

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

SCUOLA DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in Fisioterapia

**Correlazione tra autonomia e controllo del tronco in persone con paraplegia completa:dalla fase acuta al follow-up di 18 mesi.
Uno studio prospettico longitudinale monocentrico.**

Tesi di Laurea in Valutazione funzionale e Test clinici

Presentata da:
Salomoni Sofia

Relatore:
Chiar.ma Prof.ssa Fontana Marica

Correlatore:
Dott.ssa Paglierani Paola

Anno Accademico 2019/2020

Sessione 1

ABSTRACT:

Contesto: L'efficacia dell'intervento fisioterapico dipende in parte dall'uso di scale di valutazione valide ed affidabili che possano documentare i cambiamenti e i risultati clinicamente rilevanti.

Disegno di studio: Studio prospettico longitudinale monocentrico.

Obiettivo: Valutazione della correlazione tra controllo del tronco (TLC e TCTSCI) e grado di autonomia (SCIM III).

Soggetti dello studio: 39 soggetti di entrambi i sessi e diversa età con diagnosi di paraplegia completa motoria.

Materiali e metodi: La classificazione neurologica della lesione spinale e del livello di completezza lesionale è avvenuta mediante la Classificazione ASIA e scala AIS. Per valutare il livello di autonomia raggiunta è stata utilizzata la parte sulla mobilità della scala SCIM, mentre per la valutazione funzionale del controllo del tronco sono state utilizzate la Thoracic-Lumbar Control Scale (TCL) e il Trunk Control Test for Spinal Cord Injury (TCTSCI). Le misurazioni sono avvenute dalla fase acuta (T0) al follow up di 18 mesi post dimissione (T3).

Risultati: Dall'analisi statistica risulta che i pazienti migliorano le proprie autonomie sia nel corso della degenza che dopo la dimissione; nella maggior parte dei casi però, a miglioramento della scala SCIM III non corrisponde un miglioramento nelle attività rappresentate dagli item delle scale di controllo del tronco.

Conclusioni: Le scale di valutazione del tronco utilizzate nella pratica clinica si sono dimostrate utili per la valutazione acuta ma non sono risultate sensibili ad alcun miglioramento nel controllo del tronco nel follow-up per le persone con paraplegia completa. Per questo si è cominciato a pensare alla possibilità di introdurre l'utilizzo di sensori inerziali indossabili come valida alternativa in grado di fornire risultati più validi ed oggettivi.

Parole chiave: *Spinal cord injury, Paraplegia, Trunk control Scale, Sitting position, Posture, Rehabilitation, Inertial motion sensors.*

ABSTRACT:

Context: *The effectiveness of the physiotherapy intervention also depends on the use of valid and reliable evaluation scales, which can document the changes and clinically relevant outcomes.*

Design: *A prospective longitudinal monocentric study.*

Objectives: *Evaluation of the correlation between trunk control (TLC and TCTSCI) and autonomy's degree (SCIM III).*

Subjects: *39 patients of both sexes, differently aged and diagnosed with complete motor spinal cord injury.*

Methods: *The neurological classification of the spinal lesion was carried out using the ASIA classification and AIS scale. The mobility part of the SCIM scale was used to assess the level of autonomy achieved, while the Thoracic-Lumbar Control Scale (TCL) and the Trunk Control Test for Spinal Cord Injury (TCTSCI) were used for the functional assessment of trunk control. Measurements were made from the acute phase (T0) to the follow-up at 18 month post-discharge (T3).*

Results: *Statistical analysis shows that patients improve their autonomy (SCIM) during hospitalization but also after discharge; in most cases, however, an improvement in the SCIM III scale does not correspond to an improvement in the activities represented by the items of the trunk control scales.*

Conclusion: *Trunk control rating scales used in clinical practice have been shown to be useful for acute assessment but were not sensitive to any improvement in trunk control in follow-up for people with complete paraplegia. For this reason we began to think about the possibility of introducing the use of wearable inertial sensors as a valid alternative capable of providing more valid and objective results.*

Keywords: *Spinal cord injury, Paraplegia, Trunk control Scale, Sitting position, Posture, Rehabilitation, Inertial motion sensors.*

INDICE:

INTRODUZIONE:	7
Capitolo 1: LA LESIONE MIDOLLARE	9
1.1 Anatomia del midollo spinale	9
1.2 Lesione midollare	11
Definizione ed Epidemiologia.....	11
Classificazione	12
Scale per la valutazione clinica e funzionale	13
Quadro Clinico	18
Principi di trattamento.....	21
Capitolo 2: IL CONTROLLO POSTURALE E LA VALUTAZIONE DEL CONTROLLO DEL TRONCO	24
2.1 Come cambia in controllo posturale nel soggetto con lesione spinale	24
2.2 La centralità del tronco nel progetto riabilitativo	26
Trunk Control Test for Spinal Cord Injury (TCTSCI).....	29
Thoracic-Lumbar Control Scale (TLC).....	31
CAPITOLO 3: PARTE APPLICATIVA	33
3.1 Materiale e disegno dello studio	33
Setting dello studio: centri coinvolti	33
3.2 Obiettivi dello studio	34
Obiettivi primari.....	34
Obiettivo secondario	34
3.3 Metodo dello studio	34
Popolazione dello studio	34
Descrizione dell'intervento	35
Raccolta dati.....	36

Capitolo 4: ANALISI DEI DATI E DEI RISULTATI	37
4.1 Descrizione degli studi	37
Analisi statistica	37
4.2 Risultati preliminari sulla correlazione tra scale di valutazione	37
Popolazione	37
Grafici e tabelle riassuntive.....	38
Correlazioni di spearman tra Δ SCIM e Δ item scale del tronco.....	42
4.3 Risultati preliminari sull'utilizzo di sensori inerziali di movimento	43
Soggetti inclusi nell'analisi e Grafici riassuntivi	43
DISCUSSIONE.....	47
Sintesi dei risultati.....	47
Limiti.....	49
CONCLUSIONI	50

INTRODUZIONE

Ogni anno, in Italia, le vite di più di 2000 persone cambiano drasticamente a causa di lesioni midollari (LM), siano esse di origine traumatica o non traumatica [6]. Questa complessa condizione medica e di vita, oggigiorno viene sempre maggiormente considerata una sfida personale e sociale che si può vincere [5]. Per fare ciò è fondamentale una riabilitazione quanto più personalizzata e finalizzata al miglioramento dell'autonomia. Nei soggetti paraplegici, la stabilità del cingolo pelvico e quella della porzione lombare spinale sono infatti molto importanti per il bilanciamento corporeo ed il controllo del tronco. Al fine di effettuare le normali attività di vita quotidiana quali l'utilizzo della sedia a rotelle, il vestirsi, il lavarsi e l'effettuare i trasferimenti, questi individui necessitano della stabilità lombo-pelvica, principalmente fornita dall'azione dei muscoli erettori spinali e addominali. Il mantenimento dell'equilibrio in posizione assisa risulta tuttavia inficiato negli individui affetti da lesioni midollari complete, a causa dell'alterata funzionalità di quei muscoli che sono maggiormente responsabili del controllo posturale. Altri meccanismi, quali le normali sinergie posturali e l'integrazione sensorimotoria degli arti inferiori e del tronco, risultano altresì alterati. D'altro canto, è stato ipotizzato che a seguito di una lesione midollare un graduale sviluppo di specifiche sinergie motorie, finalizzate al controllo del bilanciamento in posizione seduta e coinvolgente anche muscoli non posturali, possa portare ad una riorganizzazione del sistema individuale del controllo posturale [13][14][15][16][17][18][19]. Per favorire ulteriormente questo recupero, sarebbe necessario disporre di strumenti di valutazione clinica e funzionale migliori per la valutazione del residuo controllo motorio del tronco [20]. Ciò che questa tesi vorrebbe sottolineare e dimostrare, grazie allo studio monocentrico che ne è alla base (obiettivi secondari e P.I.C.O. sono esposti nel Capitolo 3), è infatti come ancora attualmente, a dispetto dell'importanza del controllo del tronco per la persona con lesione midollare, scarse sono le scale utilizzate per questa valutazione. Tra queste inoltre, anche quelle più sfruttate nella clinica e reputate migliori, non sembrano sufficientemente sensibili ai cambiamenti delle capacità e delle funzionalità che invece questi pazienti acquisiscono e migliorano nel tempo.

Purtroppo alla fisioterapia, è sempre stato dato un connotato poco "valutativo" e più "d'azione", tuttavia la valutazione è parte integrante e fondamentale nel lavoro fisioterapico. È infatti grazie ad essa che il fisioterapista propone al paziente il piano di trattamento più funzionale alle sue richieste, preferenze, aspettative e condizioni cliniche. La valutazione poi, non rappresenta solamente il primo atto del programma riabilitativo; viene effettuata ogni qualvolta si vogliono oggettivare i risultati di un trattamento per capirne l'efficacia rispetto agli obiettivi definiti, diventando così la guida principale del ragionamento clinico e del trattamento stesso.

Capitolo 1: LA LESIONE MIDOLLARE

La prima parte di questo capitolo si propone di trattare l'anatomia del midollo spinale e la neuro-fisiopatologia correlata a una sua lesione così da creare le fondamenta utili a capire la patologia e la sintomatologia che colpisce le persone che hanno subito lesioni midollari. Per fare ciò sono stati utilizzati come fonti libri di testo e Atlanti di anatomia e fisiologia [1], [2], [3].

1.1 Anatomia del midollo spinale

Il midollo spinale (MS) rappresenta la porzione inferiore, extracranica del sistema nervoso centrale (SNC), esso è contenuto nel canale vertebrale e si connette alla porzione superiore, l'encefalo, sia strutturalmente che funzionalmente.

Macroscopicamente il midollo si presenta come una struttura cilindrica allungata, che si sviluppa cranio-caudalmente all'interno del canale costituito dal sovrapporsi dei fori vertebrali delle vertebre che costituiscono a loro volta la colonna vertebrale.

La sezione trasversale risulta ovale ma di dimensioni non costanti, in particolare si possono individuare due rigonfiamenti, uno cervicale e uno lombare, in queste zone il MS assume un diametro maggiore per il considerevole aumento dei motoneuroni per la muscolatura dei cingoli e degli arti.

Nell'Adulto il MS si estende dal forame occipitale, punto di collegamento fra la fossa cranica posteriore e il canale vertebrale, fino a livello di L1-L2; nella sua parte terminale il MS si affusola fino a formare il così detto cono midollare. Da qui si diparte il *filum* terminale, un sottile filamento di tessuto fibroso che ancora il midollo a livello di S2, dove prende il nome di legamento coccigeo. La differenza di lunghezza presente tra il canale vertebrale e il MS dipende da una differenza dello sviluppo: la colonna vertebrale infatti cresce più velocemente del midollo spinale, il che determina, con l'avanzare dell'età, uno spostamento del cono midollare in direzione sempre più craniale. Questo fenomeno porta a un progressivo slivellamento tra vertebre e metameri; le radici spinali quindi assumono un decorso obliquo e verso il basso, dal segmento originario nel midollo spinale fino al forame intervertebrale corrispondente. Tale aspetto diviene più evidente scendendo verso i metameri lombari e sacrali: al di sotto dell'apice del cono midollare (L1-L2) infatti, non si trova più tessuto nervoso centrale. In sezione longitudinale, a questo livello (L2-S5), sono visibili solamente le radici (SNP) dei segmenti spinali che, per la somiglianza con la coda di un cavallo, prendono appunto il nome di *cauda equina*.

Il MS quindi può essere suddiviso in 31 metameri ovvero segmenti corrispondenti ognuno a una vertebra; unica eccezione la si trova a livello cervicale dove alle 7 vertebre corrispondono

8 metameri. Ogni segmento è associato a 2 gangli vertebrali, contenenti i corpi cellulari dei neuroni sensitivi. Gli assoni di tali neuroni formano le radici posteriori (dorsali), che trasportano le afferenze (ascendenti) sensitive all'interno del midollo spinale. Un paio di radici anteriori (ventrali) poi, contengono gli assoni dei neuroni motori (2° motoneurone) che si portano in periferia (efferenze discendenti) per controllare effettori somatici e viscerali. Su entrambi i lati quindi, le radici posteriori e anteriori di ogni segmento fuoriescono dal canale tramite i forami intervertebrali; distalmente a ogni ganglio della radice posteriore, le radici sensitive e motorie si uniscono a formare un unico nervo spinale (misto).

I segmenti spinali vengono convenzionalmente identificati da una lettera seguita da un numero arabo, allo stesso modo delle vertebre; i nervi cervicali tra C1 e C7 emergono superiormente alla vertebra corrispondente mentre tutti gli altri emergono inferiormente proprio per la presenza dell'ottava coppia di nervi cervicali. Le 31 coppie di nervi spinali vengono quindi distinte in nervi cervicali (C1-C8), toracici (T1-T12), lombari (L1-L5), sacrali (S1-S5) e coccigei (Co1-Co3).

Le radici spinali rappresentano l'inizio del sistema nervoso periferico (SNP), costituito da sistema nervoso vegetativo e somatico. Quest'ultimo controlla gli apparati locomotore e sensitivo somatico, sia propriocettivo che estero-cettivo. Per questo anche l'intero corpo può essere suddiviso in zone di competenza dei diversi metameri con rapporto 1:1. In particolare si definisce dermatomero l'area cutanea innervata dalle radici sensitive di un segmento midollare spinale; il corrispettivo della muscolatura segmentale è invece il miotomo. Dal punto di vista clinico questa organizzazione verticale del midollo spinale risulta fondamentale e particolarmente utile in quanto consente di differenziare e localizzare un danno del midollo spinale o della radice, nel caso di deficit sensitivo e/o motorio.

Per quanto riguarda l'aspetto interno, ad un taglio orizzontale, il MS appare costituito da una zona centrale di colore più scuro, la sostanza grigia, a forma di farfalla, avvolta dalla sostanza bianca. Nella sostanza grigia sono contenuti prevalentemente i corpi dei neuroni e le cellule della glia, essa inoltre contiene un certo numero di assoni non mielinizzati; la sostanza bianca invece è costituita da una moltitudine di assoni mielinici e amielinici strettamente affiancati. La sostanza grigia in particolare, comprende due corna anteriori, contenenti i corpi dei neuroni efferenti, e due posteriori, contenenti le terminazioni delle fibre afferenti i cui corpi si trovano nei gangli vertebrali. Il MS può essere dunque diviso anche secondo un'organizzazione orizzontale che prevede la distinzione tra porzione dorsale (afferente, fibre sensitive) e ventrale (efferente, fibre motorie); esiste anche una porzione laterale da cui originano neuroni visceromotori.

1.2 Lesione midollare

Definizione ed Epidemiologia

Per lesione midollare (LM) – in inglese *Spinal Cord Injury* (SCI) – si intende un danno della struttura neurale contenuta all'interno del canale vertebrale, il midollo spinale; per convenzione viene definita “lesione midollare” anche una lesione della cauda equina. [4] Una lesione di questo tipo può comportare l'interruzione delle vie nervose ascendenti e discendenti del midollo spinale con conseguente mutamento, temporaneo o permanente, delle sue normali funzioni motorie, sensoriali o autonome. La LM è dunque una complessa condizione medica e di vita. Storicamente essa veniva associata con alti tassi di mortalità; oggi, invece, nei paesi ad alto reddito, la LM è vista non più come la fine di una vita utile o produttiva ma più come una sfida personale e sociale che si può vincere. Questo cambiamento riflette il miglioramento della medicina, per cui le persone riescono a sopravvivere, vivere dopo l'infortunio [5].

