambi gli studi riportano riduzioni modeste ma statisticamente significative: Jacobi *et al.* indicano MD = –1,1 per il dolore alla schiena e agli arti inferiori (IC 95%: –1,8–0,4; qualità moderata), mentre Temporiti *et al.* rilevano MD = –1,2 per il dolore alla schiena e MD = –1,1 per il dolore agli arti inferiori, valori comunque inferiori alle soglie di rilevanza clinica (MCID 1,25–1,5). La disabilità e la gravità dei sintomi migliorano a breve termine con la fisioterapia supervisionata. Jacobi *et al.* riportano una riduzione dei punteggi funzionali dello *Zurich Claudication Questionnaire* (ZCQ) e della gravità dei sintomi (MD = –0,3; IC 95%: –0,4–0,2), mentre Temporiti *et al.* confermano riduzioni simili per lo ZCQ *Function* (MD = –0,30; IC 95%: –0,47–0,14) e sintomi a un anno (MD = –0,30; IC 95%: –0,48–0,12), sebbene anche in questo caso le differenze siano inferiori alle MCID di riferimento. Miglioramenti clinicamente rilevanti sono invece riportati per alcune voci del JOABPEQ (*Japanese Orthopaedic Association Back Pain Evaluation Questionnaire*), in particolare per i disturbi del cammino (MD = 16,0; IC 95%: 5,4–26,7; MCID = 9,4). Riguardo la qualità della vita, l'intervento supervisionato migliora vari domini dello SF-36, tra cui funzionamento fisico, dolore corporeo, ruolo fisico, ruolo emotivo, salute mentale, funzionamento sociale, vitalità e

salute generale, con MD compresi tra 7,9 e 12,7 punti e IC che confermano l'effetto positivo a sei settimane.

Infine, entrambi gli studi riportano che gli effetti sul lungo termine sono più incerti: i miglioramenti nella capacità di cammino possono persistere in alcuni pazienti fino a un anno, mentre quelli sul dolore e sulla disabilità tendono a ridursi. Gli eventi avversi sono rari e generalmente lievi, come dolori muscolari transitori, senza segnalazioni di eventi gravi collegati all'intervento supervisionato. Inoltre, un recente studio di Urata *et al.*^[40] ha incluso tre RCT per un totale di 244 partecipanti (età media 70 anni), confrontando interventi conservativi con o senza esercizio supervisionato. Nel breve termine, l'esercizio supervisionato ha determinato una riduzione significativa del dolore agli arti inferiori (MD = -0,94; IC 95%: -1,60–-0,29; $P < 0.01$) e della gravità dei sintomi (MD = -0,29; IC 95%: -0,50–-0,08; $P < 0.01$), oltre a un incremento rilevante della distanza percorsa al cammino (MD = +415 m; IC 95%: 298–534; $P < 0.001$) e della qualità di vita, con benefici evidenti in diverse sottoscale dello SF-36. I dati a lungo termine non hanno mostrato differenze significative per la lombalgia o l'indice di disabilità (ODI), ma hanno confermato un miglioramento della funzionalità (ZCQF: MD = 0,27; IC 95%: 0,04–0,49; $P = 0.02$) e della performance nel cammino (MD = 473 m; IC 95%: 203,9–742,4; $P = 0.0006$), soprattutto nei pazienti che hanno combinato esercizio supervisionato e programma autodiretto. Complessivamente, l'esercizio supervisionato ha mostrato effetti favorevoli sulla sintomatologia e sulla capacità funzionale, con benefici persistenti nel lungo periodo in termini di mobilità e qualità di vita.

In sintesi, l'evidenza disponibile indica che la fisioterapia supervisionata offre vantaggi clinici superiori a breve termine rispetto agli esercizi autogestiti o di gruppo in termini di cammino, dolore, disabilità e qualità della vita, pur con effetti talvolta sotto le soglie di rilevanza clinica e con evidenza di qualità variabile.

3.2.3 Trattamenti fisioterapici strumentali

Uno studio randomizzato controllato a due bracci di Ammendolia *et al.*,^[52] in doppio cieco (partecipanti e valutatori), ha indagato l'efficacia della stimolazione elettrica transcutanea (TENS) dei nervi spinali rispetto ad una TENS “*de-tuned*” (placebo), applicate durante la deambulazione, nei pazienti con stenosi spinale lombare. Sono stati reclutati 104 pazienti di età ≥ 50 anni con claudicatio neurogena, diagnosi confermata da imaging e capacità di cammino limitata. L'outcome primario era la distanza percorsa al *Self-Paced Walking Test* (SPWT), valutando la proporzione di pazienti che ottenevano un miglioramento $\geq 30\%$ rispetto al basale. Nel gruppo TENS attiva ($n=49$), la stimolazione è stata applicata da L3 a S1 con frequenza 65–100Hz, modulata su intervalli di tre

secondi, con durata dell'impulso 100–200 μ s, avviata due minuti prima del SPWT e mantenuta durante la prova. Nel gruppo TENS *de-tuned* (n=51), invece, la stimolazione veniva interrotta dopo 30 secondi e spenta prima dell'inizio della camminata. Entrambi i gruppi hanno mostrato un miglioramento significativo della distanza percorsa, ma senza differenze significative tra TENS attiva e placebo: la differenza media era di 46,9 m (IC 95%: –118,4–212,1; P = 0.57). Inoltre, il 71% dei pazienti nel gruppo TENS attiva (35/49) e il 74% nel gruppo placebo (38/51) ha raggiunto un miglioramento $\geq 30\%$ (RR = 0,96; IC 95%: 0,7–1,2; P = 0.77).

