

Tesi di Laurea: “La neuronavigazione nelle stabilizzazioni spinali del distretto toraco-lombare. Innovazione tecnologica in chirurgia spinale mininvasiva”. (Sintesi)

Autore: C. Perrone

Relatore: P. Lunardi

Introduzione

Per stabilizzazione del rachide s'intende la procedura con cui, mediante l'ausilio di mezzi di sintesi come viti e barre in titanio, si elimina un movimento segmentale patologico ed i sintomi ad esso connessi, ottenendo un'osteosintesi che funga da ponte tra i livelli precedentemente mobili.

Tutte le condizioni traumatiche, degenerative, neoplastiche o di osteoporosi che compromettono la stabilità di 2 colonne su 3 (secondo il modello di Denis), trovano indicazione all'intervento di stabilizzazione spinale con posizionamento di viti e barre.

Lo scopo è, dunque, quello di rinforzare il rachide ormai indebolito e di renderlo nuovamente in grado di sopportare il peso corporeo nelle varie attività quotidiane del paziente.

La tecnica più moderna di stabilizzazione vertebrale prevede l'inserimento di viti trans-peduncolari mediante l'uso del neuronavigatore, un'importante innovazione di cui tuttavia, va riscontrata la reale utilità ed efficacia, mediante un'analisi costi benefici¹.

Scopo

L'obiettivo del nostro studio sperimentale è di valutare, sulla base dell'esperienza del Dipartimento di Neurochirurgia dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata, se la modernizzazione apportata dalla neuronavigazione nella chirurgia di vertebrale strumentata abbia effettivamente conferito un vantaggio, in termini di costo - efficacia, rispetto alla tecnica standard guidata da immagini fluoroscopiche intraoperatorie.

L'unità di Neurochirurgia del Policlinico Tor Vergata utilizza attualmente una tecnica di stabilizzazione spinale in via percutanea con ausilio della neuronavigazione intraoperatoria.

In questo studio retrospettivo caso-controllo abbiamo confrontato i risultati ottenuti mediante l'uso del neuronavigatore con i nostri pregressi risultati tratti dal precedente metodo fluoroscopico.

In particolare, abbiamo comparato gli outcome ottenuti dai due bracci del nostro studio sperimentale: GRUPPO A contiene i pazienti che hanno effettuato un intervento di stabilizzazione con l'ausilio della fluoroscopia, mentre il GRUPPO B contiene i pazienti che hanno subito un intervento di stabilizzazione col supporto innovativo del neuronavigatore.

Materiali e metodi

Tra dicembre 2014 e giugno 2018, un totale di 43 pazienti sono andati incontro, presso il nostro nosocomio, ad intervento di chirurgia spinale per stabilizzazione del rachide mediante l'ausilio di mezzi di sintesi come viti trans-peduncolari e barre in titanio (Tab.1).

Caratteristiche	Valori
Numero di pazienti	43
Numero di viti	230
Sesso:	
• Maschi	21
• Femmine	22
Età:	
• Media	59,19
• Range	19-79
Diagnosi preoperatoria:	
• trauma	26 (60%)
• condizioni degenerative	11 (26%)
• fratture osteoporotiche	2 (5%)
• neoplasie	4 (9%)

Tab.1: riassunto demografico dei pazienti andati incontro a intervento di stabilizzazione

Dodici di loro (GRUPPO A) hanno subito un intervento di stabilizzazione con posizionamento di viti trans-peduncolari per via percutanea mediante l'ausilio della fluoroscopia; trentuno di loro (GRUPPO B) si sono sottoposti allo stesso intervento ma effettuato con l'ausilio del sistema di navigazione intraoperatorio.

Le procedure chirurgiche del gruppo A sono state eseguite da chirurghi esperti della colonna vertebrale, mentre quelle del gruppo B da chirurghi con iniziale esperienza in chirurgia spinale con circa 2 anni di esperienza in generale, di cui un chirurgo con 6 mesi di esperienza clinica specifica sulla navigazione spinale.

Per questo studio è stato utilizzato un fluoroscopio (Philips BV Pulsera) che si combina con i sistemi di navigazione Kick System (BrainLab) e lo strumentario Viper2 e Viper Prime (DePuy Synthes Spine).

Le cartelle cliniche e le immagini sono state esaminate retrospettivamente per documentare età, sesso, diagnosi, livelli di fissazione, complicanze intraoperatorie e postoperatorie e malposizionamento delle viti.

L'accuratezza del posizionamento delle viti peduncolari è stata valutata mediante scansione TC postoperatoria, che tutti i pazienti hanno effettuato non più di tre giorni dopo l'intervento, a differenza di molti altri centri che, basandosi sull'RX post-operatoria, tendono a sottostimare il grado di malposizionamento. Infatti, in generale, in letteratura si attestano bassi tassi di malposizionamento: Hicks et al.² nella loro review hanno riscontrato un mero tasso del 4,2% di malposizionamento di viti peduncolari.