Ogni anno in Italia diventano para o tetraplegiche circa 2.500 persone, di cui il 45% a causa di incidenti stradali, il 20% a causa di incidenti sul lavoro, il 10% a causa di incidenti sportivi, il restante 25% per diverse cause tra cui traumi da caduta, gesti autolesivi, armi da fuoco. L'80% di queste persone ha un'età compresa tra i 10 e i 40 anni e quindi un'aspettativa di vita molto lunga, conseguentemente un costo sociale e personale, per sé e per le proprie famiglie, elevatissimo [6]. A livello mondiale invece, i dati di incidenza internazionale indicano che ogni anno da 250.000 a 500.000 persone subiscono una lesione midollare [5]; di queste il 75% sono di origine traumatica mentre il restante 25% di origine non traumatica (vedi paragrafo classificazione) [7]. Le cause più frequentemente rilevabili di lesione midollare, negli USA come in Europa, appaiono quindi legate a fattori traumatici; gli incidenti stradali e le cadute costituiscono l'eziologia del 60% circa di tutte le lesioni midollari. Dall'insieme dei dati si rileva come un terzo dei pazienti presenti tetraplegia e metà una lesione completa (vedi paragrafo classificazione). L'età media dei soggetti al momento dell'evento traumatico è di 33 anni, mentre la distribuzione maschi/ femmine è pari a 3.8/1. Recenti studi evidenziano un aumento dell'età di insorgenza della LM ed un graduale incremento della percentuale dei casi di LM non traumatiche, in parte attribuibile all'invecchiamento della popolazione mondiale: dal 1970 ad oggi l'età media al momento della lesione midollare è aumentata infatti di 9 anni. Si registra invece un decremento della percentuale di lesioni complete [4].

Classificazione

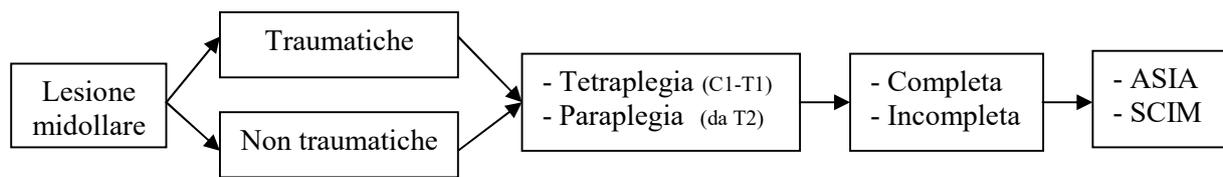
Come si è visto, le LM possono essere primariamente classificate in base alla causa:

- **Traumatiche:** si verificano in caso di un traumatismo (forza estrinseca) tanto violento da determinare il superamento del grado di resistenza opposto dalle barriere meccaniche preposte alla salvaguardia delle strutture neurologiche midollari [1].
- **Non traumatiche:** esprimono il risultato di una patologia vascolare, tumorale, displasica, flogistica e/o iatrogena che con varia sequenza temporale colpisce il contenuto e/o il contenente rachideo [7].

Queste due macro categorie possono a loro volta generare diverse tipologie di lesione midollare, in base all'area neurologica danneggiata:

- **Tetraplegia:** conseguenza di lesioni che si verificano nella regione cervicale del midollo spinale, all'altezza del collo (C1-T1). La tetraplegia è un grave disturbo del movimento caratterizzato dalla progressiva od immediata perdita di sensibilità e mobilità degli arti (sia inferiori che superiori). L'incapacità di muovere o coordinare gli arti può essere totale o parziale in base alla gravità del trauma subito. Esclude lesioni del plesso brachiale o dei nervi periferici al di fuori del canale vertebrale.
- **Paraplegia:** conseguenza di lesioni che hanno luogo al di sotto del rigonfiamento cervicale (da T2). In questo caso gli arti superiori conservano la motilità, e la sintomatologia interessa il tronco e/o gli arti inferiori.
- **Lesione completa:** si verifica la distruzione totale di una certa quota di midollo, ciò provoca l'interruzione dei circuiti che collegano i livelli superiori a quelli inferiori
- **Lesione incompleta:** si intende un danno che non lede completamente la sezione midollare sul piano orizzontale. Ciò consente quindi una quota residua di flusso delle informazioni efferenti e afferenti. Le dimensioni del territorio neuronale ancora integro saranno proporzionali alla capacità del soggetto mieloleso di controllare autonomamente, in modo corretto, una certa quota di movimento volontario attivo.

Scale per la valutazione clinica e funzionale



Attualmente l'International Standards for Neurological Classification of SCI o ISNCSCI (Standard Internazionale per la Classificazione Neurologica della lesione midollare), creato dall'Associazione Americana Lesione Spinale (ASIA) in collaborazione con International Spinal Cord Society (ISCOS), rappresenta il fondamentale codice di regole e di terminologia al quale fanno riferimento tutti i professionisti che hanno in cura pazienti mielolesi. Questa valutazione neurologica è la più diffusa e utilizzata a livello mondiale in quanto permette di eseguire un esame obiettivo utile e standardizzato.

Essa include una scala di menomazione validata solo per le lesioni traumatiche ma viene ampiamente utilizzata anche per la valutazione dei soggetti con LM non traumatiche. Il suo scopo è di identificare la funzione sensitiva e motoria, dunque stadiare la lesione definendone il livello. All'interno del foglio di lavoro degli ISNCSCI del 2019 [8], si definiscono i passaggi da seguire per la misurazione e classificazione del paziente:

1. Determinare i livelli sensitivi per gli emilati destro e sinistro:

vengono valutate le sensibilità tattile superficiale (Light Touch LTL)¹ e dolorifica (Pin Prick PPL)² in senso cranio-caudale seguendo i punti indicati per ogni dermatomero nell'immagine presente sulla scala. Ad ognuna di queste zone viene assegnato un punteggio in base alla risposta che si rileva:

- 0: risposta assente

- 1: risposta alterata

- 2: risposta normale

- NT (Not Testable): non valutabile

Il livello sensitivo corrisponde al dermatomero intatto più caudale per entrambe le tipologie di sensibilità testate durante l'esame.

Il punteggio sensitivo all'interno della scala Asia è dato dalla somma di tutti i punteggi ottenuti per ogni dermatomero sia al tatto che alla puntura, con un massimo di 112.

¹ Informazioni afferenti trasportate dai fasci cordonali posteriori: fascio gracile, più mediale, proveniente dall'arto inferiore omolaterale e fascio cuneato, più laterale, proveniente dall'arto superiore omolaterale.

² Le sensazioni termiche e dolorifiche arrivano nell'encefalo tramite i fasci spinotalamici laterali che decussano immediatamente all'interno del midollo spinale.

2. Determinare i livelli motori per gli emilati destro e sinistro:

viene valutata la funzione muscolare a livello di 10 muscoli chiave attraverso l'assegnazione di un punteggio:

- 0: paralisi totale
- 1: contrazione palpabile o visibile
- 2: movimento in assenza di gravità
- 3: movimento contro gravità
- 4: movimento contro parziale resistenza
- 5: movimento con forza normale
- NT (Not Testable): non valutabile

Il livello motorio è definito dal muscolo chiave con punteggio almeno di 3, se il muscolo corrispondente al miotomo subito superiore ha punteggio 5 (integro).

Nota: nelle regioni in cui non è presente un miotomo da testare, il livello motorio si presume sia uguale al livello sensoriale, se la funzione motoria testabile sopra quel livello è normale.

Il punteggio motorio è il risultato della somma dei punteggi ottenuto dai test di ogni singolo muscolo chiave, con un massimo punteggio di 100 punti.

3. Determinare il livello neurologico della lesione (NLI):

Il NLI è il più cefalico dei livelli sensoriali e motori determinati nei passaggi 1 e 2. È definito come il livello neurologico più caudale al quale tutte le funzioni sensoriali e motorie sono normali.

4. Determinare se la lesione è completa o incompleta:

Per questa distinzione fondamentale risulta necessario l'esame dell'area sacrale³: se la contrazione anale volontaria non è possibile, se tutti i punteggi sensoriali S4-S5 sono 0 e se non è presente la pressione anale profonda, la lesione è completa. Altrimenti, la lesione è incompleta.

5. Classificare la lesione secondo la ASIA Impairment Scale (AIS):

A = Completa: sensibilità e funzione motoria non preservate nel segmento sacrale S4-S5;

B = Sensoriale Incompleta: la funzione sensitiva (ma non quella motoria) è preservata al di sotto del livello di lesione e include i segmenti sacrali S4-S5; nessuna funzione motoria è preservata più di tre livelli al di sotto del livello motorio in entrambi le parti del corpo.

³ Il mantenimento della sensibilità "pinprick" nella zona di parziale conservazione o nei segmenti sacrali è stato dimostrato come un predittore affidabile di recupero motorio. Una delle ipotesi proposte per questa associazione è che le fibre della sensibilità dolorifica nel tratto spinotalamico laterale viaggino in prossimità delle fibre motorie nel tratto corticospinale laterale e, quindi, la conservazione delle fibre sensitive può essere un indicatore dell'integrità delle fibre motorie. La diagnosi di una lesione incompleta è di grande importanza e la mancata rilevazione della conservazione sensoriale nei segmenti sacrali comporta una valutazione imprecisa della prognosi. [9]

C = Motoria Incompleta: la funzione motoria è conservata al di sotto del livello della lesione e più della metà dei muscoli hanno un grading di forza minore di 3;

D = Motoria Incompleta: la funzione motoria è conservata al di sotto del livello lesionale, e almeno la metà dei muscoli al di sotto del danno neurologico hanno un grading di forza di 3 o superiore (antigravitaria);

E = Normale: la funzione motoria e quella sensitiva non risultano compromesse.

6. Determinare le zone di preservazione parziale (ZPP)

Si applicano solo alle lesioni complete e fanno riferimento a quei dermatomeri e miotomi, caudali rispetto i livelli sensitivi e motori, che rimangono parzialmente innervati.

Questa denominazione non si applica in caso di lesione con risparmio sacrale (indicare come NA, non applicabile).

Questa procedura va condotta entro 72 ore dall'attivazione dell'equipe multi specialistica che seguirà il paziente a partire dalla fase acuta [4]. Tale valutazione completa risulta fondamentale in prima istanza per definire il progetto riabilitativo e gli obiettivi funzionali individuali ma rappresenta anche uno standard di monitoraggio periodico della situazione a livello lesionale. Per rendere la valutazione più completa, essa deve tuttavia andare oltre i muscoli chiave previsti dall'ASIA ed il quadro motorio deve essere completo e analitico. Ciò è possibile solo tramite un'attenta valutazione sia muscolare, con scala MRC, sia della spasticità, con scala Ashworth modificata.

Per quanto riguarda la valutazione dello stato funzionale di pazienti con lesione midollare si fa invece riferimento a scale quali la Functional independence measure (FIM) e la più specifica ed appropriata Spinal Cord Independence Measure (SCIM) [10]. Quest'ultima permette di valutare l'autonomia dell'individuo nello svolgimento di attività della vita quotidiana (ADL), includendo aree funzionali fondamentali per il para-tetraplegico. Ad ogni attività funzionale si attribuisce un punteggio in base al suo peso relativo sull'attività complessiva; punteggi (0-100) più alti riflettono livelli più elevati di indipendenza. Essa clinicamente viene utilizzata per la valutazione delle funzioni del paziente all'ammissione e prima della dimissione ma può avere una funzione anche di monitoraggio. Sono state sviluppate consecutivamente tre versioni di SCIM (I-III) che valutano ciascuna un'area specifica:

- cura di sé (alimentazione, cura, bagno e vestirsi), punteggio totale 0-20;
- gestione della respirazione e dello sfintere, punteggio totale 0-40;
- mobilità (letto e trasferimenti e coperta / outdoor), punteggio totale 0-40.

Evoluzione clinica

Nelle lesioni del SNC, la previsione dell'evoluzione naturale della paralisi e della possibile influenza su di essa dell'intervento riabilitativo costituisce un requisito fondamentale per l'impostazione del programma terapeutico. Per poter formulare un'ipotesi prognostica sono necessarie l'analisi del tipo e dell'entità della lesione, la rilevazione e l'interpretazione dei segni emergenti della lesione e la conoscenza dei meccanismi che sottendono alla riorganizzazione delle funzioni dopo lesioni del SNC.

Come si è visto, gli esiti neurologici sono generalmente determinati 72 ore dopo la lesione. Tale valutazione, col passare del tempo è destinata a variare. I pazienti con SCI sono infatti soggetti a un'evoluzione clinica, dunque possono sperimentare un graduale e spontaneo recupero delle funzioni motorie e sensitive. La maggior parte del recupero funzionale si verifica durante i primi 3 mesi e nella maggior parte dei casi raggiunge un plateau a 9 mesi dopo l'infortunio. Tuttavia, dopo la lesione possono verificarsi ulteriori recuperi fino a 12-18 mesi. Gli esiti a lungo termine della SCI sono strettamente correlati al livello della lesione, alla gravità della lesione primaria e alla progressione della lesione secondaria [9].

- Lesione primaria: deriva da un trauma fisico diretto al midollo spinale (LM traumatica) e può essere causata da vari meccanismi classificati come penetranti o contudenti [11]. Indipendentemente dalla forma di danno primario, queste forze danneggiano direttamente le vie ascendenti e discendenti nel midollo spinale e interrompono i vasi sanguigni e le membrane cellulari. Temporalmente questo danno coincide quindi con il momento della lesione.
- Lesione secondaria: comprende una cascata di insulti fisiologici, biochimici extracellulari e intracellulari che ha inizio nell'immediato post-lesione ma che perdurano per settimane e mesi, causando danni progressivi al tessuto del midollo spinale che circonda il sito della lesione, ostacolando il recupero neurologico [9].

L'interruzione locale della vascolarizzazione provoca emorragia acuta e ischemia del midollo. L'aumento della pressione tissutale nel midollo spinale lesionato edematoso e il vasospasmo, indotto dall'emorragia nei vasi intatti, interrompono ulteriormente il flusso sanguigno al midollo spinale. Per ore o giorni, le cellule continuano a subire il processo di morte cellulare rilasciando potenti segnali pro-apoptotici. Questi eventi introducono numerosi sottoprodotti citotossici nel microambiente locale propagando ulteriormente la morte cellulare [11]. Con il progredire della lesione, inizia la fase sub-acuta che comporta apoptosi, demielinizzazione degli assoni sopravvissuti, degenerazione walleriana, dieback assonale, rimodellamento della matrice ed evoluzione di una cicatrice gliale intorno al sito della lesione.