Lo studio conclude che la TENS paraspinale attiva applicata durante la deambulazione non offre benefici superiori rispetto alla TENS placebo nel migliorare la capacità di cammino in pazienti con LSS degenerativa e, pertanto, non dovrebbe essere raccomandata nella pratica clinica. È importante sottolineare inoltre che il presente studio ha valutato esclusivamente gli effetti immediati della TENS paraspinale durante il *Self-Paced Walking Test*, senza prevedere un follow-up a medio o lungo termine. Gli stessi autori riconoscono questa limitazione, sottolineando la necessità di ulteriori ricerche che indaghino la sostenibilità nel tempo degli effetti osservati.

La revisione sistematica di Temporiti *et al.*^[43], riguardante l'efficacia degli interventi fisioterapici nei pazienti con stenosi spinale lombare, ha riportato risultati relativi all'utilizzo di ultrasuoni e campi elettromagnetici pulsati (CEMP) nel trattamento di questa condizione. Le evidenze disponibili hanno mostrato come l'esercizio combinato con ultrasuoni o ultrasuoni placebo abbia prodotto una riduzione clinicamente significativa sulla scala VAS dopo un intervento di tre settimane, rispetto all'assenza di intervento, sui seguenti parametri:

- Dolore lombare (MD = –2,6; IC 95%: –4,1–0,7 per ultrasuoni + esercizio; MD = –2,3; IC 95%: –4,0–0,6 per ultrasuoni placebo + esercizio)
- Dolore agli arti inferiori (MD = –2,0; IC 95%: –3,7–0,3 per ultrasuoni + esercizio; MD = –3,0; IC 95%: –5,0–1,0 per ultrasuoni placebo + esercizio)
- Tolleranza al cammino (MD = 160,4; IC 95%: 41,3–279,5 per ultrasuoni + esercizio; MD = 181,0; IC 95%: 46,8–315,1 per ultrasuoni placebo + esercizio).

I campi elettromagnetici hanno prodotto miglioramenti sull'ODI rispetto al placebo, dopo un intervento di due (MD = –5,3; IC 95%: –8,6–2,0) e tre settimane (MD = –6,1; IC 95%: –9,3–2,9), mentre gli interventi che si proponevano di migliorare il dolore lombare, il dolore agli arti inferiori, la mobilità funzionale ed il livello di qualità della vita non hanno raggiunto la soglia di rilevanza clinica. Ad ogni modo, secondo gli autori le evidenze disponibili sull'utilizzo di ultrasuoni e di campi elettromagnetici pulsati, nel trattamento di pazienti con stenosi spinale lombare, sono complessivamente di qualità molto bassa.

3.2.4 Trattamenti mini-invasivi

Uno studio clinico randomizzato di Hammerich *et al.*^[53] ha esaminato l'efficacia delle iniezioni epidurali di corticosteroidi (ESI) associate a educazione del paziente, con o senza fisioterapia (PT), in soggetti con stenosi spinale lombare. Sono stati randomizzati 54 pazienti: 31 hanno ricevuto da una a tre iniezioni con educazione (ESI), mentre 23 hanno ricevuto, in aggiunta, 8–10 sedute di fisioterapia multimodale (ESI+PT) nell'arco di dieci settimane. Gli outcome principali comprendevano disabilità, dolore, qualità di vita e valutazione globale del cambiamento, raccolti a dieci settimane, sei mesi e un anno. Non sono emerse differenze significative tra i gruppi nell'*Oswestry Disability Index* (ODI) in nessuna tempistica di follow-up, sebbene l'intero campione mostrasse un miglioramento clinicamente rilevante sia a dieci settimane ($P < 0.001$; IC 95%: -18,01–-5,51) sia a un anno ($P = 0.01$; IC 95%: -14,57–-2,03). Tuttavia, a dieci settimane il gruppo ESI+PT ha evidenziato miglioramenti significativi nelle sottocategorie del SF-36 riguardanti la funzione emotiva ($P = 0.03$; IC 95%: -49,05–8,01), il benessere emotivo ($P = 0.02$; IC 95%: -19,52–-2,99) e la percezione della salute generale ($P = 0.05$; IC 95%: -17,20–-0,78). L'aggiunta della fisioterapia multimodale alle iniezioni epidurali di corticosteroidi non ha quindi dimostrato superiorità rispetto alle sole ESI nella riduzione della disabilità, ma ha fornito benefici aggiuntivi in termini di qualità di vita, in particolare nelle dimensioni legate al funzionamento, al benessere emotivo ed alla percezione dello stato di salute generale.

