



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA



SOCIETÀ DI PROMOZIONE DEGLI ENTI
SAVONESI PER L'UNIVERSITÀ

MASTER IN RIABILITAZIONE DEI DISORDINI MUSCOLOSCHIELETRICI

In collaborazione con



LIBERA UNIVERSITÀ DI BRUSSEL

***I SUSSIDI DI VALUTAZIONE, DIAGNOSI E TRATTAMENTO DEL
FISIOTERAPISTA PER IL TRATTAMENTO DEI DISTURBI LOMBOPELVICI***

Referente Turolla Andrea

Tesi di Mignogna Massimiliano

ANNO ACCADEMICO 2006-2007

INDICE

1. ABSTRACT.....	4
2. INTRODUZIONE.....	4
3. MATERIALI E METODI.....	7
4. REHABILITATIVE ULTRASOUND IMAGING NELLA MUSCOLATURA PARASPINALE.....	8
4.1 RICHIAMI ANATOMICI E MORFOLOGIA DEL M. MULTIFIDO.....	8
4.2 FREQUENZE DI TRASDUZIONE.....	12
4.3 VALUTAZIONE QUANTITATIVA, QUALITATIVA, STATICA E DINAMICA DEL M. MULTIFIDO.....	13
4.4 AFFIDABILITA', VALIDITA' DELLE MISURAZIONI DELLA M. PARASPINALE.....	21
4.5 IMPLICAZIONI CLINICHE E LIMITAZIONI.....	25
4.5 DIREZIONI FUTURE DELLA RICERCHE.....	27
5. REHABILITATIVE ULTRASOUND IMAGING NELLA MUSCOLATURA ADDOMINALE.....	29
5.1 RICHIAMI ANATOMICI E MORFOLOGIA DELLA PARETE ADDOMINALE.....	30
5.2 COMPORTAMENTO STATICO E DINAMICO DELLA PARETE ADDOMINALE	36
5.3 AFFIDABILITA', VALIDITA' DELLE MISURAZIONI DELLA MUSCOLATURA ADDOMINALE.....	43
5.4 MODALITA' DI TRATTAMENTO CON ULTRASOUND IMAGING.....	48
5.5 DIREZIONI FUTURE DELLA RICERCHE.....	51
6. REHABILITATIVE ULTRASOUND IMAGING NELLA MUSCOLATURA DEL PAVIMENTO PELVICO.....	52
6.1 MORFOLOGIA MUSCOLARE E VALUTAZIONE STRUTTURALE.....	52
6.2 VALUTAZIONE QUANTITATIVA E QUALITATIVA DEL PAVIMENTO PELVICO.....	54
6.3 AFFIDABILITA', VALIDITA' DELLE MISURAZIONI CON ULTRASOUND IMAGING.....	60
6.4 MODALITA' DI TRATTAMENTO CON ULTRASOUND IMAGING.....	64
7. CONCLUSIONI.....	69
8. BIBLIOGRAFIA.....	70

1 ABSTRACT

Revisione della letteratura finalizzato ad individuare strumenti e pesarne il relativo valore clinico, con lo scopo di aiutare il fisioterapista nella valutazione, diagnosi e trattamento dei disturbi a carico del distretto lombo pelvico, ponendo una particolare attenzione sulla metodica dell'Ultrasound Imaging (USI) e confrontandola con altre metodiche, quali Magnetic Resonance Imaging (MRI), elettromiografia (EMG) ed il Pressure Biofeedback Units (PBU).

2 INTRODUZIONE

L'Ultrasound Imaging (USI), è stato applicato in ambito medico alla fine degli anni cinquanta. L'uso primario è stato ed è tutt'ora in ambito radiologico tradizionale, con il quale si osserva l'integrità della strutture corporee di vari organi e tessuti. La diversità di applicazioni ed il relativo costo, ne hanno con il tempo proclamato il successo in ambito diagnostico.

L'Ultrasound Imaging è stato accostato all'ambito riabilitativo muscolo-scheletrico alla fine degli anni ottanta. Il primo a riportare immagini in questo senso furono Ikai e Fukunaga, già nel 1968, ma furono in realtà il Dr Archie Young e colleghi dell'università di Oxford nel 1980 a mostrare la capacità di evidenziare in maniera importante l'atrofia muscolare. Nel 1990 si ebbe la rinascita, attraverso un interesse sempre più importante da parte dell'ambiente riabilitativo. L'obiettivo è quello di valutare la capacità da parte dell'Ultrasound Imaging (USI) di fornire un biofeedback atto ad un miglior recupero del processo di riapprendimento.

Lo scopo di questa review, è quello di valutare la Rehabilitative Ultrasound Imaging (RUSI) in ambito valutativo e riabilitativo, ricercando in particolar

modo l'utilizzo della misurazione morfologica del muscolo, la visualizzazione del muscolo in condizione di riposo, in contrazione ed il comportamento muscolare, fornendo un biofeedback al soggetto in esame.

Attualmente le applicazioni dell'Ultrasound Imaging in ambito muscolo-scheletrico sono essenzialmente di 2 tipi: Riabilitativo, mediante RUSI e diagnostico.

La valutazione mediante l'Ultrasound Imaging delle strutture muscolari può indagare, lunghezza, profondità, diametro, area di sezione "Cross Section Area" (CSA), volume, angolo di pennazione, livello di contrazione e densità muscolare.

Dal punto di vista diagnostico può esaminare problematiche ai legamenti, tendini, tessuti muscolari.

Nel maggio del 2006, si è tenuto nella città di San Antonio TX, il primo meeting internazionale, ospitato dall' US Army-Baylor University Doctoral Program.