Ulteriori cambiamenti si verificano nella fase cronica della lesione, tra cui la formazione di una cavità cistica. Continuano poi il progressivo die-back assonale e la maturazione della cicatrice gliale. La cicatrice da un lato limita la diffusione della neuroinfiammazione dal sito della lesione al tessuto sano, dall'altro inibisce la rigenerazione (germinazione) assonale e la differenziazione cellulare nelle fasi subacute e croniche [9].

All'inizio del paragrafo si è detto che queste persone sperimentano un recupero spontaneo, un'evoluzione clinica. A questo proposito nel 2004 è emerso un modello in quattro fasi di shock spinale che fornisce ulteriori informazioni sullo spettro continuo di cambiamenti clinici e meccanismi fisiologici alla base di questa condizione [12].

- | | |
|---|--|
| 1: Areflessia/Iporeflessia (0-1 giorni) | 3: Iperreflessia precoce (4giorno-1mese) |
| 2: Iniziale ritorno dei riflessi (1-3 giorni) | 4: Spasticità (1-12 mesi) |

Lo shock spinale rappresenta un esempio di diaschisi. Si tratta di una strategia biologica di difesa, che tende ad evitare un sovraccarico delle strutture interessate dalla lesione, pertanto le aree e le strutture che non sono anatomicamente connesse con quelle lese, ma che sono ivi funzionalmente connesse, vengono inibite. Per questo la fase di shock midollare che segue un evento traumatico è stata classicamente definita come perdita completa della funzione motoria e sensoriale al di sotto del livello di lesione; caratterizzata da flaccidità, scomparsa dei riflessi tendinei profondi e paralisi degli sfinteri. Risulta dunque fondamentale conoscere tale condizione in quanto può rendere imprecisi i tentativi iniziali di prognosi.

Dopo giorni o settimane, il gonfiore inizia a diminuire e alcune funzioni potrebbero essere ripristinate. Il miglioramento, in questa fase precoce, non è dovuto a rigenerazione neuronale assonale, ma piuttosto al riassorbimento dell'ematoma e alla riduzione dello stato infiammatorio. Una volta superata la fase acuta dunque, l'entità della lesione (completa o incompleta) diventa un fattore discriminante: nel caso di lesione incompleta si prevede un iniziale recupero anatomico-funzionale del midollo, associato ad un miglioramento generale del quadro clinico. Se, invece, la lesione è completa si osserverà la ricomparsa dei riflessi osteo-tendinei (iperreflessia), della spasticità e della funzione automatica dell'alvo e della vescica che comporta in molti casi incontinenza. Il tono dei muscoli collegati con il midollo spinale sottostante al livello di lesione, infatti, subisce l'assenza del controllo esercitato dai centri nervosi che si trovano al di sopra di essa. Viene a mancare il controllo discendente e quindi la modulazione da parte delle vie parapiramidali, che comporta una ipereccitabilità degli interneuroni (perdita di inibizione su alcuni riflessi); questa, combinata con l'elaborazione anormale degli input afferenti, determina risposte abnormi rispetto agli stimoli.

Quadro Clinico

Premessa necessaria per definire la sintomatologia è che non si deve immaginare la patologia come un'incisione che seziona il midollo con un preciso taglio orizzontale, ma piuttosto come una piccola esplosione che danneggia in canale vertebrale con il suo contenuto ma anche le strutture limitrofe.

Il canale vertebrale, come si è visto al paragrafo 1.1, contiene gli assoni dei neuroni del SNC che trasportano informazioni afferenti (sensitivi) ed efferenti (motori) all'/ dall'encefalo.

Nel caso della componente motoria si parla di una via disinaptica (a due motoneuroni): i primi motoneuroni, appartenenti al SNC, trasportano le informazioni efferenti lungo il midollo spinale (tratto corticospinale, fascio piramidale) fino alle corna anteriori dove si verificano le sinapsi con i secondi motoneuroni (SNP) che, attraverso le radici ventrali dei nervi spinali, si dirigono a innervare i muscoli scheletrici.

Ciò significa che una lesione midollare comporta certamente un danno dei motoneuroni superiori (1° motoneurone) ma allo stesso tempo, soprattutto attorno al livello di lesione, può verificarsi un interessamento del motoneurone periferico (2° motoneurone).

Si determineranno dunque segni e sintomi diversi [Tabella 1]:

	Lesione 1° motoneurone (centrale)	Lesione 2° motoneurone (periferica)
Riflessi (ROT)	Aumentati / iper-reflessia: Babinsky +	Ridotti / areflessia: Babinsky -
Tono	Aumentato	Ridotto
Trofismo	Atrofia modesta, dovuta a disuso	Atrofia marcata (fino al 70-80% del volume muscolare totale)
Movimenti volontari	Assenti / Schemi patologici	Assenti
Movimenti involontari	Spasmi o Cloni	Fascicolazioni (lesione parziale)

Tabella 1: Lesione Centrale e Periferica: distinzione e sintomi.

Le lesioni del sistema nervoso centrale provocano, in particolare, la comparsa di segni sia negativi che positivi: [Tabella 2]. I primi dipendono dalla perdita di particolari funzioni controllate dal sistema leso; i secondi, detti anche fenomeni di liberazione, sono costituiti da risposte anormali e stereotipate che derivano da un'inibizione tonica sui circuiti neuronali che mediano queste risposte (vie parapiramidali⁴).

⁴ Le vie parapiramidali sono vie a proiezione diffusa, provenienti principalmente dal tronco encefalico. Esse comprendono i tratti vestibolospinale (eccitatorio), reticolo spinale dorsale (inibitorio) e mediale (eccitatorio); questi sono considerati fondamentali nel determinismo del tono muscolare tant'è che l'insorgenza della spasticità è attribuita prevalentemente a una lesione di queste vie piuttosto che alla componente piramidale.

(+) POSITIVI : Danno Paparapiramidale	(-) NEGATIVI: Danno Piramidale
<ul style="list-style-type: none"> • Spasticità • Tono aumentato • Iper-reflessività • Babinsky positivo • Spasmi e Cloni • Co-contrazioni • Pattern motori di massa 	<ul style="list-style-type: none"> • Perdita di selettività del controllo motorio, di destrezza e coordinazione • Deficit del controllo posturale • Deficit sensoriale • Debolezza e affaticabilità • Generazione forza inadeguata

Tabella 2: Segni Positivi e Negativi in seguito ad una lesione del SNC

Il quadro clinico generale della LM si caratterizza per:

- **paralisi motoria al di sotto del livello di lesione:** la lesione delle vie motorie centrali discendenti, a livello delle corna anteriori del midollo spinale interrompe il circuito motorio fra motoneurone superiore e motoneurone inferiore. Ciò comporta perdita motoria degli arti superiori, del tronco e/o degli arti inferiori; la gravità della lesione e di conseguenza il grado di autonomia raggiungibile è in relazione al livello neurologico conservato e al tipo di danno neurologico (completo o incompleto).
- **disturbi del tono muscolare:** Come già detto, poiché le vie discendenti dall'encefalo modulano continuamente la trasmissione dei segnali a livello delle vie riflesse spinali, lesioni o processi patologici che interessano il sistema nervoso centrale provocano spesso alterazioni significative dell'intensità dei riflessi spinali. Dopo la prima fase di flaccidità tipica dello shock spinale, la lesione del motoneurone superiore, essendo l'arco riflesso integro, si manifesta con iperreflessia e spasticità⁵ di origine "spinale", caratterizzata da un lento e progressivo incremento dello stato eccitatorio con cloni e spasmi (contrazioni involontarie) in flessione e/o estensione. L'ipertono può favorire il mantenimento di un certo trofismo muscolare, stimolare la pompa ematica alle estremità, può talvolta essere funzionale al paziente per i trasferimenti; più spesso però determina contratture, lesioni della cute da sfregamento, cadute con conseguenti traumi ed interferisce con la mobilità e l'autonomia nelle ADL. Per questo risulta fondamentale una valutazione di questa condizione, graduata mediante la scala Ashworth, attribuendo un punteggio da 0 (nessuna variazione del tono muscolare) a 4 (Arto rigido, impossibile la mobilizzazione passiva).

⁵ Aumento velocità dipendente del tono muscolare (riflesso tonico da stiramento), associato ad iper-reflessia osteotendinea (riflesso fasico da stiramento), interessante preferenzialmente alcuni gruppi muscolari e dovuto ad un'anomala elaborazione degli input sensitivi primari quale espressione di una sofferenza del I motoneurone (Young, 1994). Nel 2005 Pandyan specificò che si tratta di un disordine sensori-motorio che si manifesta con un'attivazione muscolare involontaria (non corticale) intermittente o sostenuta.

Se la lesione coinvolge anche il motoneurone inferiore, con conseguente interruzione dell'arco riflesso persiste ipotonia e areflessia a livello dei distretti che corrispondono al livello di interruzione del 2° motoneurone. [Tabella 1]

- **perdita della sensibilità superficiale e profonda al di sotto del livello di lesione**
in quanto le vie sensitive, decorrenti nelle corna posteriori del midollo spinale, sono interrotte dalla lesione; l'anestesia sottolesionale si accompagna frequentemente a dolore cronico e turbe soggettive della sensibilità che si caratterizzano come bruciori, scosse elettriche, formicolii, dolori sordi e lancinanti o algie puntorie (dolore neuropatico); inoltre l'alterazione della sensibilità pone il paziente con LM a rischio di complicanze secondarie quali LDP.
- **disturbi respiratori** (lesioni cervicali e dorsali sopra D6); se l'attività diaframmatica è conservata (lesioni da C4 risparmiato in poi) la paralisi totale o parziale di muscoli intercostali e/o addominali determina un' insufficienza ventilatoria di tipo restrittivo di entità correlabile al livello neurologico conservato ma anche deficit di espettorazione (patologia ostruttiva). Nelle lesioni al di sopra di C3 la paralisi del diaframma impone la ventilazione meccanica; nelle lesioni C3-C4 l'attività diaframmatica è parzialmente conservata e l'attività respiratoria spontanea può essere sufficiente, anche se la capacità vitale è fortemente ridotta (20-40% residuo) con conseguente grave insufficienza respiratoria;
- Oltre alla perdita motoria-sensoriale, la LM colpisce la **funzione neurologica autonoma** del corpo. Ciò, oltre a portare ad un peggioramento della funzione respiratoria, può causare anche l'alterazione della frequenza cardiaca, della pressione sanguigna (ipotensione ortostatica), della termoregolazione, del controllo intestinale, vescico-sfinterico e della funzione sessuale.

Principi di trattamento

Il percorso assistenziale [4] può essere suddiviso in:

- fase dell'emergenza, immediatamente successiva all'evento lesivo (generalmente entro le prime 12 ore dal trauma) in cui si attuano tutte le procedure atte a limitare i danni conseguenti alla lesione e altamente critici per l'omeostasi dell'individuo;
- fase acuta ospedaliera, che continua sino alla stabilizzazione delle condizioni generali;
- fase di stabilizzazione in cui le condizioni generali si sono stabilizzate e l'eventuale danno scheletrico vertebrale trattato in modo chirurgico o conservativo; la durata media di questa fase è mediamente di 4-6 mesi per i paraplegici e 8-10 mesi per i tetraplegici;
- fase post-dimissione che riguarda la prevenzione e cura delle numerose complicanze che possono intervenire dopo la dimissione.

Al momento della dimissione è fondamentale il raccordo fra l'unità spinale e la struttura territoriale AUSL che prenderà in carico il paziente affinché sia organizzata una rete di servizi sanitari e/o sociali che garantisca la necessaria continuità terapeutica per promuovere il reinserimento sociale.

L'intervento di rieducazione funzionale inizia in fase acuta (sempre più precocemente) e diventa gradualmente più intensivo nella fase di stabilizzazione, che corrisponde al momento in cui il paziente comincia ad alzarsi in carrozzina ed inizia l'attività in palestra e/o terapia occupazionale. La distinzione tra gli obiettivi dei due momenti è puramente "didattica" in quanto spesso si sovrappongono e la loro differenziazione deriva da esigenze di priorità legate alla situazione clinica.

La prima fase del ricovero dei pazienti mielolesi acuti, prevede un'alta intensità clinico-assistenziale-riabilitativa volta a stabilizzare il paziente dal punto di vista emodinamico, inquadrare e riequilibrare le alterazioni nutrizionali quando presenti, risolvere le principali problematiche cardio-respiratorie, porre le basi per il raggiungimento del massimo recupero neuromotorio e per la prevenzione o cura delle complicanze secondarie alla lesione midollare stessa. In questa fase si avvia il percorso, che proseguirà e si completerà nella fase successiva, di inquadramento clinico di tutti i molteplici aspetti legati alla lesione midollare: vescica ed alvo neurogeno, trattamento del dolore neuropatico, trattamento della spasticità, approccio alla sessualità e alla fertilità nella persona mielolesa, inquadramento diagnostico-terapeutico di eventuali danni associati alla mielolesione e, dalla stessa patologia, condizionati nella loro storia ed evoluzione. In generale per accedere alla fase successiva il paziente deve aver

raggiunto determinati obiettivi, quali la possibilità di respirazione autonoma, l'assenza di nutrizione enterale, la capacità di mantenere la posizione seduta.

La fase di stabilizzazione è quindi caratterizzata da un livello di intensità riabilitativa crescente, volto a perseguire il raggiungimento del massimo livello di autonomia e partecipazione possibili, compatibilmente con il livello di lesione e le caratteristiche dell'ambiente di vita. In questa fase, l'assistenza vede una prevalente gestione infermieristico-riabilitativa, in quanto la tipologia delle attività svolte (addestramento alle autonomie e all'utilizzo dei presidi, educazione sanitaria, ecc.) rientra nella sfera delle competenze professionali dell'Infermiere e del Fisioterapista. Il programma fisioterapico comprende:

- Prevenzione delle complicanze come lesioni da decubito, limitazioni del ROM, deformità, retrazioni, accorciamenti, turbe del tono e sindrome da sovraccarico funzionale. Per questo sono fondamentali: l'alternanza dei decubiti, il posizionamento del rachide e delle estremità in corretto allineamento durante ogni postura, la mobilizzazione passiva e lo stretching lento e graduale.
- Mantenimento della funzionalità respiratoria tramite, se necessario, tecniche di disostruzione dei bronchi e tosse assistita. Il trattamento ha come obiettivo quello di contrastare l'irrigidimento della gabbia toracica, incentivando la ventilazione ed incrementando la tolleranza allo sforzo.
- Recupero della posizione seduta ed eretta: la rieducazione al raggiungimento della posizione seduta è un processo graduale: si passa alla posizione semi-seduta, prima nel letto snodabile di degenza, poi sul lettino di palestra. Si progredisce dal long sitting fino alla posizione in short sitting, arrivando alla seduta in carrozzina posturale, usando anche ortesi per sostenere la stabilità del rachide (collare, busto) e per la vasopressione (calze elastiche, ventriera addominale). Una volta raggiunta una seduta ottimale in carrozzina si cerca di incrementare le ore di seduta e le attività (ad iniziare dall'autospinta in interni).
Lo step successivo è il riadattamento alla verticalizzazione utilizzando lo standing elettrico o, in casi di particolare difficoltà al riadattamento pressorio, il lettino di statica.
- Reclutamento muscolare ed equilibrio del tronco: reclutare le massime risorse motorie del paziente potenziando la muscolatura sovralesionale, migliorando il compenso del controllo posturale e irradiando i distretti sottolesionali. Quindi il rafforzamento interessa essenzialmente i muscoli a livello degli arti superiori e del tronco (gran dorsale, gran pettorale, grande e piccolo rotondo, sopra e sottospinoso, deltoide, tricipite, bicipite,

estensori della colonna, addominali, ecc.), compatibilmente al livello neurologico conservato, mediante la proposta di:

- esercizi attivi o contro resistenza manuale, in schemi segmentari e/o globali, comprendenti anche tecniche di facilitazione neuromuscolare, esercizi con pesi ed esercizi con elastici;

- svolgimento di attività muscolare e posturale inserita in un compito motorio significativo e funzionale. In questo contesto è utile e funzionale proporre al paziente ulteriori attività che, oltre a fornire al paziente competenze tecniche, consentano di incrementare l'autonomia nella delicata fase che fa seguito alla consapevolezza del danno subito. Ciò è possibile facendo sperimentare al soggetto le abilità residue e ponendolo di fronte alle limitazioni connesse alla propria disabilità e alle potenzialità tuttora presenti quali: l'addestramento alle ADL, alle variazioni posturali, ai trasferimenti e alla gestione della carrozzina, la rieducazione tramite gesto sportivo e la terapia occupazionale.