In uno studio multicentrico randomizzato controllato in doppio cieco, condotto su 400 pazienti con stenosi spinale lombare centrale confermata da imaging, Friedly *et al.*^[54] hanno valutato l'efficacia a lungo termine delle iniezioni epidurali di corticosteroidi con aggiunta di lidocaina rispetto alla sola lidocaina. I partecipanti potevano ricevere da una a due iniezioni nelle prime sei settimane e fino a due ulteriori iniezioni tra le sei e le dodici settimane, con possibilità di *crossover* in cieco dopo sei settimane per ricevere il trattamento alternativo; successivamente alle 12 settimane i partecipanti sono tornati a ricevere le cure abituali. Gli outcome primari erano rappresentati dal *Roland-Morris Disability Questionnaire* (RDQ) (intervallo 0–24, dove punteggi più elevati indicano maggiore disabilità) e dall'intensità del dolore agli arti inferiori (intervallo 0, assenza di dolore – 10, massimo dolore immaginabile), mentre tra gli outcome secondari figuravano l'uso di oppioidi, la chirurgia vertebrale ed i tassi di *crossover*. A 12 mesi entrambi i gruppi hanno mantenuto i miglioramenti iniziali senza differenze significative tra corticosteroide più lidocaina e sola lidocaina in termini di punteggi RDQ (*adjusted MD* = -0,4; IC 95%: -1,6–0,9; $P = 0.55$), intensità del dolore (*adjusted MD* = 0,1; IC 95%: -0,5–0,7; $P = 0.75$), uso di oppioidi (corticosteroide più lidocaina: 41,4% vs sola

lidocaina: 36,3%; $P = 0.41$) e ricorso a chirurgia (corticosteroide più lidocaina: 16,8% vs sola lidocaina: 11,8%; $P = 0.22$). Un minor numero di pazienti randomizzati a corticosteroide più lidocaina (30%, $n=60$) ha effettuato *crossover* a sei settimane ($P = 0.003$) rispetto al gruppo lidocaina (45%, $n=90$), ma nei soggetti che hanno cambiato trattamento non si sono osservate differenze negli outcome a 12 mesi, risultando anzi traiettorie peggiori rispetto a coloro che non avevano effettuato *crossover*. In conclusione, le iniezioni epidurali di corticosteroide più lidocaina non hanno dimostrato benefici superiori rispetto alla sola lidocaina a sei settimane e 12 mesi, né per il miglioramento di dolore e funzione, né per la riduzione dell'uso di oppioidi o della chirurgia. I pazienti che mostravano un miglioramento a sei settimane tendevano a mantenerlo a 12 mesi, indipendentemente dal tipo di farmaco iniettato, mentre iniezioni ripetute non offrivano alcun vantaggio a lungo termine nei casi in cui le prime somministrazioni non avevano determinato beneficio.

A supporto dei risultati emersi dagli studi precedentemente descritti, tre recenti revisioni sistematiche forniscono una sintesi ampia e coerente delle evidenze disponibili riguardo l'efficacia delle iniezioni epidurali nel trattamento della stenosi spinale lombare.

La revisione sistematica di Chou *et al.*^[46] ha incluso otto RCT ed ha mostrato che, nonostante un miglioramento iniziale della disabilità a tre settimane ($MD = -1,8$ punti sul *Roland–Morris Disability Questionnaire*; IC 95%: $-2,8$ – $-0,9$), tale beneficio si annullava già a sei settimane ($MD = -1,0$; IC 95%: $-2,1$ – $-0,1$). Le meta-analisi hanno confermato che gli effetti sul dolore erano modesti e non significativi (differenze medie pesate comprese tra 0,62 e 3,73 punti), inoltre non sono state riscontrate differenze clinicamente rilevanti sulla funzione. Questi risultati sono stati riconfermati da Kirker *et al.*^[48], che hanno incluso 85 studi nella propria revisione e condotto metanalisi sugli outcome principali (dolore, disabilità, capacità di cammino, sintomi correlati). Le uniche differenze statisticamente significative erano a favore dei programmi di riabilitazione attiva, mentre le iniezioni epidurali non hanno evidenziato alcun vantaggio rispetto a placebo o ad altre terapie conservative, con intervalli di confidenza che attraversavano lo zero in tutte le misure considerate. Una revisione ancor più recente di Ammendolia *et al.*^[39] ha fornito ulteriori dati quantitativi: per i pazienti con stenosi lombare, le iniezioni epidurali producevano al massimo una riduzione temporanea della disabilità, con una differenza di rischio standardizzato (SRD) pari a $-11,8\%$ (IC 95%: $-26,9$ – $-3,8$). Tuttavia, tale effetto non risultava duraturo né accompagnato da miglioramenti significativi sul dolore o sulla qualità di vita, portando gli autori a concludere che l'efficacia clinica resta incerta e di scarsa rilevanza pratica. I tre studi concordano quindi sul fatto che le iniezioni epidurali di corticosteroidi non sono efficaci nel trattamento della stenosi spinale lombare, offrendo al più un lieve e temporaneo alleviamento, ma senza impatti clinici significativi sul lungo termine.