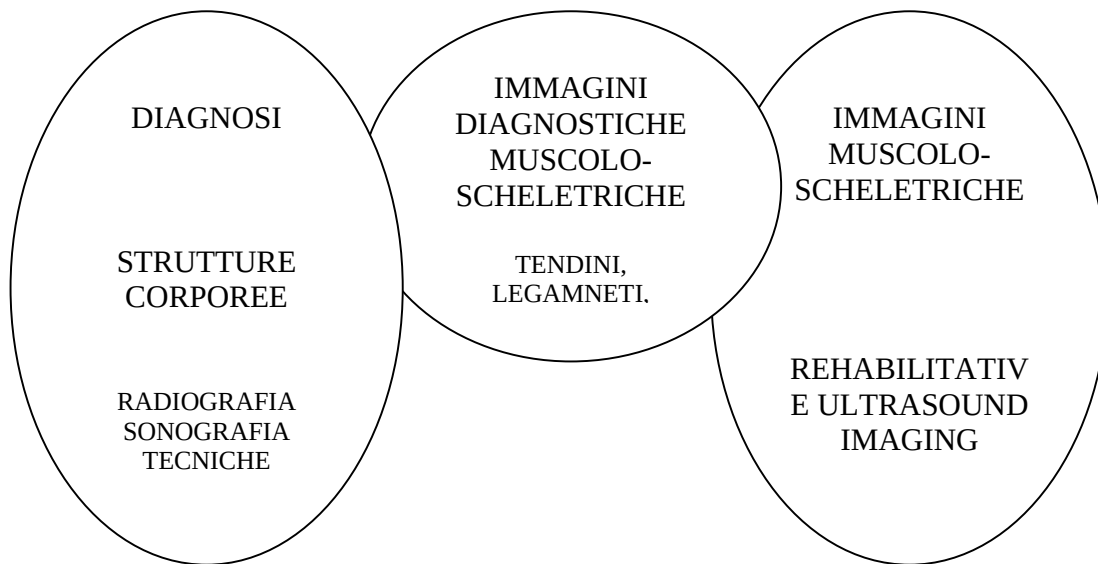
Scopo principale di questo Symposium, è stato sviluppare le migliori linee guida all'utilizzo di questo strumento applicato alla muscolatura paraspinale, addominale e pelvica. Ulteriori accordi sono stati presi in riferimento all'utilizzo dell'acronimo RUSI.

Le linee guida sono state accordate dalla World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology, nei termini di educazione e sicurezza.

All'interno di questo congresso internazionale si è cercato di dare la giusta collocazione in ambito medico e riabilitativo, fornendo un ulteriore input a ricercatori e clinici a sviluppare studi che possano ulteriormente indagare su questa metodica riabilitativa.

La RUSI, è una procedura che valuta la morfologia dei tessuti molli durante l'atto riabilitativo, con l'intento di migliorare le funzioni neuromuscolari dei tessuti stessi.

Da più di 10 anni le ricerche in ambito diagnostico e riabilitativo delle problematiche lombari, riservano sempre più interesse alla muscolatura profonda, che ricopre un ruolo fondamentale nella protezione della regione lombopelvica.



3 MATERIALI E METODI

Raccolta della letteratura senza avere posto nessun limite e successiva raccolta degli articoli scientifici, previa lettura dell'Abstract relativo. La ricerca è stata effettuata mediante l'utilizzo di Medline e Pedro. Le parole chiave sono state: Ultrasound imaging, real time ultrasound imaging, elettromyography, power spectral, magnetic resonance imaging, pressure biofeedback unit in associazione mediante operatore booleano ha low back pain, pelvic girdle pain, stabilized, pelvic ed incontinence.

4 REAHABILITATIVE ULTRASOUND IMAGING DELLA MUSCOLATURA PARASPINALE

Il ruolo muscolare nella stabilizzazione del rachide, ha riscosso sempre più interesse in ambito clinico e riabilitativo, portando ad evidenziare aspetti importanti dal punto di vista biomeccanico e neurofisiologico.

Gli studi hanno consentito di evidenziare aspetti morfologici ed impairment di questa muscolatura. Sono stati confrontati i risultati in soggetti sani ed affetti da Low Back Pain (LBP), osservando la capacità dello strumento di valutare quantitativamente il comportamento muscolare relazionato al livello di contrazione, i cambiamenti di spessore muscolare e la muscolatura sinergica. Il fine comune degli studi, è quello di proporre delle linee guida per standardizzare le tecniche valutative e riabilitative e porre le basi dando una direzione metodologica a future ricerche.

4.1 Richiami anatomici e morfologia del m. Multifido

Una corretta interpretazione della RUSI dipende dalle conoscenze e caratteristiche anatomiche – biomeccaniche – funzionali delle strutture muscoloscheletriche del rachide lombare.

La muscolatura spinale, viene divisa da [Bogduk et al ^{\(5\)}](#) in tre gruppi. Il primo gruppo rappresenta la muscolatura profonda con muscoli intersegmentali, interspinali ed intertrasversari mediali. Questa muscolatura piccola e corta, non risulta ben visibile mediante L'USI. Il secondo gruppo comprende muscoli polisegmentali, includendo il m. Multifido (M), la porzione lombare del m. Erector Spinae (ES), il m. Lunghissimo ed il m. Ileocostale. Il terzo gruppo rappresenta la muscolatura più superficiale di cui fanno parte lunghi muscoli

polisegmentali, che prendono rapporti con sacro, rachide lombare e porzioni toraciche del m. Erector Spinae.

Il m. Multifido, è senza dubbio il muscolo più importante. Esso viene descritto come un muscolo formato da 5 strati sovrapposti di ampiezza crescente in direzione caudale. La morfologia di questo muscolo, può essere valutata mediante la RUSI, sia sul piano trasverso, sia parasagittale. Sul piano trasverso, il m. Multifido può essere identificato come una singola regione, in quanto i 5 fasci non sono sempre ben visibili. Il vantaggio della misurazione su piano trasverso, è quella di potere valutare la Cross Section Area (CSA) del muscolo. Al contrario la visione parasagittale, può identificare i fasci muscolari ed il relativo tessuto connettivo interconnesso (Fig. 1, 2)



Fig. 1

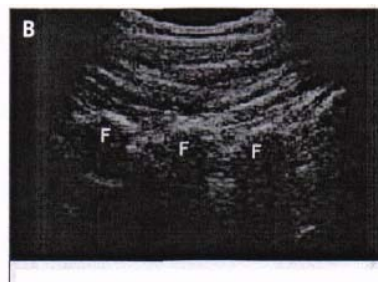


Fig. 2

Entrambi le misurazioni possono valutare lo spessore muscolare, fornendo biofeedback sul suo cambiamento. La visione parasagittale è più facile da interpretare.

[Watanabe et al](#) ⁽⁴⁷⁾ mediante un appoggio del trasduttore longitudinale, sfrutta punti di riferimento come il processo trasverso e tessuti sottocutanei, poichè hanno maggiore ecogenicità.

Alcuni ricercatori, hanno suggerito che le fibre muscolari più superficiali del m. Multifido, creano una estensione del rachide, con aggiunta di componente

compressiva intervertebrale (stiffness), mentre le fibre più profonde, hanno principalmente una azione compressiva associata ad azione di movimento angolare, fornendo considerazione in merito al controllo di stabilizzazione segmentale.