L'equilibrio del tronco sarà maggiormente discusso nel paragrafo 2.2.

Capitolo 2: IL CONTROLLO POSTURALE E LA VALUTAZIONE DEL CONTROLLO DEL TRONCO

Questo capitolo tratterà il controllo del tronco e la sua valutazione. Il ripristino della funzione del tronco è infatti fondamentale per sviluppare l'indipendenza del paziente e migliorarne la qualità della vita.

2.1 Come cambia in controllo posturale nel soggetto con lesione spinale

Gli individui con lesioni cervicali o toraciche riportano un compromesso equilibrio della postura assisa. Questa condizione di disequilibrio induce l'individuo con LM a modificare la propria strategia di seduta e questo può tradursi in una postura compromessa. Per mantenere una postura eretta è necessaria un'attivazione tonica e continua dei muscoli del tronco e sono necessarie attivazioni fasiche a feedback per rispondere ai disturbi dell'equilibrio. Pertanto, la paralisi dei muscoli del tronco è uno dei motivi principali che comporta la compromissione dell'equilibrio della seduta dopo SCI.

Tra il 1997 e il 1999 sono stati pubblicati tre studi riguardanti la riorganizzazione del controllo posturale nei soggetti mielolesi, essi vengono ancora oggi citati e considerati il punto di partenza per le nuove ricerche scientifiche in questo ambito [13] [14] [15]. In particolare i dati di tali documenti hanno evidenziato, e dunque descritto, le strategie alternative messe in atto dai soggetti con mielolesione al fine di mantenere l'equilibrio in posizione seduta.

Per compensare l'instabilità del bacino e della parte inferiore della colonna vertebrale, le persone con SCI elevata non hanno altra alternativa che inclinare il bacino all'indietro (retrovertere) e utilizzare lo schienale della sedia come supporto passivo. Questa posizione seduta crea la possibilità per i muscoli situati più cranialmente di agire come stabilizzatori della postura. È stato infatti dimostrato, con rilevazioni elettromiografiche, che soggetti con SCI utilizzano muscoli non posturali quali ad esempio il gran dorsale e il trapezio superiore come strategia posturale adattativa per compensare la perdita di funzionalità di muscoli tonici come l'ereettore spinale. In questi soggetti il tronco è stabilizzato grazie ad un maggiore utilizzo della parte più craniale dell'ereettore spinale (ES-T3) e dall'utilizzo dei muscoli non posturali sopracitati. Questi ultimi hanno infatti un'innervazione craniale rispetto al sito della lesione midollare e una posizione biomeccanicamente favorevole data dall'inserimento nella regione toracica e lombare bassa. Soprattutto nei soggetti con lesione più alta e quindi con un

erettore spinale maggiormente compromesso dal punto di vista funzionale, si è notata anche una maggiore attivazione del grande pettorale e del gran dentato per stabilizzare il cingolo superiore ed evitare la retrazione delle scapole. Un'ulteriore spiegazione dell'attivazione del grande pettorale potrebbe essere data dal fatto che i soggetti con SCI toracica elevata cercano di stabilizzare ulteriormente la postura seduta attraverso l'adduzione dell'omero contro la cassa toracica durante il *reaching*. Un altro aspetto da tenere in considerazione è che l'attività combinata del grande pettorale e del gran dorsale provoca anche depressione dell'omero, questo è a sua volta contrastato da una maggiore attività dei muscoli della cuffia dei rotatori per prevenire la dislocazione dell'omero nell'articolazione gleno-omeroale durante il ripristino dell'equilibrio di seduta dopo il *reaching* sottomassimale.

Quando si confronta il *range* in cui i soggetti sono in grado di spostare il proprio CP (centro di pressione), diventa tuttavia chiaro che l'equilibrio di seduta e il controllo posturale non possono essere completamente compensati e che queste strategie possono solo parzialmente ridurre la disabilità funzionale. Il soggetto con SCI deve fare un compromesso tra la stabilità spinale e il movimento del tronco e degli arti superiori.

In conclusione, durante il periodo di riabilitazione clinica emergono diversi modelli di controllo posturale nei pazienti con SCI toracica alta e bassa.

Nei soggetti con SCI toracica bassa migliora il contributo dell'ES-L3, ma anche dell'ES-T9, nel ripristino e nel mantenimento dell'equilibrio della seduta; ciò suggerisce che è necessaria una minore attivazione dei muscoli non posturali. Al contrario, i pazienti con SCI toracica elevata dipendono maggiormente dall'aumento dell'attività dell'ES-T3 in combinazione con un maggiore uso del gran dorsale, del trapezio superiore e, in misura minore, del grande pettorale.

Seelen et al. [16] hanno inoltre riferito, in accordo con quanto scritto sopra, che i pazienti con SCI toracica bassa e quindi con più funzioni sensomotorie residue, sembrano adottare strategie più complesse per il mantenimento e il ripristino dell'equilibrio di seduta. I pazienti con SCI toracica bassa risultano infatti generalmente più lenti nella programmazione dei movimenti perturbatori dell'equilibrio rispetto ai pazienti con SCI toracica alta. Questi ultimi infatti sembrano fare affidamento su strategie più semplici che utilizzano un supporto posturale più passivo.

Più recentemente i risultati di Milosevic et al. [17] hanno mostrato che gli individui con SCI utilizzano meno moduli muscolari, più co-contrazioni e regolazione direzionale inferiore, rispetto alle persone non mielose. Ciò suggerisce, ancora una volta, una coordinazione muscolare compromessa e semplificata a causa della perdita di input sopraspinali in seguito a

SCI. La variabilità osservata nella coordinazione muscolare all'interno dei gruppi SCI suggerisce poi che altri meccanismi come la spasticità e i riflessi di stiramento muscolare o singoli fattori come l'esperienza e l'allenamento contribuiscono allo sviluppo delle sinergie muscolari posturali.

Altri studi si sono poi concentrati sull'influenza degli AASS e dell'ampiezza della base d'appoggio in relazione alla stabilità in posizione assisa. I risultati [18] hanno mostrato che gli individui con SCI ondeggiavano maggiormente rispetto ai soggetti sani, indipendentemente dal supporto degli arti superiori. Non sono state osservate differenze tra i due gruppi SCI, ma il livello neurologico di lesione si è comunque rivelato correlato alle prestazioni posturali in quanto persone con lesioni più elevate oscillavano in ogni caso più rapidamente. La seduta non supportata è risultata più instabile rispetto alla posizione di seduta supportata, specialmente nella direzione anteriore-posteriore: la velocità dell'oscillazione posturale è infatti influenzata anche dal supporto degli arti superiori, con una maggiore velocità di oscillazione quando le braccia non sono appoggiate sulle cosce.

Ilha et al. [19] a marzo hanno pubblicato uno studio i cui risultati confermano che gli individui con SCI toraciche complete hanno una scarsa stabilità posturale e mostrano una strategia di limitazione delle oscillazioni posturali del tronco per mantenere l'equilibrio durante compiti dinamici in posizione seduta non supportata. Limitando la loro oscillazione posturale nella direzione latero-laterale, riducono il controllo necessario per mantenere la stabilità posturale e completare le attività funzionali. Per controbilanciare questa fissazione latero-laterale, il sistema posturale può orientare l'attenzione per migliorare e controllare la ridotta stabilità posturale nella direzione antero-posteriore. Questo vincolo attivo dello spostamento latero-laterale del tronco potrebbe essere correlato all'attivazione di muscoli non posturali per compensare la paralisi muscolare del tronco e degli arti inferiori. È stato infine osservato che la riduzione dell'entità del sostegno a livello della coscia rende poi più impegnativo il mantenimento dell'equilibrio dinamico; ciò può essere sfruttato durante la riabilitazione per la formazione di nuove e diversificate strategie di controllo posturale.

2.2 La centralità del tronco nel progetto riabilitativo

L'obiettivo primario della riabilitazione è ripristinare la maggior funzionalità possibile e consentire l'esecuzione delle attività quotidiane dalla posizione seduta. In questo contesto in particolare i muscoli del tronco diventano critici [20], l'instabilità durante la seduta può infatti influire sull'esecuzione di attività della vita quotidiana come il raggiungimento e la

manipolazione di oggetti ma può provocare anche complicazioni secondarie di salute come lesioni da pressione. Per le persone con paraplegia, le attività più funzionali, come mangiare, vestirsi e spostarsi, vengono eseguiti in posizione seduta. Sia la stabilità che la mobilità del tronco sono quindi direttamente correlate con la capacità del paziente di svolgere compiti funzionali. Riacquistare il controllo posturale seduto è perciò il primo obiettivo nella riabilitazione di pazienti con paraplegia [21].

Il sistema nervoso centrale mantiene l'equilibrio integrando le informazioni provenienti da sistemi visivi, vestibolari e sensomotori. Una maggiore comprensione dei principi alla base del controllo neurale dei movimenti ha portato a migliorare le strategie di allenamento basate sul concetto di specificità dell'attività. Per quanto riguarda l'equilibrio, la riabilitazione specifica per attività si concentra allo stesso modo sul raggiungimento dei tre principali obiettivi funzionali che comprendono l'equilibrio [22]:

- 1) mantenimento della postura antigravitaria in posizione seduta (ed eventualmente in piedi),
- 2) controllo posturale anticipatorio durante movimenti volontari auto-iniziati,
- 3) controllo posturale reattivo durante una perturbazione inaspettata.

La rieducazione del senso dell'equilibrio è quindi molto importante per acquisire un buon controllo della posizione seduta. L'obiettivo dunque è cercare di vicariare tale deficit di controllo posturale favorendo lo sviluppo di nuovi schemi e sinergie. Per fare questo è fondamentale concentrarsi su quei muscoli che hanno innervazione alta e largo attacco sulla colonna e sulla pelvi. I più importanti, come si è visto sono il grandorsale (C6,C7,C8) che costituisce un "ponte" fra le parti del corpo paralizzate e quelle non, e il trapezio (C3,C4) con la sua inserzione inferiore fino a T12. Oltre a questo vengono proposti gradualmente compiti sempre più impegnativi, prima in appoggio con gli AASS su diverse superfici, successivamente si progredisce, a seconda del livello di lesione, con esercizi che richiedono l'esecuzione di attività dinamiche con svincolo dei cingoli senza appoggio, come il lancio della palla, oppure rendendo instabile la base d'appoggio (piattaforma basculante).

Questo riguardante il controllo del tronco è in realtà un capitolo molto ampio del trattamento e comprende anche:

- la rieducazione correttiva di alterazioni posturali funzionali (non strutturate) del rachide e di accorciamenti muscolo-tendinei conseguenti a posture protratte (accorciamento ischio-crurali, estensori della colonna, ileopsoas, glutei, adduttori, tricipite surale, ecc.);
- la riacquisizione della postura corretta da seduto mediante scelta appropriata della carrozzina e del cuscino antidecubito, con relativa personalizzazione (altezza schienale, sagomatura dello schienale, inclinazione della seduta, posizione delle ruote grandi, altezza pedanine, ecc.).

2.3 Modalità di valutazione del controllo del tronco

La funzione motoria dopo SCI può essere valutata in diversi modi. Ad oggi, il metodo principale per valutare la funzione motoria in seguito a SCI, come visto, è l'American Spinal Injury Association Impairment Scale (AIS) [8], che verifica la forza muscolare manuale in cinque muscoli chiave di ciascun arto ed esamina la funzione sensoriale. Tuttavia, questo approccio è altamente soggettivo, il che rende difficile monitorare l'attivazione muscolare. La misurazione dell'attività dei muscoli del tronco inoltre, non è inclusa; le conclusioni sull'attività motoria a livello dei muscoli del tronco sono così precluse e la classificazione del livello di lesione neurologica nelle persone con SCI toracica è basata esclusivamente sulla funzione sensoriale. Come visto in questo capitolo, la riabilitazione del tronco risulta fondamentale per garantire a queste persone il raggiungimento della massima autonomia; per favorire ulteriormente questo recupero, sarebbe necessario disporre di strumenti di valutazione clinica e funzionale migliori per la valutazione del controllo motorio del tronco residuo [20].

Tale valutazione, in ambito clinico, è difficile perché la seduta non supportata è complessa, implica continui aggiustamenti posturali e non può essere separata dall'ambiente in cui viene eseguita. Attualmente infatti, a dispetto dell'importanza del controllo del tronco per la persona con lesione midollare, scarse sono le scale utilizzate per misurare il controllo del tronco, tra queste inoltre, poche sono state realmente validate per questa patologia.

In letteratura è disponibile una sola revisione sistematica (del 2018) che tratta tale argomento, [23] tuttavia le discussioni e le conclusioni in essa contenute si basano su studi da ritenersi poveri in termini di qualità metodologica. In ogni caso, da tale revisione, si evince che la *Sitting Balance Measure* e il *Trunk Control Test* sembrano essere le scale più appropriate e raccomandate per valutare la seduta non supportata in soggetti con SCI. La prima, pur avendo un'ottima affidabilità della coerenza interna (0,967) ed elevate sensibilità e specificità, non può essere utilizzata in quanto la versione completa non è mai stata rilasciata dagli autori. Dalla stessa revisione si traggono dati interessanti ma contrastanti anche per quanto riguarda il *Modified Functional Reach Test* (mFRT); Il test è stato in grado di distinguere il livello di lesione mostrando una validità discriminante relativamente buona mentre l'affidabilità test-retest è risultata eccellente. Tuttavia non è stata trovata nessuna correlazione ($p > 0.05$) tra mFRT e la scala di mobilità SCIM III, mancano inoltre dati riguardanti l'affidabilità *inter-rater/intra-rater*, la *responsiveness*, la consistenza interna e la validità; ciò suggerisce indiscutibilmente qualche limitazione di validità e la necessità di ulteriori studi.