3.3 Panoramica dei trattamenti chirurgici della stenosi spinale lombare

Sebbene l'obiettivo principale di questa tesi sia l'analisi dei trattamenti conservativi per la stenosi spinale lombare, risulta comunque utile esplorare i principali approcci chirurgici disponibili. Difatti, la conoscenza di queste strategie permette di contestualizzare al meglio le indicazioni terapeutiche, comprendere i limiti del trattamento non invasivo e valutare le possibili alternative in caso di fallimento della gestione conservativa. In particolare, una comprensione generale delle tecniche chirurgiche contribuisce a delineare un quadro completo della gestione clinica di questi pazienti, senza entrare nei dettagli operativi, i quali esulano dagli obiettivi del presente lavoro. Nel trattamento della stenosi spinale lombare, la chirurgia rappresenta un'opzione terapeutica indicata nei pazienti che non rispondono adeguatamente al trattamento conservativo e che presentano sintomi severi e invalidanti, come dolore persistente e deficit neurologici progressivi.^[1] L'obiettivo principale dell'intervento è la decompressione delle strutture nervose, con o senza stabilizzazione della colonna, al fine di ridurre il dolore e migliorare la capacità funzionale.^[55]

La procedura chirurgica più diffusa per il trattamento della stenosi spinale lombare corrisponde alla laminectomia.^[55] Questa consiste nella rimozione della lamina vertebrale e di altre strutture che restringono il canale spinale, con l'obiettivo di decomprimere le radici nervose ed alleviare la sintomatologia.^[55] Si tratta di un intervento consolidato, che ha dimostrato di garantire miglioramenti significativi della funzione e della qualità di vita, soprattutto nei pazienti con stenosi centrale severa o multisegmentaria.^[55] Tuttavia, la rimozione estesa di tessuto osseo e legamentoso può predisporre ad instabilità vertebrale, motivo per cui in alcuni casi viene associata a procedure di stabilizzazione.^[55] Nonostante questi limiti, la laminectomia rimane uno degli approcci più praticati a livello internazionale: studi recenti indicano che rappresenta la prima scelta chirurgica in una larga parte dei pazienti sottoposti a intervento per stenosi lombare, con un tasso di reintervento stimato attorno al 10–15% entro cinque anni dall'operazione.^[55]

L'evoluzione della tecnica ha permesso di implementare fra i trattamenti anche la laminotomia e la foraminotomia, varianti più mirate e meno invasive rispetto alla laminectomia tradizionale.^[55] La laminotomia consiste nella rimozione soltanto parziale della lamina vertebrale, mentre la foraminotomia si concentra sull'ampliamento dei forami di coniugazione, attraverso un intervento di fresatura ossea.^[55] Entrambe le procedure hanno l'obiettivo di ridurre la compressione nervosa, ma con un approccio meno impattante rispetto all'asportazione completa di un segmento osseo, permettendo così di preservare maggiormente la stabilità del segmento vertebrale.^[55] Queste tecniche sono affermate soprattutto nei casi di stenosi laterale o foraminale, nelle quali i sintomi derivano da

una compressione radicolare circoscritta.^[55] Studi recenti hanno evidenziato come laminotomia e foraminotomia possano garantire un miglioramento del dolore e della funzione paragonabile alla laminectomia, con un minor rischio di instabilità post-operatoria e tempi di recupero più rapidi.^[55] Tuttavia, nei quadri clinici caratterizzati da stenosi centrale diffusa o multisegmentaria, queste tecniche possono risultare insufficienti e richiedere approcci più estesi.^[55]

La microdecompressione rappresenta un'ulteriore evoluzione delle tecniche tradizionali per il trattamento chirurgico della stenosi spinale lombare. Questa tipologia di intervento si basa sull'utilizzo di accessi ridotti, sistemi endoscopici o microscopici e strumenti dedicati, con l'obiettivo di rimuovere selettivamente le strutture responsabili della compressione nervosa riducendo al minimo il danno ai tessuti circostanti.^[56] Rispetto alla laminectomia aperta, la microdecompressione comporta un minor scollamento muscolare, ridotte perdite ematiche e tempi di ospedalizzazione più brevi, favorendo un recupero post-operatorio più rapido e una ripresa più precoce delle attività quotidiane.^[56] Le evidenze recenti indicano che i risultati clinici in termini di riduzione del dolore e miglioramento della funzionalità sono sovrapponibili a quelli delle tecniche tradizionali, con il vantaggio di un minor rischio di complicanze perioperatorie e di instabilità iatrogena; tuttavia, queste procedure richiedono un'elevata esperienza da parte del chirurgo e presentano una curva di apprendimento più ripida.^[56]

Una procedura chirurgica che viene generalmente associata alla decompressione, nei casi di stenosi lombare complicata da instabilità vertebrale, è la fusione vertebrale (o artrodesi spinale), così come per altre condizioni debilitanti come quadri di spondilolistesi degenerativa, scoliosi o marcata degenerazione dei dischi intervertebrali e/o delle faccette articolari.^[57] L'intervento prevede l'utilizzo di viti, barre e innesti ossei o materiali sintetici, con lo scopo di ottenere una stabilizzazione permanente del segmento trattato.^[57] Il vantaggio principale della fusione consiste nel ridurre il rischio di instabilità post-decompressione e nel migliorare la stabilità meccanica della colonna, con benefici clinici documentati soprattutto nei pazienti con deformità o "slittamenti" vertebrali evidenti.^[57] Tuttavia, si tratta di una tecnica maggiormente invasiva rispetto alla decompressione isolata: comporta infatti tempi operatori e perdite ematiche maggiori, un periodo di ospedalizzazione protratto ed un rischio aumentato di complicanze perioperatorie.^[57] Le evidenze suggeriscono inoltre che, nei pazienti con stenosi a un solo livello e spondilolistesi stabile, la sola decompressione possa offrire risultati clinici sovrapponibili alla fusione, riducendo i costi e i rischi dell'intervento.^[57] La decisione di associare una fusione vertebrale rimane quindi fortemente individualizzata, e deve basarsi su una valutazione multidimensionale che includa il livello di stabilità radiografica, i sintomi clinici e le aspettative del paziente.^[57]