Studi elettromiografici, hanno osservato i diversi pattern di attivazione tra la muscolatura più superficiale e quella più profonda paraspinale, ribadendo l'importanza di metodiche riabilitative per il ripristino della muscolatura profonda.

Studi ecografici mediante l'USI, hanno identificato una riduzione della CSA del m. Multifido in pazienti con LBP in fase acuta, e l'EMG suggerisce che i cambiamenti dei pattern motori con alterazione del controllo motorio, sono essenzialmente evidenti nella muscolatura più profonda. Il m. Erector Spinae (ES) giace lateralmente al m. Multifido, prendendo rapporti a livello toracico. Studi inerenti alla parte lombare alta, hanno dimostrato che in questa zona si sovrappone al multifido. Contribuisce alla flessione laterale, estensione e rotazione, ed è sinergico alla muscolatura stabilizzatrice.

In assenza di patologia, il m. Multifido ha generalmente forma rotonda o ovale con ampiezza variabile a seconda dei livelli vertebrali.

La CSA a livello di L4, presenta un valore medio approssimativamente di 8 cm² nei maschi e 6 cm² nella femmine. A livello L5 9 cm² nei maschi e 7 cm² nelle femmine. Un'analisi multisegmentaria del rachide lombare, indica che la CSA incrementa la L2 ad L5, dopodichè decrementa da S1.

Uno studio condotto su 10 ragazze riferisce approssimativamente di 2 – 3.3 – 4.9 – 7.1 cm² rispettivamente tra L2 ed L5 per poi decrementare a 6.4 cm² a livello S1. Le dimensioni lineari indicano una forma tendente a rotonda nei maschi e più ovale nelle femmine. Uno studio di 120 soggetti sani, riportano forme muscolari rotonde, ovali ed anche triangolari. Sesso, età, livello

vertebrale ed attività fisica sono reputati fattori influenzanti la forma della CSA del m. Multifido. La forma muscolare non è sempre regolare, particolarmente in soggetti con una muscolatura maggiormente trofica, con forma tendenzialmente triangolare. Il bordo mediale ed inferiore del m. Multifido, infatti contrae rapporti con il processo spinoso e la lamina così che tale muscolo in seguito ad ipertrofia può solo avere una unica direzione tale da formare un aspetto triangolare. Questo studio di [Stokes et al ^{\(41\)}](#) suggerisce che per valutare forme triangolari è più corretto effettuare tre misurazioni (bordo laterale, mediale e superiore). La media delle differenze tra i lati, in riferimento alle ampiezze muscolari in soggetti sani, è mediamente con valori percentuali al di sotto del 10% (media +/- SD); 3+/-4% - 9.6+/-8% nei maschi e 8.1+/-6% nelle femmine. Una marcata asimmetria può essere osservata in pazienti con LBP acuta, tale da essere indicatore clinico di anormalità. In riferimento all'età i ricercatori non hanno trovato differenze di ampiezza tra i diversi gruppi. Comunque, la qualità del muscolo, può essere età-dipendente risultando alterata con cambiamenti di concentrazioni di acqua e tessuto adiposo. [Coldron et al ^{\(9\)}](#) studiando una popolazione di 183 soggetti over 69 mediante l'Ultrasound Imaging ha studiato questi cambiamenti, confrontandoli con la Magnetic Resonance Imaging (MRI) ritenuta gold standard, dove il muscolo a causa di infiltrazioni adipose, appare più bianco, dimostrando una buona affidabilità dell'USI.

4.2 Frequenze di trasduzione dell'USI

Le frequenze di trasduzione sono varie, ma la maggior parte dei ricercatori hanno usato una trasduzione di circa 5 Mhz (Non lineare), in prevalenza sul piano trasversale, in modo tale che l'onda può essere più facilmente perpendicolare alle strutture interessate. In riferimento alle misurazioni su piano parasagittale, la frequenza di trasduzione viene considerata meno importante ed influente. Mediamente le frequenze di trasduzione si aggirano come detto sui 5Mhz, ma per una corretta visibilità delle immagini, queste possono essere variate da 3 Mhz a 7-10 Mhz a seconda delle circostanze e del tipo di macchinario usato. Tendenzialmente è stata assunta la misura di 5 cm per l'immagine ecografica (footscreen) per offrire un discreto dettaglio. E' indubbio, che ricerche future che mettano in relazione forma muscolare, profondità e specifiche di trasduzione favoriranno una maggiore comprensione di questi parametri di setting.

PARAMETRI DI TRASDUZIONE			
IMMAGINE	TRASDUZIONE	AUTORE	FOOTPRINT (cm)
Piano trasverso	5.0 MHz (curvilinear)	Van et al	5.5
	5.0 MHz (curvilinear)	Stokes et al	5.0
Piano parasagittale	5.0 MHz (curvilinear)	Diesel et al	7.0
	7.5 MHz (linear)	Hides et al	7.5

E' pertanto importante per una corretta valutazione muscolare la giusta identificazione dei punti di riferimento. Infatti qualora si calcoli la CSA ad un livello vertebrale con o senza i punti di riferimento si evidenziano nette differenze. Come già detto, il bordo laterale del m. Multifido è difficile da distinguere dal m. Lunghissimo. Una strategia è la contrazione del muscolo durante l'applicazione dell'USI partendo da un corretto rilassamento muscolare.

4.3 Valutazione quantitativa, qualitativa, statica e dinamica del m. Multifido

Una valutazione quantitativa della muscolatura paraspinale, è stata descritta da [Hides et al ^{\(22\)}](#), [Kiesel et al ^{\(26\)}](#) e relativamente da un'ampia popolazione da [Stokes et al ^{\(40\)}](#). Come già detto le immagini ottenute mediante l'USI, sono state ottenute sia sul piano trasverso e sia su quello parasagittale. Originariamente gli studi si sono avvalsi di una postura prona per valutare questa muscolatura, ma talvolta questa postura per svariati motivi non è possibile da assumere da parte del paziente.