Le violazioni del peduncolo sono state classificate secondo un sistema stabilito³:

1. VITE A RISCHIO (SAR= screw at risk): viti che sporgono medialmente per più di 4 mm, o viti che lateralmente o anteriormente toccano (distanza <1 mm tra la punta della vite e l'organo) strutture anatomiche come l'aorta, la trachea e l'esofago.
2. MALPOSIZIONAMENTO INDETERMINATO (IMP= indeterminate misplacement): le viti sporgono medialmente dai 2 ai 4 mm o viti che lateralmente o anteriormente sono adiacenti (distanza >1-2 mm tra la punta della vite e l'organo) alle strutture anatomiche suddette.
3. MALPOSIZIONAMENTO BENIGNO (BMP= benign misplacement): viti che violano il muro corticale ma che non mettono a rischio alcuna struttura.
4. POSIZIONATE ACCURATAMENTE (AP= accurately placed): viti completamente contenute nel peduncolo.

Quindi:

- GRADO AP (integrità del peduncolo) e GRADO BMP (0-2mm) indicano un corretto posizionamento.
- GRADO IMP (2-4mm) e GRADO SAR (>4mm) sono significativi di misplacement.

Abbiamo, perciò, considerato come "MISPLACEMENT" la violazione dell'integrità della corticale del peduncolo da parte di una vite che potrebbe per questo motivo necessitare di una revisione.

Analisi dei dati

La Tab. 2 riassume le caratteristiche di base dei pazienti sottoposti a posizionamento delle viti con fluoroscopia (GRUPPO A), mentre la Tab. 3 riassume quelle con il sistema di navigazione (GRUPPO B).

Nel gruppo A:

- Erano 6 uomini e 6 donne.
- L'età media dei pazienti era di 58,17 anni (range da 19 anni a 77 anni).

- La diagnosi più comune è stata la patologia traumatica che comprendeva il 50% dei pazienti. Altre diagnosi erano condizioni degenerative (16,67%), tumori (25%) e fratture osteoporotiche (8,33%).
- Durante il periodo di 43 mesi, ci sono state 68 viti posizionate in 12 pazienti con l'uso della fluoroscopia.
- Dei 12 pazienti, 7 (58,34%) sono stati sottoposti a 2 livelli di fissazione, 1 (8,33%) è stato sottoposto a 3 livelli, 3 (25%) sono stati sottoposti a 4 livelli, 1 (8,33%) ha subito un intervento chirurgico a 5 livelli.

Abbiamo constatato che su un totale di 68 viti peduncolari:

- tutte le viti sono state posizionate senza rottura;
- 57 sono risultate accuratamente posizionate (AP);
- 3 hanno avuto un corretto posizionamento anche se non sono perfettamente nel peduncolo (BMP);
- si sono verificati 8 (11,76%) malposizionamenti, tutti localizzati a livello della regione toracica, di cui 3 (37,5%) erano di tipo IMP e 5 (62,5%) di tipo SAR.
- Le violazioni di Grado IMP si sono verificate:
 - nel primo caso in un paziente (EG) che ha subito 2 livelli di fissazione ma la vite D12 sinistra sporge lateralmente;
 - nel secondo e terzo caso trattasi dello stesso paziente (FV) in cui entrambe le viti in D6 risultano sporgenti medialmente (D6 destra) e lateralmente (D6 sinistra).
- Le violazioni di Grado SAR riguardano lo stesso paziente (BL) che ha subito un intervento di stabilizzazione su 4 livelli in cui:
 - D5 sinistra sporge medialmente;
 - D6 sinistra sporge lateralmente avvicinandosi all'aorta;
 - D9 destra e D10 destra sporgono nel canale di 5mm;
 - D10 sinistra sporge lateralmente avvicinandosi all'aorta.Questo paziente è andato incontro ad intervento di revisione con riposizionamento di tutte le viti a rischio.
- Tre viti sul totale di 68 hanno fatto pull-out:
 - le viti in L3 del paziente GAL si sono mobilizzate dopo 8 giorni dall'intervento perciò sono state revisionate con rimozione delle viti in L3 e stabilizzazione su L2;
 - la paziente GB mobilizzazione della vite D12 destra ha scelto di effettuare l'intervento di revisione presso altra struttura.
- Nessun difetto durale o deficit neurologico si è verificato dopo gli interventi chirurgici.
- Il periodo medio di follow-up era di 8 mesi e variava tra 3 e 18 mesi.

Nel gruppo B:

- Erano 15 uomini e 16 donne.
- L'età media dei pazienti era di 59,58 anni (range da 30 anni a 79 anni).

- La diagnosi più comune è stata la patologia traumatica che comprendeva il 64,52% dei pazienti. Altre diagnosi erano condizioni degenerative (29,03%), tumori (3,23%) e fratture osteoporotiche (3,23%).
- Durante il periodo di 43 mesi, ci sono state 162 viti posizionate in 31 pazienti con l'uso del sistema di neuronavigazione.
- Nei 31 pazienti, 17 (54,84%) sono stati sottoposti a 2 livelli, 8 (25,81%) sono stati sottoposti a 3 livelli, 6 (19,35%) sono stati sottoposti a 4 livelli, nessuno ha subito un intervento chirurgico a 5 livelli.