Infine, un'ulteriore soluzione chirurgica per il trattamento della stenosi spinale lombare, particolarmente indicata nei pazienti con stenosi lieve-moderata e senza evidenti segni di instabilità vertebrale, è rappresentata dai dispositivi interspinosi.^[58] Questi impianti vengono posizionati tra i processi spinosi delle vertebre, con l'obiettivo di mantenere aperto lo spazio intervertebrale e ridurre la compressione sulle radici nervose durante l'estensione della colonna.^[58] I principali vantaggi di questa tecnica riguardano la sua invasività ridotta, la modesta perdita ematica ed i tempi di recupero generalmente più brevi rispetto alle procedure tradizionali di decompressione.^[58] Tuttavia, le evidenze cliniche a lungo termine restano limitate ed indicano un rischio più elevato di reintervento, principalmente a causa della dislocazione del dispositivo o di una progressione della stenosi nei segmenti adiacenti.^[58] Ad ogni modo, gli studi suggeriscono che i dispositivi interspinosi possono rappresentare un'opzione utile in pazienti selezionati, offrendo un miglioramento sintomatico comparabile a quello ottenibile con decompressione tradizionale nel breve periodo, senza compromettere significativamente la mobilità spinale.^[58] La scelta di utilizzare questi impianti richiede pertanto un'attenta valutazione clinica e radiografica, considerando l'entità della stenosi, la stabilità del segmento e le caratteristiche individuali del paziente.^[58]

In conclusione, la gestione chirurgica della stenosi spinale lombare comprende un insieme di tecniche finalizzate principalmente alla decompressione delle strutture nervose, con possibilità di stabilizzazione vertebrale. Gli interventi spaziano dalla laminectomia tradizionale, considerata lo standard consolidato, alle tecniche più selettive come laminotomia e foraminotomia, fino agli approcci mini-invasivi ed ai dispositivi interspinosi; ciascun intervento presenta vantaggi e limiti specifici legati all'entità della stenosi, alla stabilità del segmento ed alle condizioni cliniche del paziente. Ad ogni modo, sebbene le procedure chirurgiche possano offrire un significativo sollievo sintomatico, vengono generalmente riservate ai casi in cui la gestione conservativa non abbia prodotto benefici soddisfacenti.^[25] Difatti, nella revisione sistematica condotta da Zaina *et al.*^[59], si evidenzia come le opzioni conservative risultino esenti da effetti avversi segnalati, al contrario della chirurgia, che presenta un tasso di complicanze significativo. In particolare, in tre studi incentrati sugli interventi chirurgici, il tasso di effetti collaterali variava dal 10% al 24%, includendo fratture del processo spinoso, disturbi ischemici coronarici, distress respiratorio, ematoma, ictus, necessità di reintervento e persino decesso per edema polmonare. Per contro, non sono stati riportati effetti avversi per nessuna delle terapie conservative analizzate, che comprendevano programmi di esercizio supervisionato, terapia farmacologica (in particolare analgesici e FANS), fisioterapia multimodale e infiltrazioni epidurali di steroidi. Tali risultati suggeriscono che, nell'ambito della scelta terapeutica, i pazienti debbano essere adeguatamente informati sui potenziali rischi associati alla chirurgia.

DISCUSSIONE

I risultati emersi dall'analisi degli studi selezionati contribuiscono a delineare un quadro piuttosto consistente sul ruolo dei trattamenti conservativi nella gestione della stenosi spinale lombare. Nel complesso, le evidenze suggeriscono che gli interventi attivi, multimodali e supervisionati siano in grado di determinare i benefici più considerevoli e duraturi in termini di sintomatologia e funzionalità; al contrario, approcci passivi o esclusivamente farmacologici mostrano un'efficacia limitata e priva di reale impatto clinico sul lungo termine. In particolare, i programmi strutturati di esercizio terapeutico, soprattutto se integrati con terapia manuale ed educazione del paziente, si sono dimostrati più promettenti, sottolineando così la rilevanza di un approccio riabilitativo personalizzato. Il coinvolgimento attivo del paziente, la progressione degli esercizi e la presenza di componenti educative risultano elementi chiave per favorire il mantenimento dei benefici raggiunti. La fisioterapia supervisionata, rispetto agli esercizi autogestiti o di gruppo, garantisce miglioramenti più consistenti soprattutto a breve termine su cammino, dolore e qualità di vita. Alcuni dati indicano una riduzione dell'efficacia nei follow-up maggiormente prolungati, tuttavia, anche quando gli effetti tendono ad attenuarsi nel lungo periodo, i pazienti che seguono programmi completi mantengono comunque un vantaggio rispetto a coloro che usufruiscono di percorsi meno strutturati.

I trattamenti fisioterapici strumentali, come TENS, ultrasuoni e campi elettromagnetici pulsati, hanno prodotto evidenze deboli, con benefici limitati e non sostenuti nel lungo termine; pertanto, non possono essere considerati interventi di prima scelta, ma solo componenti integrative all'interno di programmi più ampi. Analogamente, le iniezioni epidurali di corticosteroidi mostrano risultati poco incoraggianti: gli effetti positivi, quando presenti, risultano transitori e non accompagnati da miglioramenti clinicamente rilevanti sulla disabilità, sul dolore o sulla qualità di vita.