[Coldron et al ^{\(8\)}](#) ha realizzato uno studio valutativo del m. Multifido su donne in posizione prona e decubito laterale, mettendo in evidenza che anche possibili posture di decubito laterale possono essere assunte per una corretta valutazione della muscolatura paraspinale, dimostrando assenze di cambiamenti di spessore muscolare se riferite alla postura prona ed osservando quindi una buona correlazione tra le due posture, riportando valori rispettivamente di 0.03 ± 0.52 sul lato destro e 0.15 ± 0.47 sul lato sinistro (mean difference $\pm$ SD cm²). Questo non si può certamente dire riferendosi alla postura di stazione eretta. [Lee et al ^{\(28\)}](#) ha dimostrato studiando una popolazione sana e con LBP cronica, che la CSA del m. Multifido incrementa dalla posizione prona ad eretta e che una flessione anteriore del tronco tra i 25° e 45° produce un decremento della CSA, nei soggetti normali, mentre i soggetti cronici lombalgici presentano alterati pattern di attivazione durante l'anteposizione del tronco. [Hides et al ^{\(22\)}](#) suggerisce il mantenimento di una corretta curva fisiologica lombare mediante l'utilizzo di uno o due cuscini posti anteriormente a livello iliaco, in modo tale da assumere il più possibile una posizione neutra lombare. Sia Hides che Kiesel hanno fatto in modo che i soggetti valutati, assumessero una postura tale che il rachide lombare avesse una angolazione all'interno dei 10°.

Anche la posizione dell'operatore è stata standardizzata per convenzione, al fine di eliminare possibili bias, l'operatore è stato posto alla sinistra del paziente prono (l'opposto avviene nella valutazione addominale con paziente supino), rispettando protocolli standardizzati di esami radiologici. A priori, viene eseguita la palpazione dei processi spinosi sui quali vengono posti dei marker cutanei caudo-craniale, verificati poi mediante la metodica dell'Ultrasound Imaging, con posizionamenti del trasduttore in senso longitudinale e centrale a conferma dei marker cutanei.

Alcuni ricercatori, hanno evidenziato l'importanza di altri marker come le faccette articolari che determinano punti di riferimento, mediante immagini parasagittali.

Sul piano trasverso, il trasduttore può essere orientato in modo tale che il processo spinoso e la lamina può essere visionata simmetricamente, qualora l'immagine abbia poco dettaglio, il trasduttore può essere spostato lateralmente per andare a rafforzare il dettaglio unilaterale.

La CSA, viene misurata secondo due dimensioni lineari: Anteroposteriore (AP) e Laterolaterale (Lat), tra loro perpendicolari. [Hides et al ^{\(22\)}](#) descrive la forma del m. Multifido come rapporto tra le misure lineari AP/Lat. [Stokes et al ^{\(41\)}](#) mediante l'USI, relaziona all'area di sezione trasversale, con la lunghezza del processo spinoso e la distanza tra l'estremità laterali di ogni lamina. Altri studi ancora hanno relazionato le misurazioni del multifido includendo altezza, età, massa corporea ed indice di massa corporea (BMI).

La RUSI può valutare movimenti attivi. La più comune misurazione è il cambiamento percentuale dello spessore muscolare. [Watanabe et al ^{\(47\)}](#) ha misurato i cambiamenti di spessore del m. ES su piano sagittale. Differenze significative sono state trovate in posizione neutra, flessa ed estesa. [Kiesel et al ^{\(26\)}](#) ha usato vari gradi di controresistenza all'arto superiore controlaterale

eseguita in posizione prona, fornendo dati sulla relazione tra contrazione muscolare ed elettromiografia, evidenziando una relazione lineare, tra la contrazione muscolare ed il segnale elettromiografico.

Vasseljen et al ⁽⁴⁶⁾ ha comparato la RUSI ed elettromiografia intramuscolare nella valutazione della muscolatura profonda paraspinale, durante carichi di lavoro agli arti superiori. Al momento, appare chiaro che la RUSI può essere usata per misurare lo spessore muscolare posteriore del tronco. Studi preliminari su soggetti asintomatici, hanno comparato la metodica ecografica RUSI con l'elettromiografia (Gold standard), suggerendo che l'Ultrasound Imaging può essere valido sia per misurare grandezze muscolari, sia timing di attivazione.

Studi hanno mostrato che le misure lineari possono riflettere la reale dimensione della CSA. Le misure lineari possono essere velocemente e facilmente estrapolate per calcolare questa area in modo valido. Pertanto la clinica può fare affidamento su questo modello valutativo AP x Lat.

Tre studi (Hides, Stokes e Lee) dimostrano un'alta correlazione tra CSA ed il prodotto AP x Lat a livello L4 ed L5 con valori significativi, rispettivamente 0.96-0.98 per il livello L4 e 0.93-0.95 per il livello L5. Questa correlazione è stata ottenuta in stato di riposo muscolare e diminuisce, quando la muscolatura è ipotrofica con una correlazione di 0.75 nei maschi e 0.85 nelle femmine. L'utilità clinica delle misure lineari a riposo, può avere un valore limitato, anche se in molti casi la comparsa o meno di una condizione ipotrofica, è oggetto di valutazione. Durante la contrazione Kiesel et al ⁽²⁶⁾ ha trovato che la misura AP del m. Multifido decrementa di più se c'è dolore, osservando che questa misurazione può essere clinicamente indicativa della capacità di contrazione del muscolo. E' inoltre presente un'alta correlazione tra Ap e CSA a livello di L4 (maschi 0.8, femmine 0.7). A livello di L5, sebbene

statisticamente significativa (maschi 0.66, femmine 0.7) la correlazione dal punto di vista clinico, non può essere presa in considerazione poiché il cut off è posto a 0.70. Pertanto è preferibile prendere in considerazione il prodotto, piuttosto della singola misura, basandosi sull'alta correlazione tra AP x Lat e CSA, precedentemente descritta.

L'evoluzione dell'utilizzo dell'USI in ambito valutativo e riabilitativo, ha ritenuto opportuno esaminare questo strumento anche in riferimento al periodo antecedente e successivo ad intervento chirurgico. Le immagini ottenute mostrano una sostanziale diminuzione della CSA del m. Multifido, senza importanti cambiamenti tra il periodo pre e post intervento. Tuttavia, non è possibile confermare che l'atrofia muscolare non sia in realtà avvenuta nel post intervento, in quanto una possibile infiammazione ha potuto mascherare la reale conformazione muscolare. Tesi avvalorata dal follow-up ad 1 anno dove lo stato di atrofia muscolare ha avuto una progressione negativa.

Mediante la RUSI si possono valutare sia parametri statici, sia dinamici. La valutazione qualitativa statica, riguarda la capacità della metodica di focalizzare la qualità dei tessuti. La valutazione dei parametri dinamici, riguarda la capacità di focalizzare la capacità di contrazione muscolare, cambiamento di spessore guidati mediante biofeedback.