Abbiamo constatato che su un totale di 162 viti peduncolari inserite:

- tutte le viti sono state posizionate senza rottura;
- 149 sono risultate accuratamente posizionate (AP);
- 6 hanno avuto un corretto posizionamento anche se non sono perfettamente nel peduncolo (BMP);
- si sono verificati 7 (4,32%) malposizionamenti, di cui 6 nella regione toracica e 1 in lombare;
- 6 (85,71%) erano di tipo IMP e solo 1 (14,29%) di tipo SAR;
- Le violazioni di Grado IMP si sono verificate:
 - in un paziente (SR) che ha subito 4 livelli di fissazione ma la vite D8 sinistra sporge medialmente nel canale vertebrale;
 - nel secondo e terzo caso trattasi dello stesso paziente (SAR) andato incontro a stabilizzazione su due livelli, in cui entrambe le viti in D12 risultano sporgenti lateralmente;
 - la quarta violazione (paziente PA) su un totale di 3 livelli di fissazione riguarda la vite D11 sinistra, la quale sporge medialmente;
 - la quinta e la sesta violazione si trovano nello stesso paziente (MAG) in cui su 4 livelli di fissazione, le viti D12 e L1 sinistre sporgono lateralmente.
- L'unica violazione di Grado SAR riguarda la paziente (LP) che ha subito un intervento di stabilizzazione su 2 livelli in cui la vite destra in D12 sporge nel canale midollare per più di 4mm. Questa paziente non è andata incontro ad intervento di revisione poiché fortunatamente è stato un malposizionamento clinicamente muto, perciò, si è preferito non reintervenire.
- In questo gruppo di pazienti non c'è stato alcun pull-out.
- Nessun difetto durale o deficit neurologico si è verificato dopo gli interventi chirurgici.
- Il periodo di follow-up è ancora in corso.

CARATTERISTICHE	VALORI		
N. PAZIENTI	12		
N. VITI	68		
SESSO	MASCHI	6	50,00%
	FEMMINE	6	50,00%
ETA'	MEDIA	58,17	
	RANGE	19-77	
DIAGNOSI	TRAUMA	6	50,00%
	CONDIZIONI DEGENERATIVE	2	16,67%
	FRATTURA OSTEOPOROTICA	1	8,33%
	NEOPLASTICO	3	25,00%
LAMINECTOMIA	SI	7	
	NO	5	
DURATA INTERVENTO	MEDIA	4:25	
ACCURATEZZA	AP	57	83,82%
	BMP	3	4,41%
	IMP	3	4,41%
	SAR	5	7,35%
REGIONE	TORACICA	2	17%
	TORACO-LOMBARE	6	50%
	LOMBARE	3	25%
	LOMBO-SACRALE	1	8%
LIVELLI DI FISSAZIONE	2	7	58,34%
	3	1	8,33%
	4	3	25%
	5	1	8,33%

Tab. 2: riassunto demografico dei pazienti con FLUOROSCOPIA

CARATTERISTICHE	VALORI		
N. PAZIENTI	31		
N. VITI	162		
SESSO	MASCHI	15	48,39%
	FEMMINE	16	51,61%
ETA'	MEDIA	59,58	
	RANGE	30-79	
DIAGNOSI	TRAUMA	20	64,52%
	CONDIZIONI DEGENERATIVE	9	29,03%
	FRATTURA OSTEOPOROTICA	1	3,23%
	NEOPLASIA	1	3,23%
LAMINECTOMIA	SI	9	
	NO	22	
DURATA INTERVENTO	MEDIA	3:25	
ACCURATEZZA	AP	149	
	BMP	6	
	IMP	6	
	SAR	1	
REGIONE	TORACICA	2	6,45%
	TORACO-LOMBARE	15	48,39%
	LOMBARE	10	32,26%
	LOMBO-SACRALE	4	12,90%
LIVELLI DI FISSAZIONE	2	17	54,84%
	3	8	25,81%
	4	6	19,35%

Tab. 3: riassunto demografico dei pazienti con NEURONAVIGATORE

Discussione

Il nostro approccio in entrambi i gruppi è stato di tipo percutaneo, che rispetto alla chirurgia open ha apportato diversi vantaggi: un'incisione cutanea più piccola, minori perdite ematiche, una degenza ospedaliera minore con mobilitazione possibile già in seconda giornata postoperatoria e una degenza complessiva spesso di solo due o tre giorni, meno algie nel postoperatorio, una convalescenza minore rispetto alla chirurgia convenzionale a "cielo aperto" grazie al minor danno muscolare arrecato.

Grazie all'uso della fluoroscopia, la frequenza del mal posizionamento delle viti è diminuita, ma si assesta comunque tra il 12% e il 21%⁴.

I nostri dati hanno mostrato che la navigazione fornisce maggiore accuratezza nel posizionamento delle viti peduncolari rispetto al metodo convenzionale, soprattutto in regione toracica, rimanendo comunque in linea con la letteratura.