Un punto di forza delle evidenze disponibili risiede nella qualità metodologica degli studi considerati: gli studi clinici randomizzati controllati rappresentano il disegno di studio maggiormente indicato per valutare l'efficacia comparativa degli interventi, mentre le revisioni sistematiche permettono di consolidare i dati e fornire una visione più ampia e robusta. Tuttavia, persistono limiti rilevanti, come il numero relativamente ridotto di RCT che è stato possibile reperire in letteratura secondo i criteri di selezione adottati, l'eterogeneità dei protocolli riabilitativi, la numerosità campionaria talvolta ridotta, la variabilità degli strumenti di valutazione e la durata relativamente breve dei follow-up; questi elementi riducono la possibilità di generalizzare i risultati.

Alla luce di quanto analizzato, si evince come i trattamenti conservativi più efficaci siano quelli che coinvolgono attivamente il paziente e che integrano diverse componenti terapeutiche, mentre gli interventi passivi o farmacologici isolati mostrano effetti limitati e clinicamente non rilevanti. Ne consegue l'importanza di promuovere nella pratica clinica programmi riabilitativi personalizzati che favoriscano il recupero funzionale e il mantenimento dei risultati raggiunti.

Al tempo stesso, futuri studi con rigoroso disegno metodologico e follow-up prolungati saranno necessari per confermare la superiorità di tali approcci, chiarirne ulteriormente i meccanismi di efficacia e definire protocolli ottimali in grado di massimizzare i benefici a lungo termine.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha analizzato le evidenze disponibili sull'efficacia dei trattamenti conservativi nella gestione della stenosi spinale lombare. I dati provenienti da studi clinici randomizzati e revisioni sistematiche indicano che gli interventi attivi, multimodali e supervisionati rappresentano le strategie più efficaci per il miglioramento dei sintomi e della funzionalità in questi pazienti. Tra questi, i programmi che integrano esercizio terapeutico strutturato, terapia manuale ed educazione del paziente all'interno di un percorso supervisionato emergono come l'approccio più promettente e clinicamente rilevante.

Al contrario, i trattamenti passivi, strumentali o mini-invasivi mostrano un'efficacia limitata quando utilizzati in modo isolato, con benefici prevalentemente circoscritti al breve termine e privi di un impatto clinico duraturo.

Nel complesso, le evidenze supportano la fisioterapia attiva e personalizzata come cardine della gestione conservativa della stenosi spinale lombare, poiché dimostra la capacità di migliorare autonomia funzionale e qualità di vita attraverso programmi integrati e centrati sul paziente.

Ulteriori studi con elevato rigore metodologico saranno comunque necessari per consolidare le evidenze attuali e definire con maggiore precisione gli interventi riabilitativi più efficaci nel lungo termine.

BIBLIOGRAFIA

1. Abdou A, Kades S, Masri-zada T, Asim S, Bany-Mohammed M, Agrawal DK. Lumbar Spinal Stenosis: Pathophysiology, Biomechanics, and Innovations in Diagnosis and Management. *J Spine Res Surg* 2025;7(1):1–17.
2. Anderson DB, Beard DJ, Rannou F, Hunter DJ, Suri P, Chen L, et al. Clinical assessment and management of lumbar spinal stenosis: clinical dilemmas and considerations for surgical referral. *Lancet Rheumatol* 2024;6(10):e727–32.
3. Munakomi S, Cruz R. Lumbar Spinal Stenosis [Internet]. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK531493/>
4. Susan Standring PhD DSc. Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice. Amsterdam: Elsevier; 2021.
5. Urban JP, Roberts S. Degeneration of the intervertebral disc. *Arthritis Res Ther* 2003;5(3):120–30.
6. Kalichman L, Hunter DJ. Lumbar Facet Joint Osteoarthritis: A Review. *Semin Arthritis Rheum* 2007;37(2):69–80.
7. Barbari V. Dalla sciatica al mal di schiena. Guida alla gestione di sindromi radicolari, stenosi e low back pain. FisioScience; 2023.
8. Aryal V, Black AC, Jimenez A. Anatomy, Back, Posterior Longitudinal Ligament. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
9. Kim J, Kwon WK, Cho H, Lee S, Lee JB, Park JY, et al. Ligamentum flavum hypertrophy significantly contributes to the severity of neurogenic intermittent claudication in patients with lumbar spinal canal stenosis. *Medicine (Baltimore)* 2022;101(36):e30171.
10. Bogduk N. The lumbar mamillo-accessory ligament. Its anatomical and neurosurgical significance. *Spine* 1981;6(2):162–7.
11. Neumann DA. Kinesiology of the Musculoskeletal System. Mosby; 2012.
12. Bogduk, N. Clinical Anatomy of the Lumbar Spine and Sacrum. 5th ed. Saunders; 2012.
13. Shayota B, Wong TL, Fru D, David G, Iwanaga J, Loukas M, et al. A comprehensive review of the sinuvertebral nerve with clinical applications. *Anat Cell Biol* 2019;52(2):128–33.
14. Panjabi MM. The Stabilizing System of the Spine. Part I. Function, Dysfunction, Adaptation, and Enhancement. *Clin Spine Surg* 1992;5(4):383.
15. Hamill J. Biomechanical Basis of Human Movement. Lippincott Williams & Wilkins; 2014.
16. Inufusa A, An HS, Lim TH, Hasegawa T, Haughton VM, Nowicki BH. Anatomic Changes of the Spinal Canal and Intervertebral Foramen Associated With Flexion-Extension Movement. *Spine* 1996;21(21):2412.