In riferimento a parametri valutativi statici, l'impairment muscolare lombare in soggetti con LBP è stato dimostrato sia nelle ampiezze, sia nella densità. Decrementi della densità muscolare, possono essere causati da infiltrazioni di tessuto adiposo o sostituzione - modificazione delle fibre muscolari. I cambiamenti di densità muscolare, sono stati prevalentemente riportati da studi mediante TC ed MRI, ma anche da studi in cui è stata osservata la consistenza muscolare del m. Multifido mediante l'utilizzo dell'USI, nel quale il footprint del muscolo in soggetti sani appare nero, dovuto al fatto che è presente una

eccellente perfusione del fluido contenuto. La presenza di infiltrazioni di tessuto adiposo, cambio di fibra muscolare, cicatrici tessutali (tessuto non contrattile), fanno apparire il muscolo più bianco. Alla TC invece, i soggetti non sintomatici mostrano immagini più grigie ed uniformi e cambiamenti consistenti si presentano con aree più scure. Viceversa alla MRI la presenza di anomalie viene esaltata con immagine più bianca. Questi cambiamenti sono stati studiati in soggetti con LBP. Il grasso contenuto nel m. Multifido e m. Lunghissimo è stato misurato in 25 pazienti con LBP cronica, comparati con il gruppo di controllo asintomatici, usando la MR spectroscopia.

Questo studio, ha voluto valutare l'USI sull'interpretazione della densità muscolare in termini di affidabilità, verificando che il m. Multifido atrofico appare frequente nei pazienti con LBP cronica.

Le medie percentuali di contenuto di tessuto adiposo nei soggetti con LBP, variano tra il 17.5% - 29.7% ; IC95% 23.6%, rispetto a soggetti asintomatici dove i valori variano tra il 10.8% - 18.3% ; IC95% 14.5%. Viceversa i valori sul m. Lunghissimo non si differenziano tra soggetti sintomatici ed asintomatici (gruppo di controllo). Uno studio recente, utilizzando la MRI in soggetti con LBP, ha evidenziato cambiamenti della consistenza muscolare del m. Multifido, determinando una classificazione in 3 sottogruppi: lieve se il tessuto adiposo è < del 10%, marcata se < del 50% e grave se è > del 50%. La degenerazione del m. Multifido è stata presente nell'80% dei pazienti con LBP e più comunemente a livello L4-L5 e L5-S1. E' importante notare che ben 68 pazienti sui 75 totali (85%) aveva una degenerazione discale diagnosticata alla risonanza magnetica . La valutazione clinica dinamica della performance muscolare paraspinale, riguarda la palpazione del m. Multifido ad ogni livello vertebrale per facilitarne l'attivazione muscolare. I cambiamenti di spessore muscolare, possono essere osservati mediante l'USI per migliorare la performance, sia a livello lombare

che cervicale. L'abilità del paziente con LBP cronica ad attivare il m. Multifido è stata valutata deficitaria con incrementi di spessore ridotti osservati all'USI durante contrazioni che non provocassero dolore. Van et al ⁽⁴⁵⁾ in uno studio randomizzato e controllato, ha osservato una popolazione di soggetti sani, valutando l'utilità dell'USI nel migliorare la capacità di attivazione del m. Multifido. Tutti i soggetti, hanno ricevuto istruzioni cliniche su come attivare il m. Multifido isometricamente mediante feedback verbali e tattili, durante la prima fase denominata fase di acquisizione. Il gruppo di intervento ha ricevuto in aggiunta il biofeedback visivo, in sezione parasagittale. Entrambi i gruppi (controllo e sperimentale) hanno migliorato la volontarietà di contrazione, incrementando gli spessori muscolari a partire da condizioni di riposo, durante la fase di acquisizione, ma il gruppo che ha ricevuto in aggiunta il biofeedback visivo, ha ottenuto migliori risultati. Nella rivalutazione con follow-up ad una settimana di distanza con assenza riabilitativa, il gruppo sperimentale ha mantenuto una sostanziale capacità della performance di attivazione muscolare, mentre il gruppo di controllo ha decrementato queste capacità. Va notato che poiché la seconda fase, atta a verificare l'eventuale mantenimento dei risultati ottenuti, è stata eseguita sempre in associazione al feedback visivo, non si possono trarre conclusioni se il riapprendimento della funzione è associato ad una coscientizzazione a livello del SNC, o se è solamente una maggiore capacità di performance da riapprendimento della metodica fine a se stesso.

In relazione alla simmetria muscolare, i soggetti lombalgici acuti hanno mostrato risultati positivi ottenuti dall'utilizzo dell'USI per un periodo riabilitativo di 4 settimane, hanno mostrato al follow-up dopo 10 settimane un sostanziale riassetto della simmetria muscolare con diminuzione del dolore. Anche il gruppo di controllo, ha ottenuto tuttavia una diminuzione del dolore ed un ritorno alle normali attività, ma la morfologia muscolare, presentava ancora

una sostanziale asimmetria. Risultati nel lungo termine hanno poi evidenziato che diminuisce la ricorrenza della LBP nei confronti del controllo. Una limitazione a questo studio è il fatto che il gruppo di controllo non ha esercitato esercizi specifici mirati al m. Multifido, ma soltanto esercizi convenzionali standard mirati ad una riabilitazione più globale e meno selettiva, rispetto ai pazienti del gruppo sperimentale che hanno potuto mirare la riabilitazione anche dal punto di vista selettivo. Il principio dell'apprendimento motorio, può essere spiegato dal feedback visivo, mediato dall'USI, che beneficia il paziente con LBP, e sembra poter controbattere quella condizione per cui il dolore innesca un riflesso inibitorio della muscolatura profonda. Un paziente con LBP che ha grosse difficoltà ad apprendere la capacità di contrarre questa muscolatura, partendo da un feedback visivo, può avere maggiori possibilità di apprendere dal punto di vista cognitivo questa modalità di attivazione muscolare, denominata fase cognitiva. Il biofeedback, può avere ripercussioni positive anche in soggetti, che pur in assenza di dolore, hanno difficoltà propriocettive al rachide lombare.