Saranno ora analizzate più dettagliatamente il *Trunk Control Test for SCI* e la *Thoracic-Lumbar Control Scale*, non considerata nella precedente revisione poiché validata in portoghese e non in lingua inglese.

Trunk Control Test for Spinal Cord Injury (TCTSCI)

È stato provato sperimentalmente che il *Trunk Control Test* per SCI è valido e affidabile, il test può inoltre essere utilizzato per tutti i pazienti con SCI nonostante il tipo e il livello di lesione. Nello studio[24] è stato ricercato un valore *cut off*, che è stato determinato a 13 punti, con una sensibilità del 98% e una specificità del 92,2%. Per quanto riguarda la validità, il test in esame ha una correlazione forte e positiva con la SCIM ($r = 0.873$, $P = 0.001$) e una correlazione debole e positiva con il tempo di evoluzione ($r = 0.437$, $P = 0.001$) [23].

Questa scala quindi assume una rilevanza specifica proprio per il caso di interesse, e risulta essere uno strumento fondamentale per poter effettuare valutazioni significative su questi pazienti. Essa si compone di 13 task motori, divisi tra esercizi di statica, dinamica e di *reaching*. Il clinico è chiamato ad assegnare un opportuno punteggio, a seconda delle modalità con cui il paziente in esame è in grado di eseguire il task motorio richiesto.

La tabella di seguito riporta la scala validata in inglese.

Initial position: seated with feet on a supporting surface, knees flexed at 90°, without trunk support, hands resting on thighs. The subject attempts the test on three occasions. The best attempt is scored. The observer can provide biofeedback between tests. Verbal or non-verbal (a demonstration) instructions can be given.

Static equilibrium

1 Maintain initial position during 10 sec	(0) Falls (1) Need support of upper limbs (2) Maintains position for 10 sec
2 Crosses one pelvic limb over the other	(0) Falls (1) Needs support of upper limbs to maintain position (2) Maintains position for 10 sec
3 Same test as 2, but with other pelvic limb	(0) Falls (1) Needs support of upper limbs (2) Maintains position for 10 sec

Dynamic equilibrium

1 Touch the feet	(0) Not done (1) Requires support with an upper limb (2) Touches feet with both hands
------------------	---

2 Lie down in supine decubitus position and return to initial position	(0) Not done (1) Requires aid of upper limbs (2) Does this without aid
3 Roll onto right side	(0) Not done (1) Done
4 Roll onto left side	(0) Not done (1) Done
<u>Dynamic equilibrium to carry out activities with upper limbs</u>	
<i>From the initial position, one of the thoracic limbs is maintained with shoulder flexion at 90°, complete elbow extension, pronation of the forearm, wrist in neutral position and fingers extended. A piece of cardboard in the form of a circle 10 cm in diameter is utilized as a dartboard.</i>	
1 Place the dartboard mid-line at the height of glenohumeral joint 10 cm from point of the fingers and ask the individual to touch this with right	(0) Not done (1) Requires support of the contralateral limb (2) Done without support
2 Same as 1 with left hand	(0) Not done (1) Requires support of the contralateral limb (2) Done without support
3 Place dartboard 45° to the right of position 1 and ask individual to touch it with right hand	(0) Not done (1) Requires support of the contralateral limb (2) Done without support
4 Same as 3 but the dartboard moves 45° to the left	(0) Not done (1) Requires support of the contralateral limb (2) Done without support
5 Same as 3 with left hand	(0) Not done (1) Requires support of the contralateral limb (2) Done without support
6 Same as 4 with left hand	(0) Not done (1) Requires support of the contralateral limb (2) Done without support

Tabella 3: Trunk Control Test for SCI, versione validata in lingua inglese.

Thoracic-Lumbar Control Scale (TLC)

La versione in lingua portoghese della scala di controllo toracico-lombare per SCI si è dimostrata valida ed efficace per quantificare i deficit del controllo del tronco. [25]

Essa è inoltre risultata facile da applicare e ha mostrato un'eccellente affidabilità *inter-rater* (ICC 0,986) e *intra-rater* (ICC 0.961), garantendo la replicabilità di altri professionisti. La scala ha presentato anche un'alta correlazione con il punteggio sensoriale ASIA, rivelando la relazione tra la capacità sensoriale e funzionale del tronco; la Thoracic-Lumbar Control Scale risulta dunque correlata al punteggio sensoriale ASIA ($r = 0,83$, $P = 0,001$) e moderatamente correlata a punteggio totale FIM (functional independence measure) ($r = 0,64$, $P = 0,001$); non è stata invece analizzata un'eventuale relazione con la SCIM.

Di seguito la tabella con gli items e i punteggi da assegnare in base alle capacità del paziente.

Items	T0	T1	T2	T3	Punteggio
1 Estensione del tronco in posizione prona					(0) assenza di attività contrattile (1) rilevata attività contrattile, ma assenza di movimento (2) il paziente non completa il range di movimento (3) il paziente completa il range di movimento, ma non è in grado di mantenere la posizione (4) il paziente esegue il test con segni di fatica (5) il paziente esegue il test rapidamente senza segni di sforzo
2 Elevazione del bacino					
3 Flessione del tronco in posizione supina					
4 Rotazione del tronco					
5 Passaggio seduto-supino					
6 Passaggio supino-seduto					
7 Postura seduta					
8 Estensione del tronco da seduto					
9 Equilibrio da seduto					
10 Equilibrio da in piedi					

Tabella 4: Toracic-Lumbar Control Scale, traduzione italiana non validata

CAPITOLO 3: PARTE APPLICATIVA

3.1 Materiale e disegno dello studio

Lo studio si è basato sulla formulazione del seguente quesito di ricerca, costruito mediante il cosiddetto P.I.C.O.S.:

• P (PATIENTS):	- Soggetti con lesione spinale toracica completa
• I (INTERVENTION):	- Utilizzo di scale validate per la valutazione del controllo del tronco - Utilizzo di sensori di movimento indossabili
• C (COMPARISON):	- Utilizzo della sezione “mobilità” della scala SCIM
• O (OUTCOME):	- Valutazione della correlazione tra controllo del tronco e del grado di autonomia
• S (STUDY):	- Studio prospettico longitudinale monocentrico, considerabile sperimentale per via dell’utilizzo di sensori di movimento indossabili, non in uso nella pratica clinica.

Tabella 5: Formulazione del quesito clinico secondo il metodo P.I.C.O.S.

Per lo sviluppo di questo studio, la raccolta dei dati e l’effettuazione delle valutazioni sono avvenuti a partire dall’ottobre del 2015 fino a luglio 2020.

Il comitato etico locale ha approvato lo studio e tutti i soggetti hanno firmato un modulo di consenso. Lo studio non aveva scopo di lucro, mirava a migliorare la pratica clinica e non disponeva di finanziamenti specifici.

Setting dello studio: centri coinvolti

Essendo questo uno studio monocentrico, lo svolgimento di tale tesi applicativa è avvenuto presso il Montecatone Rehabilitation Institute: ospedale di alta specialità e struttura del Servizio Sanitario Regionale della Regione Emilia-Romagna. È il principale polo regionale per la riabilitazione intensiva delle persone con lesioni midollari e uno dei tre centri di riferimento regionale per le lesioni cerebrali acquisite. È altresì punto di riferimento nazionale: più della metà dei pazienti, infatti, proviene da tutt’Italia.

I soggetti in studio sono stati dunque reclutati esclusivamente presso questo ospedale riabilitativo, in regime di ricovero ospedaliero oppure, per i follow up, in Day Hospital.

Le analisi statistiche sono state invece condotte attraverso una collaborazione con l’Università degli Studi di Bologna, in particolare con il Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale Scienze della Vita e Tecnologie per la Salute e con il Dipartimento dell’Ingegneria Elettrica e dell’Informazione «Guglielmo Marconi» (DEI).

3.2 Obiettivi dello studio

Obiettivi primari

Valutazione nel soggetto mieloleso, di una possibile correlazione fra il livello di autonomia raggiunto ed il livello di controllo del tronco durante la fase riabilitativa intensiva ospedaliera e durante la successiva fase post-dimissione (follow-up a 6 mesi e a 1 anno dalla dimissione).

Si intende verificare questa possibile correlazione attraverso l'utilizzo di una scala di misura clinica normalmente utilizzata quale la SCIM III per il grado di autonomia nelle ADL, mentre per il controllo del tronco sono state utilizzate 2 scale cliniche standardizzate per la persona mielolesa (TLC e TCTSCI).

Obiettivo secondario

Verificare a posteriori la possibile correlazione, relativamente al controllo del tronco, fra i dati di misura ottenuti con scale di misura clinica e parametri rilevati attraverso sensori inerziali di movimento.

3.3 Metodo dello studio

Popolazione dello studio

Sono stati arruolati, previo rilascio di consenso informato, soggetti con mielolesione acuta ricoverati presso l'Unità Spinale del Montecatone Rehabilitation Institute.

Sono stati inclusi pazienti di entrambi i sessi, con età compresa tra i 18 e 75 anni e con lesioni di origine sia traumatica che non traumatica, insorte da non più di 3 mesi. In particolare, per questo studio, sono state scelte solamente le persone con diagnosi di mielolesione completa motoria (AIS A o B) e livello neurologico lesionale da T1 a L1, compresi. Erano inoltre richieste: mobilità attiva sovralesionale (rachide cervicale e cingolo scapolare) completa, capacità cognitive integre e piena collaborazione del soggetto.

Rappresentavano invece criteri di esclusione: la presenza di Zone di Preservazione Parziale (ZPP) motorie sottolesionali, la presenza di Lesioni da Pressione (LdP) ischiatiche; la presenza di Calcificazioni Eterotopiche (POA) di anca e ginocchia limitanti l'articolarietà per più di un terzo del Range of Motion (ROM); deformità del rachide tali da comprometterne il normale range passivo articolare; condizioni ortopediche, metaboliche o cardiovascolari che controindicassero l'esecuzione dei test di valutazione funzionale richiesti per lo studio e gravidanza in atto. Qualora una paziente avesse sviluppato una gravidanza successivamente al suo arruolamento nello studio, lo Sperimentatore avrebbe valutato la sua idoneità ad eseguire i test di prestazione funzionale e quindi il fatto che ella potesse proseguire lo studio.

Descrizione dell'intervento

Per stabilire il livello di correlazione tra il recupero del controllo del tronco e l'autonomia raggiunta, tutti i soggetti reclutati sono stati valutati attraverso alcune scale di misura clinica specificatamente validate per il soggetto mieloleso e normalmente in uso nella pratica clinica riabilitativa.

In particolare:

- per la misura dell'autonomia è stata utilizzata la parte "mobilità" della scala SCIM III che va a esplorare le aree in cui il controllo del tronco è messo maggiormente alla prova (trasferimenti letto-carrozzina, carrozzina-wc, terreno-carrozzina, auto-spinta in carrozzina in ambienti interni ed esterni, trasferimenti carrozzina-auto) [26];
- il livello di controllo del tronco è stato valutato attraverso la Thoracic-Lumbar Control Scale e il Trunk Control Test for Spinal Cord Injury [25] [24];
- per il livello neurologico lesionale è stata utilizzata la classificazione ASIA ("gold standard" nella pratica clinica della riabilitazione del mieloleso) [8];
- il giudizio di completezza della lesione midollare è invece stato valutato attraverso l'AIS (Asia Impairment Scale);

Durante l'esecuzione del Trunk Control Test for Spinal Cord Injury, il paziente ha indossato due sensori di movimento wireless posti uno all'altezza della settima vertebra cervicale e l'altro all'altezza della quarta vertebra lombare mediante l'utilizzo di un cerotto chirurgico ipoallergenico. I segnali acquisiti venivano inviati in tempo reale tramite connessione Bluetooth ad uno smartphone con sistema operativo Android, controllato dal terapeuta. In un secondo momento i dati ottenuti sono stati inviati ai ricercatori dell'Università di Bologna che si sono occupati dello sviluppo degli algoritmi di analisi dei segnali per la derivazione di parametri descrittivi unitamente alle analisi statistiche per valutare l'associazione tra le valutazioni cliniche e le misure strumentali.

Tutti i soggetti arruolati sono stati trattati presso il Montecatone Rehabilitation Institute secondo trattamento riabilitativo standard.

Raccolta dati

Per tutti i soggetti in studio sono stati trascritti nella CRF i dati relativi all'anamnesi patologica e farmacologica. Le valutazioni sono state eseguite in determinati momenti:

T0: a 15 gg dal ricondizionamento alla posizione seduta del paziente libero da ortesi;

T1: alla dimissione;

T2: a 4-6 mesi dalla dimissione (follow up);

T3: a 18 mesi circa dalla dimissione (follow up).

Con tale tempistica, sono stati indagati i parametri vitali e antropometrici: peso (Kg), altezza (cm) e Body Mass Index (Kg/cm^2); si sono poi determinati l'indice di comorbilità (Scala CIRS e relativo indice), la classificazione neurologica della lesione spinale e del livello di completezza lesionale (Classificazione ASIA e scala AIS).

Come visto, per valutare il livello di autonomia raggiunta è stata utilizzata la parte sulla mobilità della scala SCIM III, mentre per la valutazione funzionale del controllo del tronco sono state utilizzate la Thoracic-Lumbar Control Scale e il Trunk Control Test for Spinal Cord Injury.

La valutazione funzionale con sensori di movimento è stata eseguita per due volte nel corso della stessa sessione, intervallate da un eventuale e adeguato periodo di riposo; in questo modo è stato possibile valutare la ripetibilità degli score clinici e delle misure strumentali.

In generale, l'esaminatore ha utilizzato alternativamente istruzioni verbali e/o dimostrazioni, se necessario, per garantire al soggetto di capire quale movimento gli fosse richiesto.

Durante tutti i test funzionali e le relative valutazioni, al soggetto non è stato consentito l'utilizzo di ortesi o ausili.

Capitolo 4: ANALISI DEI DATI E DEI RISULTATI

4.1 Descrizione degli studi

La registrazione dei dati dei pazienti rientranti nello studio è avvenuta tramite le apposite scale di valutazione, precedentemente viste [24] [25] [26]; successivamente i punteggi sono stati riportati in formato elettronico Excel. L'elaborazione e l'analisi è stata svolta in collaborazione con statistici dell'Università di Bologna con l'obiettivo principale di indagare la correlazione tra la variazione nel tempo delle scale di controllo del tronco e il grado di autonomia (SCIM mobilità).

Analisi statistica

I dati sono stati riassunti come media \pm deviazione standard (sd) per le variabili numeriche come i punteggi della SCIM, mentre per le variabili ordinali come gli item delle scale del tronco sono stati impiegati mediana e range inter-quartile (1°Q – 3°Q). Le variabili categoriche sono state descritte attraverso frequenze e proporzioni.

Per ogni scala è stata calcolata la variazione tra tempi adiacenti ($\Delta T1-T0$, $\Delta T2-T1$, $\Delta T3-T2$), che rappresenta il guadagno in mobilità, autonomia o nel controllo del tronco. La variazione delle scale nel tempo è stata indagata con un modello di regressione lineare a effetti misti per la scala SCIM e attraverso il test non parametrico di Wilcoxon per misure ripetute per gli item delle scale del tronco. I risultati di quest'analisi sono stati riportati graficamente attraverso diagrammi a dispersione in cui il tempo è rappresentato sull'asse delle ascisse e la media della scala sull'asse delle ordinate.