17. Stenòsi - Significato ed etimologia - Vocabolario [Internet]. Treccani Available from: <https://www.treccani.it/vocabolario/stenosi/>
18. Katz JN, Zimmerman ZE, Mass H, Makhni MC. Diagnosis and Management of Lumbar Spinal Stenosis: A Review. *JAMA* 2022;327(17):1688–99.
19. Yabe Y, Hagiwara Y, Tsuchiya M, Minowa T, Takemura T, Hattori S, et al. Comparative proteome analysis of the ligamentum flavum of patients with lumbar spinal canal stenosis. *JOR Spine* 2022;5(4):e1210.
20. Fiedler U, Reiss Y, Scharpfenecker M, Grunow V, Koidl S, Thurston G, et al. Angiopoietin-2 sensitizes endothelial cells to TNF- α and has a crucial role in the induction of inflammation. *Nat Med* 2006;12(2):235–9.
21. Tanaka T, Narazaki M, Kishimoto T. IL-6 in Inflammation, Immunity, and Disease. *Cold Spring Harb Perspect Biol* 2014;6(10):a016295.
22. Kendall RT, Feghali-Bostwick CA. Fibroblasts in fibrosis: novel roles and mediators. *Front Pharmacol* 2014;5:123.
23. Schroeder GD, Kurd MF, Vaccaro AR. Lumbar Spinal Stenosis: How Is It Classified? *JAAOS - J Am Acad Orthop Surg* 2016;24(12):843.
24. Lee BH, Moon SH, Suk KS, Kim HS, Yang JH, Lee HM. Lumbar Spinal Stenosis: Pathophysiology and Treatment Principle: A Narrative Review. *Asian Spine J* 2020;14(5):682–93.
25. Lurie J, Tomkins-Lane C. Management of lumbar spinal stenosis. *The BMJ* 2016;352:h6234.
26. Cavazos DR, Higginbotham DO, Nham F, Court T, McCarty S, Sethi A, et al. Neuroforaminal Stenosis in the Lumbosacral Spine: A Scoping Review of Pathophysiology, Clinical Manifestations, Diagnostic Imaging, and Treatment. *Spartan Med Res J* 2023;8(1):87848.
27. Lai MKL, Cheung PWH, Song YQ, Samartzis D, Cheung JPY. Pedigree analysis of lumbar developmental spinal stenosis: Determination of potential inheritance patterns. *J Orthop Res* 2021;39(8):1763–76.
28. Kitab SA, Alsulaiman AM, Benzel EC. Anatomic radiological variations in developmental lumbar spinal stenosis: a prospective, control-matched comparative analysis. *Spine J* 2014;14(5):808–15.
29. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Hernandez PA, Shepelev VV, Pestryakov YY, Aliyev MA, et al. Molecular and Genetic Mechanisms of Spinal Stenosis Formation: Systematic Review. *Int J Mol Sci* 2022;23(21):13479.
30. Sciubba DM, Noggle JC, Marupudi NI, Bagley CA, Bookland MJ, Carson BS, et al. Spinal stenosis surgery in pediatric patients with achondroplasia. *J Neurosurg Pediatr* 2007;106(5):372–8.
31. Akar E, Somay H. Comparative morphometric analysis of congenital and acquired lumbar spinal stenosis. *J Clin Neurosci* 2019;68:256–61.

32. Ravindra VM, Senglaub SS, Rattani A, Dewan MC, Härtl R, Bisson E, et al. Degenerative Lumbar Spine Disease: Estimating Global Incidence and Worldwide Volume. *Glob Spine J* 2018;8(8):784–94.
33. Chen L, Guan B, Anderson DB, Ferreira PH, Stanford R, Beckenkamp PR, et al. Surgical interventions for degenerative lumbar spinal stenosis: a systematic review with network meta-analysis. *BMC Med* 2024;22:430.
34. Jensen RK, Jensen TS, Koes B, Hartvigsen J. Prevalence of lumbar spinal stenosis in general and clinical populations: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J* 2020;29(9):2143–63.
35. Ryu JH, Han K, Kim JY. Association Between Higher Body Mass Index and the Risk of Lumbar Spinal Stenosis in Korean Populations: A Nationwide Cohort Study. *J Clin Med* 2024;13(23):7397.
36. Kim SY, Yang MY, Salo S, Sund R, Sirola J, Kröger H, et al. Occupational risk factors for lumbar spinal stenosis: a systematic review. *Occup Med* 2025;75(2):91–8.
37. Gigliotti S, Cascella M, Santè G, Marinis PD, Cuomo A, Group AS. Lumbar spinal stenosis as a model for the multimodal and multiprofessional treatment of mixed non-cancer pain. Survey response from a panel of experts of the Italian National Association of Osteoarticular Specialists (ASON). *Anaesthesiol Intensive Ther* 2021;53(3):252–64.
38. Comer C, Williamson E, McIlroy S, Srikesavan C, Dalton S, Melendez-Torres G, et al. Exercise treatments for lumbar spinal stenosis: A systematic review and intervention component analysis of randomised controlled trials. *Clin Rehabil* 2024;38(3):361–74.
39. Ammendolia C, Hofkirchner C, Plener J, Bussi eres A, Schneider MJ, Young JJ, et al. Non-operative treatment for lumbar spinal stenosis with neurogenic claudication: an updated systematic review. *BMJ Open* 2022;12(1):e057724.
40. Urata R, Igawa T, Ito S, Suzuki A. Effectiveness of non-surgical treatment combined with supervised exercise for lumbar spinal stenosis: A systematic review and meta-analysis. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2023;36(4):799–813.
41. Schneider MJ, Ammendolia C, Murphy DR, Glick RM, Hile E, Tudorascu DL, et al. Comparative Clinical Effectiveness of Nonsurgical Treatment Methods in Patients With Lumbar Spinal Stenosis. *JAMA Netw Open* 2019;2(1):e186828.
42. Therapeutic Modalities [Internet]. Physiopedia Available from: https://www.physio-pedia.com/Therapeutic_Modalities
43. Temporiti F, Ferrari S, Kieser M, Gatti R. Efficacy and characteristics of physiotherapy interventions in patients with lumbar spinal stenosis: a systematic review. *Eur Spine J* 2022;31(6):1370–90.
44. Bussi eres A, Cancelliere C, Ammendolia C, Comer CM, Zoubi FA, Ch atillon CE, et al. Non-Surgical Interventions for Lumbar Spinal Stenosis Leading To Neurogenic Claudication: A Clinical Practice Guideline. *J Pain* 2021;22(9):1015–39.
45. Manchikanti L, Kaye AD, Falco FJE, Hirsch JA, curator. *Essentials of Interventional Techniques in Managing Chronic Pain*. Cham: Springer; 2018.