MORFOMETRIA DEL M. MULTIFIDO MEDIANTE UTILIZZO USI							
POPOL/NE	ETA'	AUTORI	CSA (cm ²)	RAPPORTO DI FORMA	Dim lin AP (spessore)	Dim Lat	Csa versus AP x Lat
PRIMA VERTEBRA LOMBARE							
Maschi							
N 21	18-35	Hides et al	6.15+/-0.93 (4.35-8.5)	0.91+/-0.12 (0.68-1.19)	2.55+/-0.3 (2.03-3.35)	2.82+/-0.23 (2.5-3.31)	0.98
N52	40+/-13 (20-69)	Stokes et al	7.78+/-1.85 (4.24-11.5 [95%])	1.02+/-0.15 (0.72-1.33)	NR	NR	0.96
N19	41.7 (35-47)	Lee et al	R:7.68+/-1.29 L:7.62+/-1.38	NR	NR	NR	NR
Femmine							
N 27	18-35	Hides et al	5.6+/-0.8 (4.18-7.23)	0.75+/-0.13 (0.42-0.98)	2.24+/-2.98 (1.63-2.75)	3.05+/-3.25 (2.35-3.96)	0.93
N10	25.5 (21-31)	Hides et al	4.87+/-1.22	NR	NR	NR	NR
N68	34+/-13 (20-64)	Stokes et al	5.55+/-1.28 (3.03-8.06 [95%])	1.05+/-0.21 (0.64-1.47)	NR	NR	0.95
SECONDA VERTEBRA LOMBARE							
Maschi							
N 45	39+/-13 (20-69)	Stokes et al	8.91+/-1.68 85.62-12.30 [95%])	1.03+/-0.17 (0.70-1.36)	NR	NR	0.95
N19	41.7 (35-47)	Lee et al	R:7.25+/-2.11 L:7.14+/-1.55	NR	NR	NR	NR
Femmine							
N 10	25.5 (21-31)	Hides et al	7.12+/-0.68	NR	NR	NR	NR
N46	32+/-12 (20-64)	Stokes et al	6.65+/-1.0 (4.69-8.6 [95%])	0.95+/-0.17 (0.62-1.28)	NR	NR	0.94
VERTEBRA L4 / L5							
Maschi e femmine							
N5	28+/-5.6	Diesel et al	NR	NR	2.48+/-0.19	NR	NR

4.4 Affidabilità, validità delle misurazioni della muscolatura paraspinale

Una corretta interpretazione dell'affidabilità, deve partire da una corretta individuazione dei giusti punti di riferimento, come la lamina ed il processo spinoso. Attualmente 8 studi, hanno riportato l'affidabilità dell'USI in riferimento alle misurazioni della muscolatura paraspinale. La comparazione degli studi, risulta alquanto difficile per differente metodologia, ma comunque sono presenti i parametri chiave di misurazione, che hanno portato a definire considerazioni in merito. Alcuni studi, hanno misurato la CSA mentre altri con immagini su piano parasagittale, hanno misurato lo spessore muscolare.

Il valore intra-class correlation (ICC) si attesta su valori tra 0.72 e 0.98. E' stato considerato l'errore standard medio (SEM) all'interno dell'intervallo di confidenza del 95% per verificare la stabilità di risposta. La riduzione dell'errore standard, rafforza la capacità della metodica di determinare efficacemente le differenze muscolari tra il periodo pre e post riabilitativo. In relazione all'intervallo di confidenza (IC) posto al 95%, è stato posto il Minimal Detectable Change (MDC).

Van et al ⁽⁴⁵⁾ usando la RUSI ha misurato lo spessore del m. Multifido durante la contrazione, osservando un ICC di 0.98 con errore standard medio di 0.31 cm. Posto l'intervallo di confidenza al 95% l'MDC risulta pari a 0.86. Ottimo valore in quanto l'affidabilità della metodica ecografia, nel valutare la muscolatura paraspinale risulta con valori ICC tra lo 0.72 e 0.98 essere eccellente ed accettabile per l'utilizzo clinico.

Hides et al ⁽²⁰⁾ ha condotto uno studio per determinare la validità dell'Ultrasound Imaging in riferimento a valutazioni del m. Multifido. Sono state ottenute misure sulla CSA, bilateralmente a tutti i livelli L2 – S1 in una popolazione femminile sana. Le misurazioni in cieco, intra-operatore ed inter-operatore, dello spessore del m. Multifido, sono effettuate sia da personale

esperto, sia da personale neo formato all'utilizzo dell'USI. I risultati ottenuti dello spessore del m. Multifido, rimangono stabili per entrambi i gruppi di esaminatori (esperti – non esperti) e per entrambi i livelli vertebrali, evidenziando così che anche personale neo formato può tranquillamente ottenere alti valori di riproducibilità.

INTERRATER			INTRARATER	
	ICC ^{2,1} (SEM)	ICC ^{3,2} (SEM)	ICC ^{3,1} (SEM)	
L2-L3	0.85(0.13)	0.96(0.06)	ESPERTI	0.94(0.09)
			NON ESPERTI	0.89(0.11)
L4-L5	0.87(0.10)	0.97(0.05)	ESPERTI	0.95(0.09)
			NON ESPERTI	0.88(0.06)

I valori riportati risultano essere compatibili con dati emersi in altri studi di Hides et al, Keisel et al, Van et al, Spinger et al e Watenabe et al.

In uno studio di [Hides e Richardson](#) ⁽¹⁷⁾ non sono state osservate differenze significative tra la metodica ecografica e la MRI, nonostante le differenti posture valutative, prona per RUSI e supina per MRI. Inoltre per validare l'uso dell'Ultrasound Imaging, i cambiamenti muscolari percentuali dello spessore, sono stati comparati con EMG sia a livello m. TrA, sia del m. Multifido. La relazione tra le 2 metodiche è variabile tra i gruppi muscolari, ed è considerata generalmente una relazione lineare solo nei primi livelli di contrazione, dopodiché diviene curvilinea, non evidenziando più mediante l'USI incrementi di spessore muscolare, all'aumentare della contrazione e quindi del segnale elettromiografico. Nella visione parasagittale del m. Multifido, [Kiesel et al](#) ⁽²⁶⁾ ha studiato la relazione tra i cambiamenti percentuali dello spessore muscolare a riposo visionate all'USI e alla EMG durante esercizi contro resistenze agli arti