Nel nostro studio abbiamo comparato i risultati di accuratezza, per singola regione vertebrale, del gruppo A con quelli del gruppo B. Ciò che abbiamo riscontrato è che nella regione LOMBARE i risultati di accuratezza sono molto simili tra i due gruppi e questo è giustificato dal fatto che l'inserimento di viti peduncolari in questa regione è più facile per i chirurghi rispetto a quella toracica in cui i peduncoli sono più stretti. È proprio nella regione toracica, invece, che abbiamo riscontrato una netta prevalenza di accuratezza nel gruppo B: con fluoroscopia su 30 viti posizionate in regione toracica solo 20 sono risultate accuratamente posizionate (66,67%) (Tab. 4 e grafico A); con neuronavigatore su 56 viti posizionate in regione toracica, 46 sono state accuratamente posizionate (82,14%) (Tab. 5 e grafico B).

Anche se i due bracci caso – controllo non sono perfettamente bilanciati per numero di pazienti (si noti che il numero di viti messe con neuronavigatore è più del doppio rispetto a quello con fluoroscopia) comunque i tassi sono stati standardizzati e riportati in percentuale perciò resta una sostanziale differenza del 15,47% tra i due gruppi che ci consente di affermare la migliore precisione apportata dal neuronavigatore almeno in regione toracica (Grafici C e D).

	AP	BMP	IMP	SAR	%AP	%BMP	%IMP	%SAR	%(AP+BMP)	%(IMP+SAR)
TORACICA	20	2	3	5	66,67%	6,67%	10,00%	16,67%	73,33%	26,67%
LOMBARE	33	1	0	0	97,06%	2,94%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%
SACRALE	4	0	0	0	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%

Tab. 4: grado di accuratezza per regione vertebrale nei pazienti trattati con FLUOROSCOPIA (gruppo A)

	AP	BMP	IMP	SAR	%AP	%BMP	%IMP	%SAR	%(AP+BMP)	%(IMP+SAR)
TORACICA	46	4	5	1	82,14%	7,14%	8,93%	1,79%	89,29%	10,71%
LOMBARE	96	2	1	0	96,97%	2,02%	1,01%	0,00%	98,99%	1,01%
SACRALE	7	0	0	0	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%

Tab. 5: grado di accuratezza per regione vertebrale nei pazienti trattati con NEURONAVIGATORE (gruppo B).

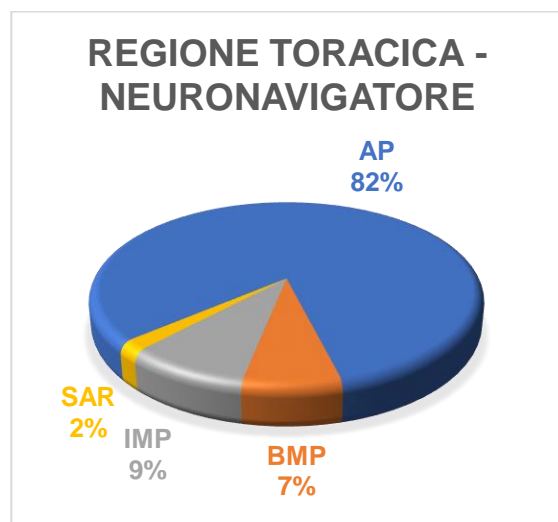
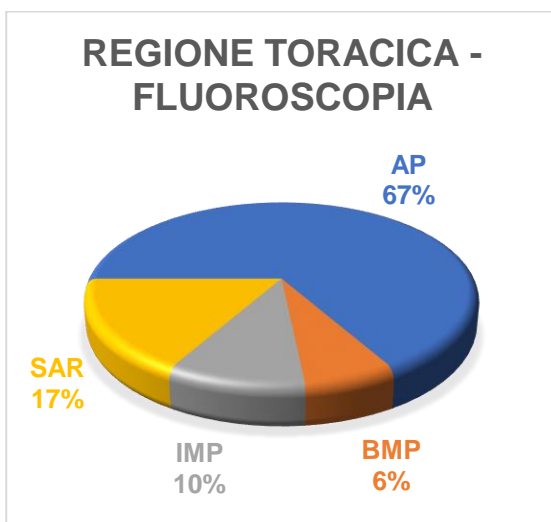