In caso di variazioni significative (valore $p < 0,05$) negli item delle scale TLC e TCTSCI, la correlazione tra queste e la variazione della scala SCIM è stata indagata attraverso il coefficiente di correlazione di Spearman (correlazione positiva $\geq 0,2$).

4.2 Risultati preliminari sulla correlazione tra scale di valutazione

Popolazione

Considerando l'outcome primario, la dimensione del campione stimata all'inizio dello studio era di 90 soggetti; un tale numero avrebbe permesso di verificare anche associazioni deboli. Effettivamente sono stati reclutati un totale di 42 pazienti, 31 maschi e 11 femmine, di età compresa tra 18 e 60 anni. Tre pazienti sono stati esclusi dallo studio: uno per la comparsa di un punteggio motorio negli arti inferiori classificabile come AIS C; gli altri hanno

abbandonato al follow-up dopo la dimissione a causa della distanza tra la città di residenza e l'ospedale. Di conseguenza, l'analisi ha incluso 39 pazienti, di questi abbiamo dati per:

- tutti i 39 (100%) alla dimissione (T1);
- 29 (74%) al 1° follow-up a 6 mesi (T2);
- 23 (59%) al secondo follow-up a 18 mesi (T3).

I pazienti inclusi sono prevalentemente maschi (29 = 74%) e hanno un'età media di 38 ± 13 anni. All'ingresso, il 44% (n = 17) aveva un livello di lesione elevato (T1-T4), il 28% (n = 11) livello di lesione tra T5 e T8 e il restante 28% tra T9 e L1.

Grafici e tabelle riassuntive

Di seguito sono riportati grafici e tabelle risultanti dagli studi preliminari per indagare la correlazione tra la variazione nel tempo delle scale di controllo del tronco e il grado di autonomia.

L'analisi poteva essere stratificata per gruppi di livello lesionale: (1) T1-T4 toracici alti, (2) T5-T8 toracici medi, (3) T9-L1 toracici bassi. Tuttavia in nessuno momento la SCIM ha differito significativamente tra i 3 livelli lesionali (p-value > 0,05) [Tabella 6].

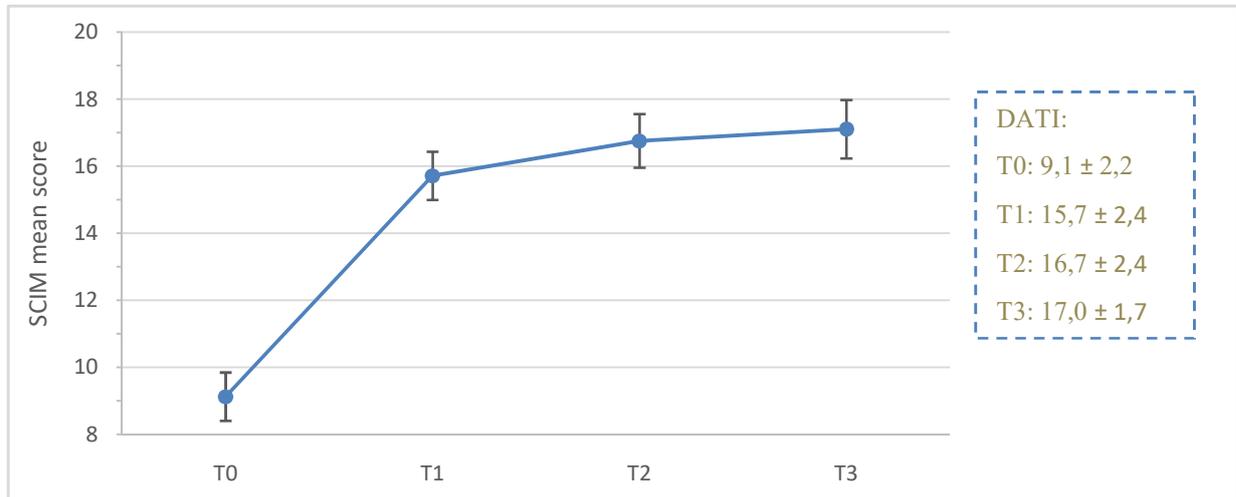
Considerando questo risultato e la bassa dimensione del campione, si è deciso di non suddividere i pazienti per livello di lesione al fine di ottenere una certa robustezza dei risultati.

	<i>T0</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>
<i>T1-T4</i>	9.2 ±2.3	15.4 ±2.3	16.0 ±2.2	15.8 ±1.5
<i>T5-T8</i>	8.6 ±2.1	15.6 ±1.5	17.7 ±1.6	17.3 ±2.2
<i>T9-L1</i>	9.5 ±2.3	16.3 ±3.1	16.7 ±2.8	17.6 ±1.1
<i>p-value</i>	0.627	0.390	0.252	0.073

Tabella 6. Media e deviazione standard della SCIM per gruppi di livello lesionale ai 4 tempi.

Osservando i dati medi raccolti nel corso dei follow up, si nota un chiaro miglioramento della performance e quindi dell'autonomia. Lo stesso si può evincere dal grafico 1: la scala SCIM varia significativamente nel tempo ed in particolare la variazione risulta significativa sia tra T0 e T1 ($p < 0.001$), che tra T1 e T2 ($p = 0.005$), mentre non lo è quella tra T2 e T3 ($p = 0.405$).

Grafico 1. Variazione del valore medio della scala SCIM nel tempo



Si riportano ora le variazioni nel tempo degli item della scala TLC: è stato calcolato il valore medio dello score ad ogni follow-up e ne è stata fatta una rappresentazione grafica: ci sono miglioramenti in alcuni item a T0 e T1 mentre non sono molto significativi a T2 e T3.

[Grafico 2-3-4]

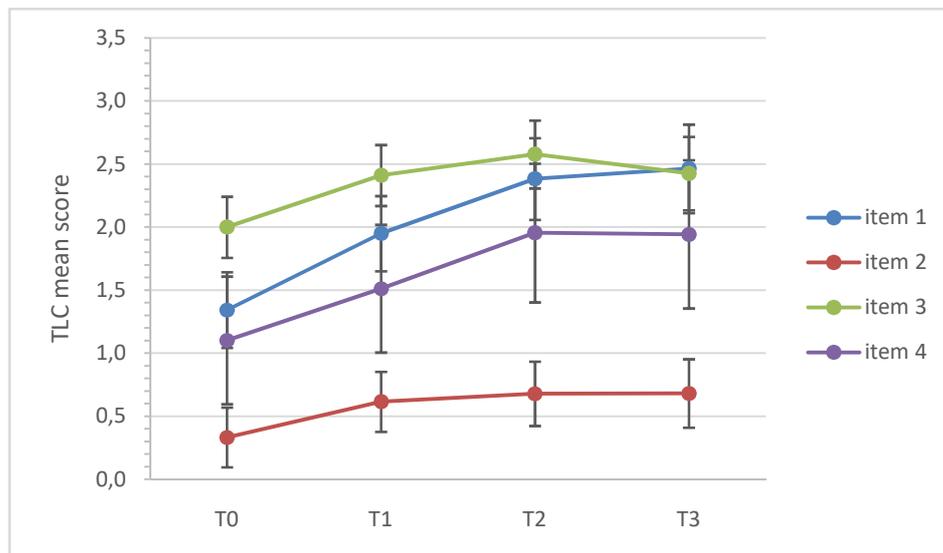


Grafico 2. Variazione nel tempo degli item 1-2-3-4 della scala TLC (media 95%CI)

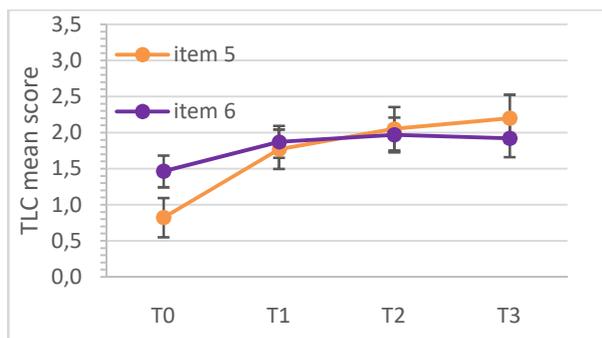


Grafico 3. Variazione nel tempo degli item 5-6 della scala TLC (media 95%CI)

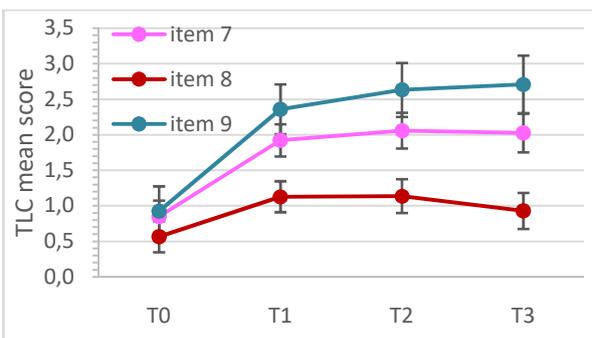


Grafico 4. Variazione nel tempo degli item 7-8-9 della scala TLC (media 95%CI)

Nella tabella sottostante [Tabella 7] sono riportati i risultati dei test che confrontano la distribuzione dei pazienti tra tempi adiacenti. Un p-value < 0.05 indica che la variazione tra i due tempi è significativa.

La variazione fra T0 e T1 è significativa per tutti gli item della scala TLC, tranne item 10 che risulta=0 per tutti i pazienti in tutti i tempi. La variazione tra T1 e T2 è significativa solo per gli item 1-3-4-5 e 9, mentre in nessun caso risulta essere significativa la variazione tra T2 e T3.

	$\Delta T0-T1$	$\Delta T1-T2$	$\Delta T2-T3$
<i>Item 1</i>	<0.001	0.001	0.655
<i>Item 2</i>	0.005	0.083	1
<i>Item 3</i>	0.001	0.014	0.527
<i>Item 4</i>	0.004	0.001	0.707
<i>Item 5</i>	<0.001	0.020	0.317
<i>Item 6</i>	<0.001	0.479	0.157
<i>Item 7</i>	<0.001	0.157	0.317
<i>Item 8</i>	<0.001	0.564	0.173
<i>Item 9</i>	<0.001	0.014	0.655

Tabella 7. Significatività (p-value) della variazione tra tempi adiacenti degli item della scala TLC

Nei grafici 5-6-7 riportiamo invece i valori del punteggio medio ad ogni follow-up della scala TCTSCI:

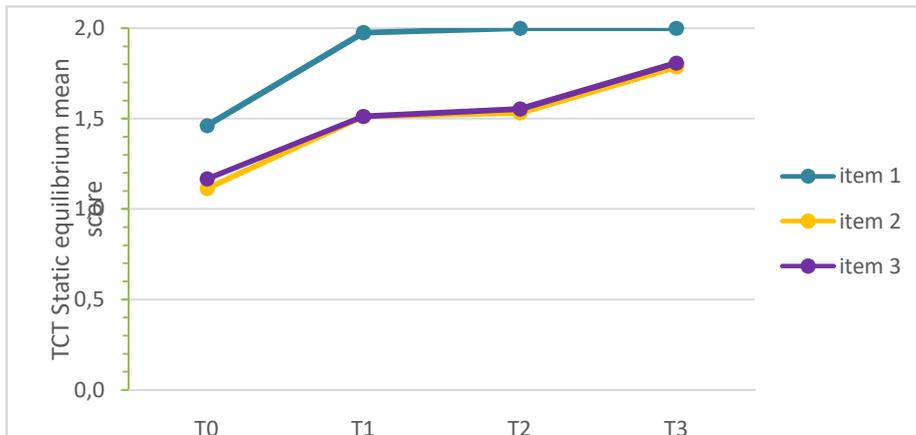


Grafico 5.
Variazione nel tempo degli item 1-2-3 della scala TCT Static Equilibrium (score medio)

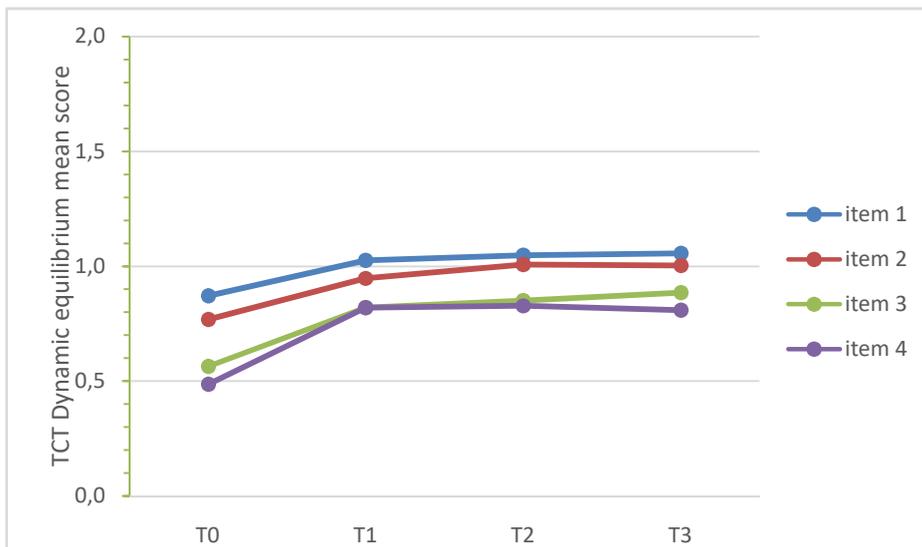


Grafico 6.
Variazione nel tempo degli item 1-2-3-4 della scala TCT Dynamic Equilibrium (score medio)

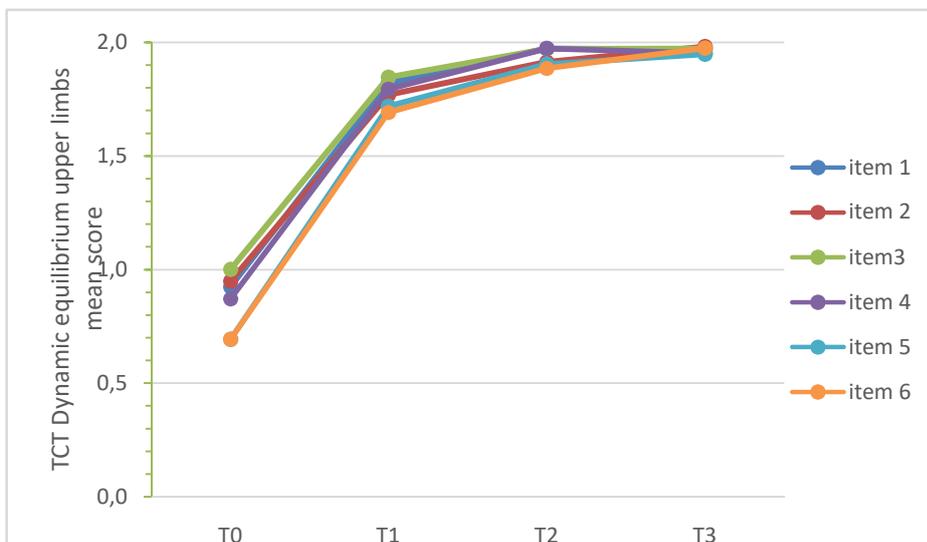


Grafico 7.
Variazione nel tempo degli item 1-2-3 della scala TCT Dynamic Equilibrium to carry out activity with upper limbs (score medio)

	$\Delta T0-T1$	$\Delta T1-T2$	$\Delta T2-T3$
Static equilibrium			
Item 1	<0.001	0.317	-
Item 2	0.002	0.317	0.157
Item 3	0.011	0.317	0.157
Dynamic equilibrium			
Item 1	0.014	0.317	-
Item 2	0.008	0.157	-
Item 3	0.006	1	1
Item 4	0.001	1	0.317
Dynamic equilibrium upper limbs			
Item 1	<0.001	0.157	-
Item 2	<0.001	0.083	0.317
Item 3	<0.001	0.157	-
Item 4	<0.001	0.083	-
Item 5	<0.001	0.025	0.157
Item 6	<0.001	0.025	0.083

Tabella 8. Significatività (p-value) della variazione tra tempi adiacenti degli item della scala TCTSCI

Nella tabella sopra [Tabella 8] sono riportati i risultati dei test che confrontano la distribuzione dei pazienti tra tempi adiacenti.