in posizione prona, in modo da ottenere automatiche contrazioni del m. Multifido ipsilaterale. Tali compiti producono un cambiamento percentuale dello spessore muscolare dal 19% al 43% al massimo sforzo ed una correlazione ($r=0.79$ $P<0.001$) tra questi cambiamenti percentuali dello spessore e l'attività elettromiografica. Non ci sono differenze significative, tra gli ultimi livelli di contrazione muscolare ed i relativi cambiamenti di spessore muscolare in relazione all'EMG, cioè all'incrementare dell'attività elettromiografica lo spessore muscolare del m. Multifido non subisce sostanziali cambiamenti, rimanendo massimali. Lo spessore muscolare, viene considerato al loro massimo quando l'attività EMG è approssimativamente al 20% del massimale. Oltre la quale vi è una tensione tendinea durante la contrazione isometrica, ma scarse variazioni in lunghezza e spessore muscolare. Molte attività giornaliere, riguardano attivazioni muscolari relativamente basse con valori all'interno dell'andamento lineare della relazione spessore muscolare ed attività elettromiografica. In riferimento alla stabilizzazione muscolo scheletrica, la clinica ha ritenuto, che bassi livelli di contrazione, possono rieducare il m. Multifido al ruolo di stabilizzatore e che questo aiuto può essere dato dall'utilizzo della RUSI. [Vasseljen et al](#) ⁽⁴⁶⁾ ha evidenziato deformazioni delle fibre profonde del m. Multifido, comparando l'USI con l'attività elettromiografica per validarne l'uso in riferimento ai timing di attivazione. Specifici esercizi per l'attivazione della muscolatura profonda e superficiale hanno evidenziato che il ritardo di attivazione della muscolatura profonda in soggetti con LBP si presenta sistematico, sia nei confronti del timing di attivazione e sia tra segnale elettromiografico e USI e che pertanto può essere controllato. La validità della RUSI comparata con la MRI è stata eseguita anche a livello cervicale, mostrando dati meno significativi, rispetto alla zona lombare. Lee in uno studio su 10 soggetti sani, ha valutato spessore e CSA del

m. Multifido ai livelli C4-C6, riportando dati accettabili per quanto riguarda lo spessore muscolare ($R^2=0.42-0.64$), ma non in riferimento alla CSA ($R^2=0.11-0.39$; $0.16-0.69$). Questa alta variabilità può essere spiegata dalla piccola CSA a livello cervicale (circa 1cm^2) rispetto alla zona lombare (circa 7cm^2).

AFFIDABILITA' "RUSI" NELLA MUSCOLATURA PARASPINALE					
AUTORI	POPOLAZIONE	AFFIDABILITA' INTRARATER		AFFIDABILITA' INTERRATER	
		ICC	STABILITA' DI RISPOSTA	ICC	STABILITA' DI RISPOSTA
Stokes et al	Sani: 5M e 5F CSA multifido L4	Intragiornaliera + multigiornaliera 0.98 – 1	Intragiornaliera -0.25 ; 0.5 cm^2 Intergiornaliera -0.62 ; 0.67 cm^2	NR	NR
Pressler et al	Sani: 15F CSA multifido S1	Intragiornaliera ICC ^{3,1} R 0.80;L 0.72	SEM R. 0.32 cm^2 L. 0.37 cm^2	NR	NR
Kiesel et al	Sani: 8 Spes. multifido	ICC ^{3,1} 0.85	NR	ICC ^{3,1} 0.95	NR
Van et al	Sani 25 Spes. multifido L4-L5	Intragiornaliera ICC ^{1,1} 0.97 - 0.98	SEM 0.31 – 0.32	ICC ^{2,3} 0.98	SEM 0.31 cm
Wallwork et al	Spes. multifido L4-L5	ICC ^{1,3} 0.92	NR	ICC ^{3,2} 0.97	NR

Hides et al ⁽²²⁾ ha studiato 26 pazienti con primo episodio di LBP unilaterale, trovando sostanziali asimmetrie della CSA del m. Multifido. I 26 pazienti, sono stati selezionati mediante palpazione confinata ad un solo livello vertebrale. Le differenze mostrate nel gruppo esaminato, sono state comparate con soggetti sani e si è osservata una differenza tra i lati del $31\pm 8\%$ nei soggetti con LBP, mentre $< 6\%$ in 51 soggetti asintomatici. Non è stato possibile evidenziare se la riduzione di spessore dei soggetti sintomatici era già preesistente all'esordio acuto di LBP. Comunque, studi su maiali hanno evidenziato che a seguito di un dolore provocato da lesione segmentaria del disco intervertebrale, si evidenzia un rapido decremento della CSA del m. Multifido già nei primi 3 giorni con associazione di cambiamenti istochimici del muscolo.

Kiesel et al ⁽²⁵⁾ hanno dimostrato gli effetti del dolore lombare sul m. Multifido. L'incremento dello spessore muscolare del m. Multifido in seguito a determinati esercizi, è sostanzialmente ridotto a seguito di dolore indotto da iniezioni saline nel m. Erector Spinae (ES). Questa conoscenza applicata all'USI, non solo contribuisce a conoscere gli effetti del dolore sull'attivazione muscolare, ma aggiunge validità alla metodica come misura clinica di disfunzione muscolare.

Hides et al ⁽²⁰⁾ ha trovato una significativa differenza di trofismo muscolare in soggetti con dolore lombare cronico, comparato con un gruppo di controllo di soggetti sani ai livelli vertebrali L4 ed L5. Lo studio, ha osservato una maggiore asimmetria a livello L5 in quei pazienti con dolore unilaterale. Questo è in accordo con studi topografici precedenti, dove hanno dimostrato che l'atrofia muscolare in pazienti con dolore lombare cronico è maggiormente localizzata nella zona bassa lombare e che tale atrofia è ipsilaterale al dolore.

Al contrario altri studi, utilizzando la tomografia, hanno evidenziato che a seguito di un dolore cronico, l'atrofia si presenta in maniera generalizzata, ma comunque in riferimento alla CSA del m. Multifido sempre in maniera maggiore dal lato sintomatico, trovando inoltre evidenze istologiche riguardanti le fibre muscolari con ipertrofia delle fibre di tipo I ed atrofia della fibre di tipo II.

4.5 Implicazioni cliniche e limitazioni

L'impairment del m. Multifido è spesso specifico alla zona di livello vertebrale del sintomo. Questa caratteristica, appartiene sia a soggetti con LBP acuta, sia cronica. Prima dell'utilizzo della RUSI, il fisioterapista poteva stimolare la muscolatura profonda mediante feedback tattili, con cui difficilmente si poteva quantificare l'eventuale condizione atrofica, con una probabile sottostima di

questa. Senza dubbio, l'utilizzo della RUSI, può meglio quantificare la morfologia muscolare, offrendo un valore quantitativo decisamente più attendibile. Possono pertanto essere descritte le caratteristiche muscolari di partenza, per poi documentare i reali cambiamenti a seguito di determinati esercizi riabilitativi, sia specifici che globali. Come già detto precedentemente, la selettività dell'esercizio è importante al fine di ottenere risultati migliori e senza dubbio l'utilizzo della RUSI, pone a vantaggio di tali metodiche, in quanto aiuta il paziente ad una maggiore selettività del muscolo, aumentandone l'apprendimento motorio di quel singolo muscolo e distretto. Nonostante la presenza di importanti evidenze scientifiche a favore dell'utilizzo dell'USI, sia in ambito della ricerca, sia nella pratica clinica, l'utilizzo rimane ancora una scommessa per il futuro. Senza dubbio, occorrono ulteriori studi che abbiano una metodologia che tenda maggiormente ad eliminare possibili bias.