Grafico A: relativo ai dati riportati in Tab. 4

Grafico B: relativo ai dati riportati in Tab. 5

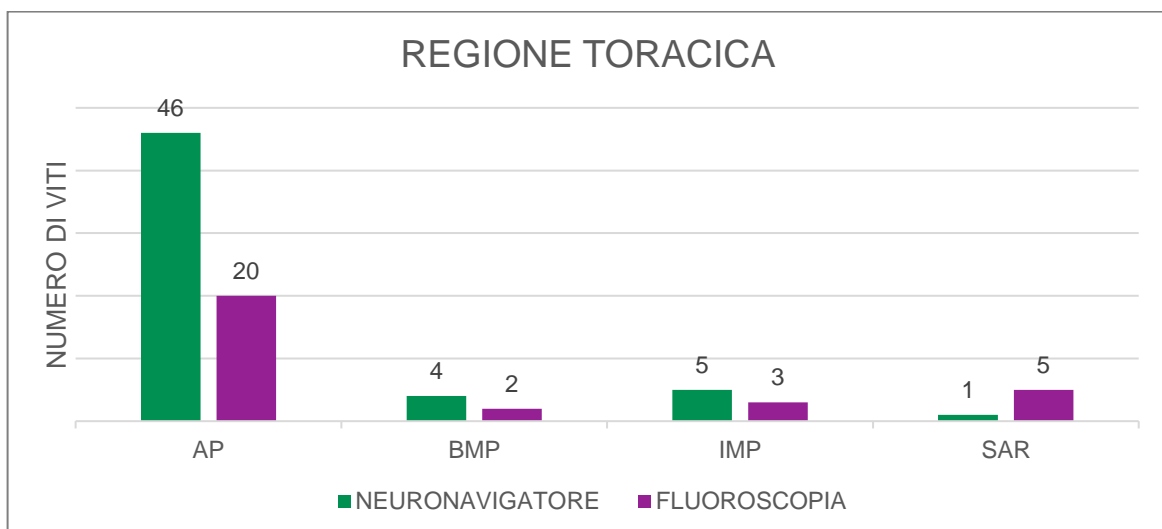


Grafico C: comparazione NEURONAVIGATORE VS FLUOROSCOPIA nella regione toracica

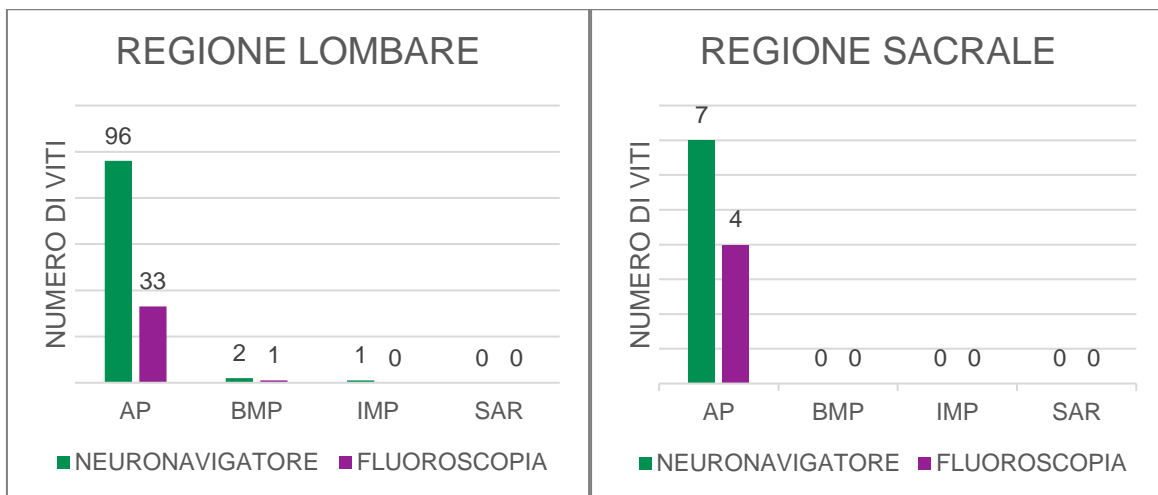


Grafico D: comparazione NEURONAVIGATORE VS FLUOROSCOPIA nelle regioni lombare e sacrale

Possiamo anche notare come aumentando il numero di viti posizionate con neuronavigatore aumenta anche l'accuratezza e questa constatazione ci riporta ad un altro punto chiave dell'uso del neuronavigatore: la curva d'apprendimento.

I componenti della curva di apprendimento comprendono la capacità di dirigere gli strumenti basandosi su immagini visualizzate su uno schermo, la capacità di replicare le manovre mentre si posiziona la strumentazione, nonché di adottare e sviluppare una tecnica adeguata durante l'utilizzo della tecnologia guidata dall'immagine, ma soprattutto di capire quando la navigazione è affidabile e quando affidarsi alla scopia o ad altre tecniche. La capacità dei chirurghi di adattarsi all'uso di questa tecnologia può dipendere dal fatto che loro siano cresciuti giocando ai videogiochi. Rosser et al. è stato in grado di correlare il completamento più veloce e gli errori ridotti negli interventi laparoscopici quando i chirurghi avevano un background di oltre 3 ore a settimana di videogiochi⁵.

Trattandosi di una tecnica innovativa, in cui nessuno dei medici del nostro Reparto aveva avuto esperienza e di cui solo uno degli operatori (Dott. Umana) aveva un'esperienza clinica di 6 mesi, la nostra tecnica di apprendimento per l'inserimento di viti trans-peduncolari in neuronavigazione si è perfezionata progressivamente, traendo insegnamento da ogni singolo caso clinico.