Per tutti gli item della scala TCTSCI la variazione risulta significativa tra T0 e T1; per gli item 5 e 6 della componente dynamic equilibrium upper limbs risulta significativa anche la variazione tra T1 e T2, mentre per nessun item risulta significativa la variazione tra T2 e T3. In particolare per molti pazienti risulta esserci stabilità tra T2 e T3; ciò rende inutile l'applicazione del test statistico (“-” nella tabella).

Correlazioni di spearman tra Δ SCIM e Δ item scale del tronco

Le tabelle di seguito [Tabelle 9 e 10] riportano l'indice di correlazione di Spearman tra la variazione della scala SCIM e la variazione degli item delle scale del tronco. In verde sono riportate le correlazioni positive ≥ 0.2 ; non sono invece prese in considerazione le correlazioni negative poiché ci interessa solo sapere se a miglioramento della scala del tronco corrisponde miglioramento della SCIM.

*Nella maggior parte dei casi a miglioramento della scala SCIM **non** corrisponde un miglioramento nelle attività rappresentate dagli item delle scale di controllo del tronco.*

La variazione della scala SCIM durante il ricovero risulta lievemente correlata alla variazione dell'item 2 della scala TLC ($r=0.217$) e agli item 2-3 static equilibrium della scala TCTSCI. Inoltre c'è una correlazione di grado lieve anche tra la variazione della SCIM tra T1 e T2 e la variazione degli item 5-6 Dynamic equilibrium upper limbs della scala TCTSCI ($r=0.318$) e dell'item 5 della scala TLC ($r=0.225$).

Tabella 9. Correlazione tra Δ SCIM e Δ item TLC

	$\Delta T0-T1$	$\Delta T1-T2$
Item 1	0.090	-0.037
Item 2	0.217	
Item 3	-0.271	0.021
Item 4	-0.246	-0.068
Item 5	0.098	0.225
Item 6	-0.004	
Item 7	-0.117	
Item 8	-0.273	
Item 9	-0.007	-0.077

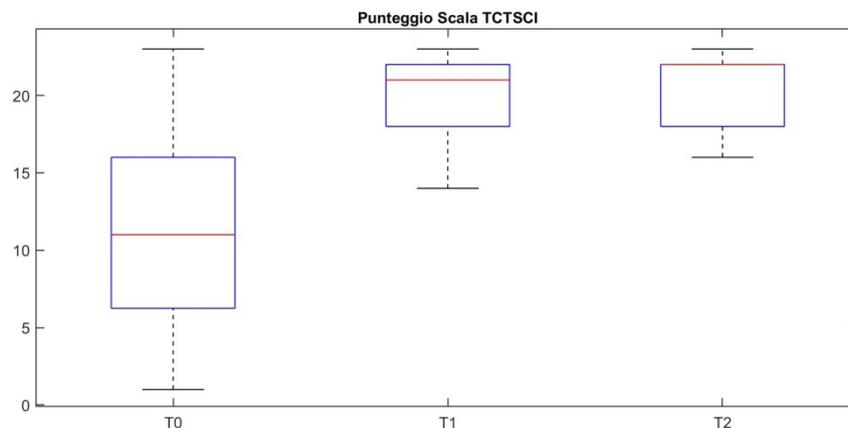
Tabella 10. Correlazione tra Δ SCIM e Δ item TCTSCI

	$\Delta T0-T1$	$\Delta T1-T2$
Static equilibrium		
Item 1	0.056	
Item 2	0.187	
Item 3	0.205	
Dynamic equilibrium		
Item 1	-0.260	
Item 2	-0.031	
Item 3	-0.186	
Item 4	-0.093	
Dynamic equilibrium upper limbs		
Item 1	-0.122	
Item 2	0.055	
Item 3	0.002	
Item 4	-0.215	
Item 5	-0.258	0.318
Item 6	-0.204	0.318

4.3 Risultati preliminari sull'utilizzo di sensori inerziali di movimento

Soggetti inclusi nell'analisi e Grafici riassuntivi

Per questa parte dello studio sono stati inclusi tutti quegli individui (27 soggetti) con differenza di punteggio nella scala TCTSCI minore o uguale a 3 tra T2 e T1. In particolare è stata evidenziata una sola variazione di 3 punti, tutte le altre avevano un valore 2 o inferiore. Per questo gruppo di soggetti infatti, la variazione della TCTSCI tra T0 e T1 è molto significativa come per tutti i soggetti in generale, mentre se si osserva la variazione tra T1 e T2 non ci sono molte differenze statisticamente significative.

**Grafico 8:** Box Plot relativo al Punteggio della scala TCTSCI nei tempi T0, T1 e T2

In particolare hanno mostrato variazioni statisticamente significative tra T2 e T1 gli items 1 e 4:

ITEM 1 – Oscillazione Posturale da Seduto:

Osservando la velocità media dell'oscillazione a livello di C7 [Grafico 9], si notano riduzioni statisticamente significative sia tra T0 e T1, sia tra T1 e T2. Tale riduzione della velocità è un segno di miglioramento del controllo posturale in termini di equilibrio.

Lo stesso si osserva anche per quanto riguarda lo scarto quadratico medio⁶ della misura [Grafico 10]. Il fatto che sia velocità che scarto quadratico medio si riducono, significa che la velocità media di oscillazione è contenuta così come le sue variazioni. Ciò rappresenta una conferma del miglioramento del controllo dell'equilibrio.

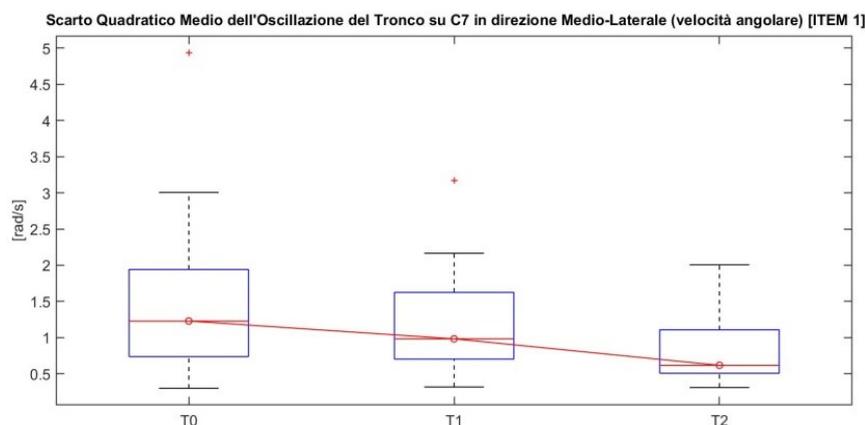


Grafico 9: Item 1 Box Plot relativo alla velocità media di oscillazione del tronco medio-laterale su C7

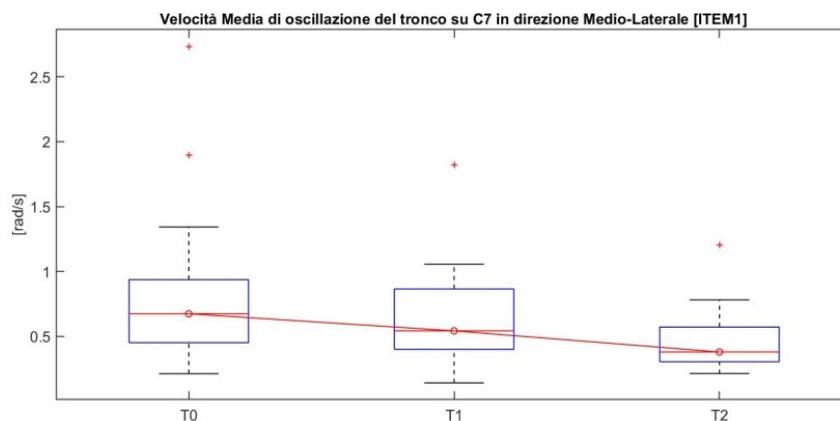


Grafico 10: Item 1 Box Plot relativo allo scarto quadratico medio dell'oscillazione del tronco in direzione medio-laterale a livello C7

⁶ Lo scarto quadratico medio è una misura di dispersione, il fatto che si riduca vuol dire che il valore del parametro varia meno intorno al suo valore medio

In direzione antero-posteriore, la frequenza di attivazione del controllo dell'equilibrio si riduce anch'essa significativamente tra T2 e T1, così come si era ridotta tra T1 e T0. La riduzione di questo valore (F50%)⁷ indica che il controllo dell'equilibrio ha bisogno di attivarsi meno spesso e di conseguenza i meccanismi di controllo sono più efficaci.

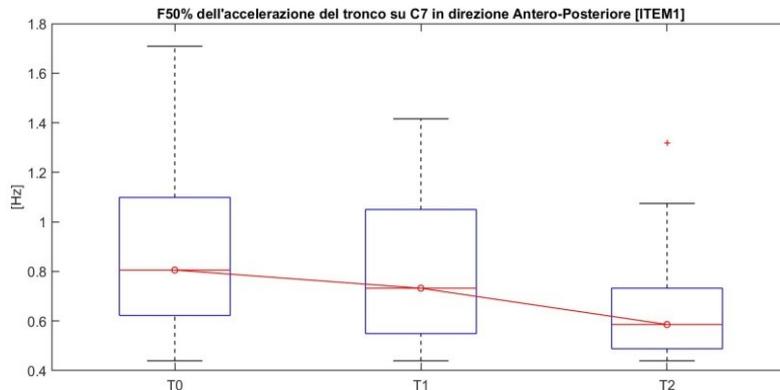


Grafico 11: Item 1 Box Plot relativo al valore F50% dell'accelerazione del tronco su C7 in direzione antero-posteriore.

Altro aspetto interessante del controllo dell'equilibrio si osserva sempre in direzione medio-laterale e considerando la differenza tra la variazione di velocità su C7 rispetto a L4 [Grafico 12]. I valori di questa differenza si portano più vicini allo zero tra T2 e T1 continuando la tendenza positiva che si aveva tra T1 e T0. Una differenza nulla vuol dire che la velocità di oscillazione della parte alta del tronco è la stessa della parte bassa del tronco e che quindi il tronco si comporta (almeno dal punto di vista della velocità di oscillazione) come un unico segmento. Anche su questo aspetto i pazienti migliorano ulteriormente e significativamente tra T2 e T1.

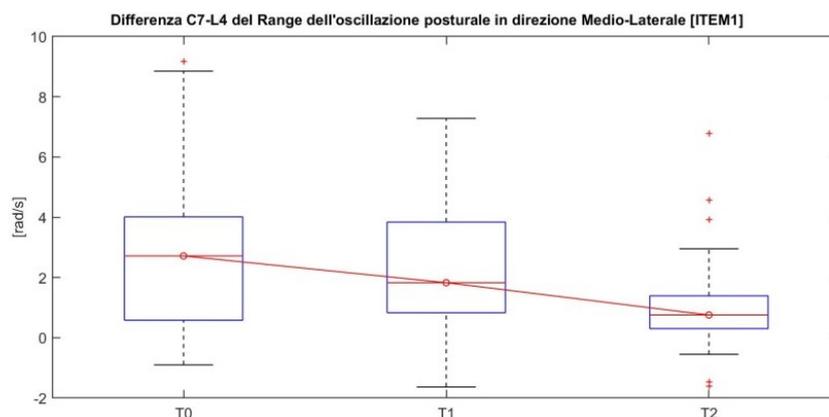


Grafico 12: Item 1 Box Plot relativo alla differenza di oscillazione posturale tra C7 ed L4 in direzione medio-laterale.

⁷ Il parametro f50% è una misura di quanto spesso il controllo dell'equilibrio debba attivarsi per mantenere il tronco in posizione verticale. Un valore di 1Hz significa che il controllo si attiva una volta al secondo, 0.5Hz vuol dire che il controllo si attiva ogni due secondi, 2Hz vuol dire che il controllo si attiva ogni mezzo secondo, etc.

ITEM4 – Toccarsi i Piedi

L'altro item che mostra variazioni statisticamente significativa tra T2 e T1, coerenti con le variazioni osservate tra T1 e T0, è quello in cui viene chiesto al paziente di toccarsi i piedi e tornare con il tronco in posizione verticale. La variazione è piuttosto ampia e “pulita” se si osserva l'accelerazione che ha il tronco durante l'esecuzione del task motorio nella direzione antero-posteriore (che è quella del movimento) a livello di L4. I pazienti avevano già raggiunto valori maggiori di accelerazione in T1 ma sono ulteriormente e significativamente migliorati in T2.

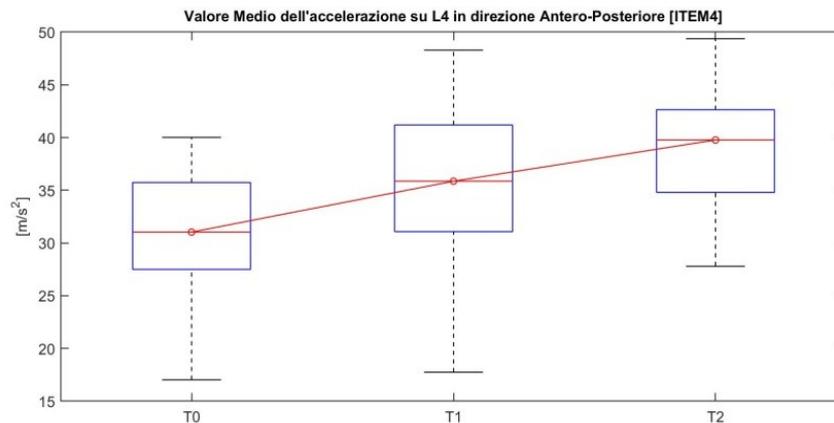


Grafico 13: Item 4 Box Plot relativo al valore medio dell'oscillazione su L4 in direzione antero-posteriore.