46. Chou R, Hashimoto R, Friedly J, Fu R, Bougatsos C, Dana T, et al. Epidural Corticosteroid Injections for Radiculopathy and Spinal Stenosis. *Ann Intern Med* 2015;163(5):373–81.
47. Williamson E, Boniface G, Marian IR, Dutton SJ, Garrett A, Morris A, et al. The Clinical Effectiveness of a Physiotherapy Delivered Physical and Psychological Group Intervention for Older Adults With Neurogenic Claudication: The BOOST Randomized Controlled Trial. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2022;77(8):1654–64.
48. Kirker K, Masaracchio MF, Loghmani P, Torres-Panchame RE, Mattia M, States R. Management of lumbar spinal stenosis: a systematic review and meta-analysis of rehabilitation, surgical, injection, and medication interventions. *Physiother Theory Pract* 2023;39(2):241–86.
49. Ammendolia C, Côté P, Southerst D, Schneider M, Budgell B, Bombardier C, et al. Comprehensive Nonsurgical Treatment Versus Self-directed Care to Improve Walking Ability in Lumbar Spinal Stenosis: A Randomized Trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2018;99(12):2408–2419.e2.
50. Minetama M, Kawakami M, Teraguchi M, Kagotani R, Mera Y, Sumiya T, et al. Supervised physical therapy vs. home exercise for patients with lumbar spinal stenosis: a randomized controlled trial. *Spine J* 2019;19(8):1310–8.
51. Jacobi S, Beynon A, Dombrowski SU, Wedderkopp N, Witherspoon R, Hébert JJ. Effectiveness of Conservative Nonpharmacologic Therapies for Pain, Disability, Physical Capacity, and Physical Activity Behavior in Patients With Degenerative Lumbar Spinal Stenosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2021;102(11):2247–2260.e7.
52. Ammendolia C, Côté P, Rampersaud YR, Southerst D, Schneider M, Ahmed A, et al. Effect of active TENS versus de-tuned TENS on walking capacity in patients with lumbar spinal stenosis: a randomized controlled trial. *Chiropr Man Ther* 2019;27:24.
53. Hammerich A, Whitman J, Mintken P, Denninger T, Akuthota V, Sawyer EE, et al. Effectiveness of Physical Therapy Combined With Epidural Steroid Injection for Individuals With Lumbar Spinal Stenosis: A Randomized Parallel-Group Trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2019;100(5):797–810.
54. Friedly JL, Comstock BA, Turner JA, Heagerty PJ, Deyo RA, Bauer Z, et al. Long-Term Effects of Repeated Injections of Local Anesthetic With or Without Corticosteroid for Lumbar Spinal Stenosis: A Randomized Trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2017;98(8):1499–1507.e2.
55. Phan K, Mobbs RJ. Minimally Invasive Versus Open Laminectomy for Lumbar Stenosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Spine* 2016;41(2):E91.
56. Chin BZ, Yong JH, Wang E, Sim SI, Lin S, Wu PH, et al. Full-endoscopic versus microscopic spinal decompression for lumbar spinal stenosis: a systematic review & meta-analysis. *Spine J* 2024;24(6):1022–33.
57. Försth P, Ólafsson G, Carlsson T, Frost A, Borgström F, Fritzell P, et al. A Randomized, Controlled Trial of Fusion Surgery for Lumbar Spinal Stenosis. *N Engl J Med* 2016;374(15):1413–23.
58. Zhu C, Xiao G. Efficacy and safety of interspinous process device compared with alone decompression for lumbar spinal stenosis: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2024;103(23):e38370.

59. Zaina F, Tomkins-Lane C, Carragee E, Negrini S. Surgical versus non-surgical treatment for lumbar spinal stenosis. *Cochrane Database Syst Rev* 2016;2016(1):CD010264.