Un altro importante vantaggio è stato la ridotta esposizione ai raggi X: gli interventi condotti in fluoroscopia espongono il paziente ma soprattutto gli operatori ad una grande quantità di radiazioni.

L'esposizione professionale giornaliera alle radiazioni può portare a dosi cumulative elevate nel corso della vita. Sebbene un attivo chirurgo spinale possa ancora rimanere al di sotto dei limiti annuali di esposizione professionale con le dosi di radiazioni riportate, qualsiasi riduzione delle stesse sarebbe auspicabile. Ciò è di fondamentale importanza poiché gli effetti a lungo termine di un'esposizione cronica di basso grado non sono ancora accertati ma sembrerebbe aumentare il rischio di alcuni tipi di cancro⁶.

Utilizzando la tecnica di navigazione, l'esposizione alle radiazioni è stata riscontrata esclusivamente durante le seguenti circostanze:

- La verifica del livello spinale all'inizio della procedura.
- La verifica del corretto posizionamento delle viti.
- Il controllo finale del corretto posizionamento delle viti e delle barre.

Utilizzando la tecnica a mano libera, il team chirurgico è stato esposto durante i seguenti casi:

- Marcatura del livello all'inizio della procedura.
- Durante tutto il tempo chirurgico d'impianto delle viti peduncolari.
- Durante l'impianto delle barre.
- Il controllo finale del corretto posizionamento.

Per motivi strutturali non abbiamo modo di quantificare l'effettiva dose di radiazioni assorbite dal nostro team chirurgico, per questo motivo ci rifacciamo a quanto già studiato da Villard et al. e riportato nel suo articolo, in cui compara l'esposizione alle radiazioni ionizzanti per i chirurghi che adottano tecniche di stabilizzazione lombare navigate e non.

L'esposizione alle radiazioni del chirurgo è stata da Villard misurata con dosimetri digitali posti a livello dell'occhio, del torace e dell'avambraccio dominante.

Le dosi cumulative erano 25 contro 270 μSv ($P < 0,007$) per il torace; 17 contro 96 μSv ($P < 0,001$) per l'occhio; e 15 contro 106 μSv ($P < 0,008$) per l'avambraccio nei gruppi navigati rispetto a quelli non navigati, rispettivamente⁷.

La dose di radiazioni accumulata per il chirurgo è quindi significativamente più alta nel gruppo non navigato: questo è quindi un ulteriore vantaggio che rende ragionevole l'uso della navigazione ogni volta che è possibile.

Uno dei limiti del nostro neuronavigatore è la differenza di accuratezza tra destra e sinistra: il nostro sistema di neuronavigazione è maggiormente accurato nel posizionamento di viti trans-peduncolari sul versante destro. Questo potrebbe spiegarsi col fatto che il neuronavigatore viene posizionato sul lato destro del tavolo operatorio perciò esiste una potenziale inaccuratezza con l'aumento della distanza dal lettore ottico, come si può evincere dai risultati della nostra casistica (Tab. 6 e 7; Grafico E).

Lo svantaggio principale del sistema di neuronavigazione è il suo costo elevato rispetto ai precedenti metodi conservativi, ma l'uso multidisciplinare aumenta l'utilizzo del sistema e può quindi migliorare l'efficienza in termini di costi. A nostro avviso, la diminuzione dei tassi di malposizionamento della chirurgia spinale, con l'uso del sistema di neuronavigazione, può a lungo andare ammortizzare i costi.

	AP	BMP	IMP	SAR	%AP	%BMP	%IMP	%SAR	%(AP+BMP)	%(IMP+SAR)
TORACICA	24	2	1	1	85,71%	7,14%	3,57%	3,57%	92,86%	7,14%
LOMBARE	49	0	0	0	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%
SACRALE	3	0	0	0	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%

Tab. 6: accuratezza viti di DESTRA con neuronavigatore

	AP	BMP	IMP	SAR	%AP	%BMP	%IMP	%SAR	%(AP+BMP)	%(IMP+SAR)
TORACICA	22	2	4	0	78,57%	7,14%	14,29%	0,00%	85,71%	14,29%
LOMBARE	47	2	1	0	94,00%	4,00%	2,00%	0,00%	98,00%	2,00%
SACRALE	4	0	0	0	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%