DISCUSSIONE

Sintesi dei risultati

Lo scopo dello studio è stato quello di valutare la correlazione tra controllo del tronco e autonomia raggiunta nel soggetto con lesione completa del midollo spinale dorsale, monitorandola dalla fase acuta, al follow up a 18 mesi. Dai dati analizzati è emerso che non c'è correlazione tra SCIM III (motoria) e scale di valutazione. Solo per alcuni item esiste una correlazione positiva di grado lieve: “incrocia un arto inferiore sull'altro” e “passaggio supino-seduto”, ma il più evidente è il “reaching a 45°” (punti 5 e 6 Equilibrio dinamico arti superiori della scala TCTSCI).

Dall'analisi statistica risulta che i pazienti migliorano le proprie autonomie (SCIM) nel corso della degenza ma anche dopo la dimissione [Grafico 1]. Certamente la variazione più significativa si evidenzia nel passaggio da T0 a T1 in quanto è proprio durante l'ospedalizzazione che la riabilitazione è più intensiva ed i pazienti sperimentano il recupero motorio maggiore. Si conferma dunque che il lavoro specifico di rinforzo del tronco e miglioramento dell'equilibrio è essenziale per avere una corrispondenza nel raggiungimento dell'autonomia anche se i dati raccolti non mostrano significatività statistica.

- Analizzando i dati per gruppo, la correlazione risultava significativa per alcuni elementi del test, ma non riproducibile per gli altri gruppi omogenei. Pertanto, poiché i sottogruppi erano numericamente bassi, si è deciso di analizzare il campione totale.

Alla dimissione i pazienti raggiungono un discreto controllo del tronco mentre una volta rientrati a domicilio sperimentano e affinano tutte quelle strategie soggettive e personali che consentono loro di affrontare sempre meglio le attività della vita quotidiana.

- Secondo la letteratura, ciò che incide sono sicuramente il livello di ASIA, ma anche l'istituzione dei compensi motori personali.

Tale miglioramento non viene però correttamente oggettivato dalle scale di valutazione validate per il controllo del tronco. In particolare la TCTSCI, considerata in letteratura il *gold standard*, evidenzia variazioni significative solo nel $\Delta T0-T1$ mentre successivamente si dimostra non essere in grado di individuare e discriminare, mediante i punteggi previsti, le differenze nelle performance. Queste scale possono quindi essere sfruttate in acuto ma sono poco efficaci nel cronico a causa anche dei punteggi poco variabili assegnabili ad ogni item.

I coefficienti di Spearman sottolineano poi l'assenza di correlazioni positive "forti" tra la SCIM III e le scale di valutazione del controllo del tronco, ciò implica che, come precedentemente notato, nella maggior parte dei casi, a miglioramento della scala SCIM non corrisponde un miglioramento nelle attività rappresentate dagli item delle scale di controllo del tronco.

Per quanto riguarda la parte dello studio relativa all'utilizzo di sensori inerziali indossabili, si è scelto di inserire pochi dati preliminari senza riportare la totalità delle analisi statistiche più approfondite che hanno invece dimostrato la necessità di nuovi studi da costruire ad hoc.

I grafici riportati hanno mostrato come si siano ottenuti risultati interessanti solo per quanto riguarda gli item 1 e 4 della scala TCTSCI. Essi infatti sono quelli che hanno mostrato una variazione statisticamente significativa anche post dimissione (tra T1 e T2).

Globalmente, questa seconda parte, purtroppo non ha, ad ora, dimostrato l'esistenza di valide correlazioni fra i dati di misura ottenuti con scale di misura clinica ed i parametri rilevati attraverso sensori inerziali di movimento. Tuttavia i due item analizzati consentono di avere un quadro più definito ed oggettivo del miglioramento del controllo del tronco che queste persone sperimentano grazie all'intervento riabilitativo (T1) e dopo il ritorno a domicilio (T2). Come visto nel Capitolo 2, questi soggetti sviluppano gradualmente specifiche sinergie motorie, finalizzate al controllo del bilanciamento in posizione seduta, coinvolgenti anche muscoli non posturali, che consentono loro la riduzione delle oscillazioni posturali e della loro velocità, assieme ad un miglioramento, in termini di sicurezza, nell'attuazione di movimenti dalla posizione seduta. Un valore alto nell'item 4, quando non è dovuto ad una caduta, è infatti indice del fatto che il movimento richiesto viene effettuato con decisione e sicurezza.

Limiti

Sicuramente uno dei principali limiti di questo studio è la scarsa numerosità della popolazione esaminata; la dimensione del campione stimata all'inizio dello studio era di 90 soggetti ma ne sono stati reclutati solamente 39. Ciò è dipeso dalla scelta iniziale di condurre uno studio monocentrico, che non è stato in grado di fornire una panoramica generale sufficiente come invece sarebbe successo se si fosse scelta una modalità multicentrica. I criteri di inclusione dei pazienti poi, sono risultati particolarmente stringenti data l'epidemiologia attuale delle lesioni midollari. In questi ultimi anni si è registrato infatti un decremento della percentuale di lesioni complete [4] dunque la popolazione di paraplegici completi è diminuita notevolmente anche nell'Istituto interessato da tale studio.

Come visto, anche non essere stati in grado di stratificare i soggetti nei tre gruppi è risultato un limite in quanto questo avrebbe potuto consolidare i risultati ottenuti, suddividendoli in gruppi omogenei in base al risparmio motorio dei muscoli del tronco. Ciò ha dunque comportato l'impossibilità di indagare eventuali correlazioni tra tipologia di lesione e competenze motorie acquisite.

Ulteriore problematica riscontrata sono stati i *lost to follow-up*, ovvero i pazienti che non hanno completato tutte le rilevazioni in quanto hanno interrotto i propri rientri ospedalieri. Probabilmente anche questo aspetto avrebbe inciso inferiormente se la popolazione fosse stata più vasta.

CONCLUSIONI

Come visto nel Capitolo 2, definire il recupero del controllo del tronco nel soggetto con lesione del midollo spinale non è facile. Ciò che consente al paraplegico di raggiungere l'autonomia non è infatti solo il risparmio motorio dei muscoli del tronco, ma anche la capacità di utilizzare strategie e compensi alternativi. Inoltre, l'innervazione multimetamerica che caratterizza il tronco non consente di definire chiaramente l'esito motorio in base al livello neurologico della LM.

Ciò che appare chiaro è invece come la riabilitazione del tronco risulti, soprattutto in un primo momento, fondamentale per garantire a queste persone il raggiungimento della massima autonomia. Per favorire ulteriormente questo recupero, sarebbe però necessario disporre di strumenti di valutazione clinica e funzionale migliori per quantificare il controllo motorio residuo del tronco.

Quello che questa tesi ha voluto mettere in luce è che tutt'oggi, nonostante un buon controllo del tronco risulti fondamentale per la persona con lesione midollare, scarse sono le scale utilizzate per questa valutazione. Tra queste poi, anche quelle reputate migliori non sono sufficientemente capaci di fornire un quadro del cambiamento delle capacità e delle funzionalità che invece questi pazienti acquisiscono e migliorano nel tempo.

L'aumento dei valori della SCIM III, registrato anche dopo la dimissione non è correlato ad un aumento dei punteggi sulle scale di controllo del tronco, dimostrando che le persone con SCI continuano a migliorare in termini funzionali non solo grazie al controllo del tronco, come valutato da queste scale, ma anche grazie ad altri fattori, quali sinergie e strategie soggettive.

I test utilizzati e convalidati sono infatti utili per la valutazione acuta ma non sono sensibili ad alcun miglioramento nel controllo del tronco nel follow-up per le persone con paraplegia completa.

È per questo motivo che si è cominciato a pensare alla possibilità di introdurre l'utilizzo di sensori inerziali indossabili come valida alternativa in grado di fornire risultati più validi, completi ed oggettivi.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Di seguito sono riportate bibliografia e sitografia in ordine di citazione all'interno dell'elaborato di tesi. Tutti i riferimenti dei siti sono stati rivalutati in data 15/11/2020 per verificarne l'accesso.

1. Marchetti M., Pillastrini P.: Neurofisiologia del movimento. Anatomia, biomeccanica, chinesologia , clinica. Padova, Piccin, 1997. 219-284
2. Martini F., Nath J.: Fondamenti di anatomia e fisiologia. III edizione, trad. it. a cura di G. Bovo, N. Gaglino, S. Galli, S.L. Nori, A. Pacini, E. Weber. Napoli, EdiSES, 2010. 430- 439,
3. Schünke M., Schulte E., Schumacher U.: Prometheus. Atlante di anatomia generale e apparato locomotore. II edizione, trad. it. a cura di Eugenio Gaudio. Napoli, EdiSES, 2014. 76-97
4. Il percorso assistenziale integrato della persona con lesione midollare in emilia-romagna. Regione Emilia-Romagna, Deliberazione della giunta regionale 28 ottobre 2019, n. 1798. Disponibile: <https://bur.regione.emilia-romagna.it/dettaglio-inserzione?i=37a465c22e394fc8b57bb3d33b5dafac>
5. Prospettive Internazionali sulla lesione del midollo spinale, trad. it a cura dalla SIMFER in collaborazione con la FAIP. Società Italiana di Medicina Fisica e Riabilitativa, 2015. Disponibile: <http://www.quotidianosanita.it/allegati/allegato4505005.pdf>
6. La Lesione al midollo spinale. Disponibile: <http://www.faiponline.it/drupal/node/13>
7. Lotta S.: La Riabilitazione Del Soggetto Mieloleso. In: Basaglia N.: Medicina riabilitativa. Medicina fisica e riabilitazione. Principi e pratica. Vol. III Neuroriabilitazione, II edizione. Napoli, Idelson-Gnocchi, 2009. 2317-2386
8. International Standards for Neurological Classification of SCI (ISNCSCI) Worksheet. Updated in 2019. Disponibile: <https://asia-spinalinjury.org/>
9. Alizadeh A, Dyck SM, Karimi-Abdolrezaee S. Traumatic Spinal Cord Injury: An Overview of Pathophysiology, Models and Acute Injury Mechanisms. Front Neurol. 2019; 10: 282.
10. Spinal Cord Injury Research evidence. Outcome Measures. Spinal Cord Independence Measure (SCIM). Disponibile: <https://scireproject.com/>
11. Hachem LD, Ahuja CS, Fehlings MG. Assessment and management of acute spinal cord injury: From point of injury to rehabilitation. J Spinal Cord Med. 2017; 40(6): 665-675.
12. Ditunno JF, Little JW, Tessler A, Burns AS. Spinal shock revisited: a four-phase model. Spinal Cord. 2004;42(7):383-395.
13. Seelen HA, Potten YJ, Huson A, Spaans F, Reulen JP. Impaired balance control in paraplegic subjects. J Electromyogr Kinesiol. 1997;7(2):149-160.
14. Seelen HA, Potten YJ, Drukker J, Reulen JP, Pons C. Development of new muscle synergies in postural control in spinal cord injured subjects. J Electromyogr Kinesiol. 1998;8(1):23-34.
15. Potten YJ, Seelen HA, Drukker J, Reulen JP, Drost MR. Postural muscle responses in the spinal cord injured persons during forward reaching. Ergonomics. 1999;42(9):1200-1215.

16. Seelen HA, Potten YJ, Adam JJ, Drukker J, Spaans F, Huson A. Postural motor programming in paraplegic patients during rehabilitation. *Ergonomics*. 1998;41(3):302-316.
17. Milosevic M, Yokoyama H, Grangeon M, et al. Muscle synergies reveal impaired trunk muscle coordination strategies in individuals with thoracic spinal cord injury. *J Electromyogr Kinesiol*. 2017;36:40-48.
18. Milosevic M, Gagnon DH, Gourdou P, Nakazawa K. Postural regulatory strategies during quiet sitting are affected in individuals with thoracic spinal cord injury. *Gait Posture*. 2017;58:446-452.
19. Ilha J, Abou L, Romanini F, Dall Pai AC, Mochizuki L. Postural control and the influence of the extent of thigh support on dynamic sitting balance among individuals with thoracic spinal cord injury. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2020;73:108-114.
20. Wang YJ, Li JJ, Zhou HJ, et al. Surface electromyography as a measure of trunk muscle activity in patients with spinal cord injury: a meta-analytic review. *J Spinal Cord Med*. 2016;39(1):15-23.
21. Chen CL, Yeung KT, Bih LI, Wang CH, Chen MI, Chien JC. The relationship between sitting stability and functional performance in patients with paraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84(9):1276-1281.
22. Tse CM, Chisholm AE, Lam T, Eng JJ; SCIRE Research Team. A systematic review of the effectiveness of task-specific rehabilitation interventions for improving independent sitting and standing function in spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2018;41(3):254-266.
23. Abou L, de Freitas GR, Palandi J, Ilha J. Clinical Instruments for Measuring Unsupported Sitting Balance in Subjects with Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2018;24(2):177-193.
24. Quinzaños J, Villa AR, Flores AA, Pérez R. Proposal and validation of a clinical trunk control test in individuals with spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2014;52(6):449-454
25. Pastre, C., Lobo, A., Oberg, T. et al. Validation of the Brazilian version in Portuguese of the Thoracic-Lumbar Control Scale for spinal cord injury. *Spinal Cord* 49, 1198–1202.
26. Bonavita J, Torre M, China S, Bressi F, Bonatti E, Capirossi R, Tiberti S, Olivi S, Musumeci G, Maietti E, Fekete C, Baroncini I, Brinkhof MW, Molinari M, Scivoletto G. Validation of the Italian version of the Spinal Cord Independence Measure (SCIM III) Self-Report. *Spinal Cord*. 2016 Jul;54(7):553-60.

RINGRAZIAMENTI

Sono poche le occasioni in cui si ha la possibilità di dire pubblicamente “grazie”, per questo, a conclusione di questo elaborato, desidero ringraziare tutte le persone che in un certo senso hanno collaborato alla realizzazione del mio lavoro di tesi.

Per prime vorrei ringraziare Marica Fontana e Paola Paglierani, relatrice e correlatrice di tesi, per avermi guidata in uno dei momenti più importanti del mio percorso formativo. Le ringrazio soprattutto per la disponibilità e l’aiuto dimostrati anche in momenti difficili e pieni di impegni.

Ringrazio l’Istituto Riabilitativo di Montecatone per avermi dato la possibilità di svolgere il mio lavoro di tesi in un luogo interessante e dinamico, ma anche per avermi accolto più volte in questi anni per lo svolgimento di tirocini sempre molto formativi; ma anche per avermi fatto incontrare persone straordinarie che rimarranno sempre nel mio cuore.

Grazie ai miei genitori, che con i loro sacrifici mi hanno permesso di percorrere questa strada. Grazie per il vostro supporto, per la vostra presenza.

Grazie a mia sorella, la mia prima metà, con cui ho sempre condiviso tutto.

Chi mi ha sopportato di più è però stato indubbiamente Luca, capace di calmarmi quando l’ansia prendeva il sopravvento, capace di offrirmi supporto e confronto, anche “professionali”, durante tutti questi anni.