Tab. 7: accuratezza viti di SINISTRA con neuronavigatore

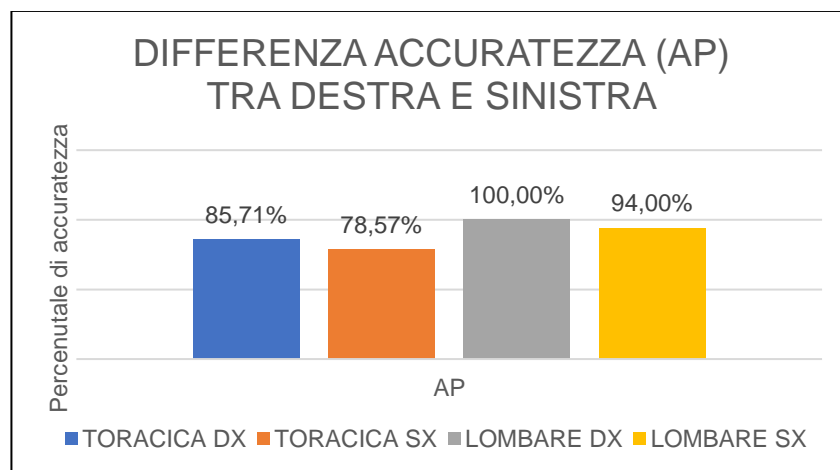


Grafico E: comparazione dx-sx neuronavigatore

Risultati

Nel periodo di sperimentazione durato 43 mesi, sono state valutate un totale di 230 viti in 43 pazienti. La chirurgia di stabilizzazione è stata eseguita nella regione lombosacrale in 5 (12%) pazienti, regione lombare in 13 (30%) pazienti, regione toraco-lombare in 21 (49%) pazienti e regione toracica in 4 (9%) pazienti. Delle 230 viti, tutte (100%) sono state posizionate senza rottura ma tre di esse (1,30%), appartenenti interamente al gruppo A, hanno fatto pull-out a distanza di qualche settimana

dall'intervento. I malposizionamenti che hanno determinato delle violazioni importanti (Grado SAR) tali da poter richiedere un intervento di revisione sono stati in totale 6 (2,61%) di cui solo 1 appartenente al gruppo B (0,61% sul totale delle stabilizzazioni neuronavigate), mentre gli altri 5 rappresentano il 7,35% sul totale delle viti posizionate con fluoroscopia. Già solo da questo dato statistico si può notare come il grado di accuratezza sia nettamente migliorato con l'uso del sistema di neuronavigazione. Il risultato significativo che si evince dalla nostra casistica è che il rischio di malposizionamento si è ridotto del 14,95% con l'uso del neuronavigatore, considerando come malposizionamento la somma delle viti IMP e SAR (Tab. 8).

Nessun difetto durale o deficit neurologico si è verificato dopo gli interventi chirurgici in entrambi i gruppi.

Per tre pazienti del gruppo A è stata posta l'indicazione di reintervento: due per pull-out di una vite e uno per viti a rischio di lesione vascolare. Una paziente non ha dato il consenso all'intervento mentre gli altri due sistemi di stabilizzazione sono stati revisionati con successo.

Non c'è stata alcuna necessità di reintervento tra i pazienti del gruppo B.

	%(IMP+SAR)
FLUOROSCOPIA	26,67%
NEURONAVIGATORE	11,72%

Tabella 8: Differenza fluoroscopia-neuronavigatore per percentuale malposizionamento

Conclusioni

Il nostro obiettivo era quello di valutare se il sistema di neuronavigazione sia uno strumento promettente per migliorare l'accuratezza del posizionamento di viti trans-peduncolari negli interventi di stabilizzazione della colonna vertebrale.

La navigazione guidata dalle immagini non può sostituire l'esperienza tecnica e l'addestramento dei chirurghi, ma è un utile complemento per aumentare la precisione soprattutto nei casi chirurgici complessi, nei pazienti con anatomia alterata, nei casi in cui non è possibile ottenere una soddisfacente visualizzazione fluoroscopica intraoperatoria (livelli toracici, grave osteoporosi etc.).

Il nostro approccio chirurgico mininvasivo, in particolar modo percutaneo, associato alla disponibilità di questa tecnologia avanzata, ha mostrato dei grossi vantaggi nell'ambito delle stabilizzazioni toraco-lombari, soprattutto se rapportato al nostro precedente approccio, sempre percutaneo, ma guidato da fluoroscopia.

La navigazione della colonna vertebrale offre maggiore sicurezza e una guida più accurata per il posizionamento delle viti trans-peduncolari nelle procedure chirurgiche minimamente invasive avanzate, riducendo la necessità di raggi X intraoperatori e quindi l'esposizione alle radiazioni al paziente e alla squadra chirurgica.

Inoltre, abbiamo constatato, mediante TC post-operatoria, un minor tasso di malposizionamenti e, di conseguenza, una pressoché annullata necessità di revisione degli impianti di stabilizzazione nel gruppo operato con l'ausilio del neuronavigatore.

Il risultato significativo che si evince dalla nostra casistica è che il rischio di malposizionamento si è ridotto del 14,95% con l'uso del neuronavigatore.

Quindi, l'introduzione del sistema di neuronavigazione, secondo la nostra esperienza, ha effettivamente aumentato la precisione del posizionamento della vite peduncolare e ha conseguentemente ridotto le complicanze causate da errato posizionamento della vite.

Anche se non c'è una vera e propria rilevanza statistica data la scarsa quantità di elementi maturati, attraverso i nostri attuali studi siamo comunque in grado di delineare un trend di andamento evolutivo positivo grazie all'uso del neuronavigatore, ponendoci comunque in linea con altri dati già riportati in letteratura.

Studi multicentrici su grandi statistiche sono indispensabili per acquisire evidenze cliniche più chiare sull'efficienza e i limiti della chirurgia al fine di ottenere maggiore beneficio.

Oltre a quanto già detto, relativamente ai costi, sottolineiamo come il neuronavigatore sia un requisito fondamentale, indispensabile per poter effettuare chirurgia cerebrale anche dal punto di vista medico-legale. Pertanto, non è necessario acquistare la macchina ma solamente un software dedicato. Inoltre, il costo reale della navigazione spinale è estremamente limitato rispetto ai benefici clinici offerti da tale tecnologia. Ci auguriamo, perciò, di mantenere questo standard nel tempo così da poter confermare i dati fin qui raccolti circa la superiorità statistica, soprattutto per grado di accuratezza, del neuronavigatore rispetto alla fluoroscopia, tale da renderne giustificato l'acquisto da parte di un'Azienda Ospedaliera.

Future applicazioni nella chirurgia spinale

Tutti i sistemi di navigazione visti finora utilizzano lo schermo del computer per presentare le informazioni di navigazione, cosicché i chirurghi sono costretti a spostare continuamente l'attenzione tra il sito di lavoro effettivo e lo schermo del computer; chiaramente ciò risulta scomodo e incide sulla continuità della chirurgia.

È proprio su quest'ultimo punto che l'ingegneria ha lavorato negli ultimi anni, sviluppando la tecnologia Augmented Reality (AR). AR è un sistema integrato di elaborazione delle immagini e nel sistema AR, oggetti reali e oggetti virtuali (generati dal computer) sono combinati in un ambiente reale⁸. Il chirurgo, posizionato lontano dal tavolo e dal campo sterile, sarà equipaggiato con una cuffia e una visiera; sincronizzando gli studi di imaging preoperatorio con la piattaforma AR, la visiera può proiettare sul paziente le strutture bersaglio - un tumore, un aneurisma o un livello spinale specifico - per la visualizzazione diretta, di conseguenza può migliorare la precisione operativa (ad esempio durante la misurazione e la distrazione delle barre).

Da ciò si può evincere come il sistema di navigazione chirurgica basato su AR abbia un enorme potenziale applicativo in neurochirurgia. È in atto una collaborazione tra uno degli operatori (Dott. Umana), membro dell'Advisory Board di una promettente start-up di VSI "virtual surgery intelligence" (ApoQlar), affinché il nostro Centro possa diventare uno dei primi Reparti a sperimentare questa tecnologia. È probabile che un'ampia

collaborazione tra aziende biotecnologiche e chirurghi spingerà il nostro campo verso queste proiezioni per espandere la nostra capacità di intervento minimamente invasivo⁹.

BIBLIOGRAFIA

1. Sutter M, Eggspuehler A, Grob D, et al. The diagnostic value of multimodal intraoperative monitoring (MIOM) during spine surgery: a prospective study of 1.017 patients. *Eur Spine J* 2007; 16 (Suppl. 2): 162-70.
2. Hicks JM, Singla A, Shen FH, Arlet V. Complications of pedicle screw fixation in scoliosis surgery: a systematic review. *Spine* 2010; 35: E465-70.
3. Sarwahi V, Wendolowski SF, Gecelter RC, et al., Are We Underestimating the Significance of Pedicle Screw Misplacement? *Spine* 2016; 41: E548-E555.
4. Laine T, Mäkitalo K, Schlenzka D, Tallroth K, Poussa M, Alho A. Accuracy of pedicle screw insertion: A prospective CT study in 30 low back patients. *Eur Spine J* 1997; 6: 402-5.
5. Rosser JC Jr, Lynch PJ, Cuddihy L, Gentile DA, Klonsky J, Merrell R. The impact of video games on training surgeons in the 21st century. *Arch Surg* 2007; 142: 181-6.
6. Mroz TE, Abdullah KG, Steinmetz MP, et al. Radiation exposure to the surgeon during percutaneous pedicle screw placement. *Spinal Disord Tech* 2011; 24: 264-7.
7. Villard J, Ryang YM, Demetriades AK, et al. Radiation exposure to the surgeon and the patient during posterior lumbar spinal instrumentation: a prospective randomized comparison of navigated versus non-navigated freehand techniques. *Spine* 2014; 39: 1004-9.
8. Chen X, Xu L, Wang Y, et al. Development of a surgical navigation system based on augmented reality using an optical see-through head-mounted display. *J Biomed Informatics* 2015; 55: 124-31.
9. Madhavan K, Kolcun JPG, Chieng LO, Wang MY. Augmented-reality integrated robotics in neurosurgery: are we there yet? *Neurosurg Focus* 2017; 42: E3.

Dott.ssa Chiara Perrone, Corso di Laurea Magistrale a Ciclo in Medicina e Chirurgia, Facoltà di Medicina e Chirurgia, Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

Prof. Pierpaolo Lunardi, Cattedra di Neuroscienze, Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

Per la corrispondenza: albykiara@gmail.com