Al momento, l'ultrasound imaging non è ancora entrato in ambito riabilitativo in maniera globale. Infatti, affinché questa metodica possa entrare in maniera definitiva nella pratica clinica e valutativa, essa deve essere integrata e considerata parte dell'intero processo riabilitativo e non soltanto una metodica fine a se stessa. Un'ulteriore limitazione è data dal campo visivo trasdotto che, senza dubbio è minore rispetto alla visione ottenuta alla MRI e TC. Le misurazioni, non possono inoltre essere oggettive, ma di comparazione tra una condizione di riposo ed una condizione di contrazione. La difficoltà di potere valutare e successivamente trattare pazienti particolarmente obesi, depone a svantaggio di tale metodica. Il costo di tale metodica, seppur minore rispetto alla MRI e TC, non ha a tutt'oggi raggiunto costi tali, affinché l'ambito fisioterapico possa abbracciare in maniera massiccia questa metodica. Al momento, apparecchiature portatili sono sufficientemente abbordabili da parte

dei professionisti della riabilitazione, ma la risoluzione d'immagine non ha ancora raggiunto buoni livelli, [Hides e Richardson](#) ⁽¹⁸⁾

4.6 Direzioni future delle ricerche

L'applicazione di tecniche innovative, pone sempre ulteriori domande, alle quali è necessario dare una risposta. Tuttavia l'utilizzo della RUSI, sembra possa diventare routine in ambito riabilitativo. Tale per cui un maggior utilizzo di questo strumento potrebbe portare alla compilazione di protocolli riabilitativi più dettagliati e standardizzati.

Studi clinici futuri che valutino in maniera più dettagliata, ampiezza del trasduttore, modalità di trasduzione (lineare o curvilinea), potranno fornire linee guida metodologiche più appropriate. Il valore predittivo delle misure lineari per il calcolo della CSA del m. Multifido, ha bisogno di essere stabilito con maggiore chiarezza in tutte le sue variabili; riposo o contrazione, atrofia o ipertrofia. E' inoltre importante chiarire, con maggior dettaglio la validità predittiva della CSA del m. Multifido, calcolata dalle misure lineari, in particolari forme irregolari muscolari.

Un ulteriore aspetto è identificare sottogruppi di pazienti in riferimento all'età, al sesso, alle caratteristiche fisiche (peso, altezza), all'etnia, alla distribuzione geografica (differenti stili di vita), agli attuali e/o passati livelli di attività fisica (sedentari, attivi, iperattivi).

Studi che possano identificare l'interrelazione tra i differenti livelli spinali.

Studi longitudinali epidemiologici che riescano a determinare i soggetti a rischio di sviluppare LBP o dolore al collo e se questa possibilità è dipendente da una condizione atrofica prima dell'inizio della sintomatologia, o viceversa tale meccanismo si innesca solo successivamente all'insorgenza del dolore.

Studi che quantificano quanto il tessuto connettivo ed infiltrazioni adipose, possono diminuire le capacità contrattili del muscolo, determinando negativamente le ampiezze muscolari, soprattutto in pazienti con LBP cronica e durante l'invecchiamento.

Potrebbe essere interessante conoscere il rapporto tra tessuto contrattile e tessuto alterato non contrattile. Gli effetti che varie patologie possono determinare sulla muscolatura deve essere studiata con maggiore dettaglio, per avere un miglior inquadramento in ambito muscoloscheletrico e neurologico.

Si raccomanda infine che studi futuri siano metodologicamente ben fatti, ma che presentino metodi statistici tracciati da [Whittaker et al ^{\(48\)}](#), in modo da permettere comparazioni tra gli studi ed aumentare e migliorare le linee guida o indicazioni di base attualmente disponibili.

5 REAHABILITATIVE ULTRASOUND IMAGING DELLA MUSCOLATURA ADDOMINALE

I trattamenti di stabilizzazione lombare, hanno ormai dimostrato successo riabilitativo in varie problematiche: spondilolisi, spondilolistesi, dolore pelvico e low back pain ricorrente. Outcomes valutativi come dolore, disabilità e diminuzione della low back pain ricorrente, riferiscono eventuali miglioramenti clinici. L'importanza in ambito di ricerca di ottenere misure affidabili ed accurate, porta sempre più alla ricerca di metodiche che possano soddisfare al meglio tale richiesta. La stimolante ricerca di metodiche che possano spiegare in modo soddisfacente, controllo e coordinazione motoria durante lo svolgimento di compiti funzionali, ha portato ad indagare sempre più sulla metodica RUSI. La possibilità di indagare la muscolatura profonda addominale nella sua morfologia, comportamento motorio e successivo riapprendimento funzionale è stata indagata da vari studi in questi ultimi anni.

Il ruolo importante della muscolatura addominale profonda ed in particolare del m. Traverso dell'Addome (TrA) è stato evidenziato in clinica in maniera soddisfacente. Questo muscolo presenta un orientamento dei suoi fasci superiori tendenzialmente orizzontale, nei suoi fasci intermedi un orientamento infero mediale e nei suoi fasci inferiori un orientamento parallelo al legamento inguinale ed alla cresta iliaca.

L'attivazione bilaterale del m. TrA contribuisce a creare tensioni sulle strutture fasciali della regione lombare, includendo la fascia toracolumbare ed a modulare la pressione intraddominale (IAP), creando compressione a livello articolare sacro iliaco e costale inferiore, contribuendo ad un maggior controllo dell'unità spinale lombare.

L'unità muscolo fasciale formata dal m. TrA, fascia toraco lombare e fascia anteriore è descritta in letteratura con il termine “corset”.

La IAP, sembra essere maggiormente influenzata e modulata dalla regione addominale intermedia, rispetto alla restante parte della muscolatura, come dimostrano studi elettromiografici. Questo perchè possiede una minore soglia di attivazione durante la respirazione.

Sebbene la funzione primaria delle fibre del m. TrA sia di contenimento viscerale, questa regione muscolare ha capacità di compressione a livello dell'articolazione sacro iliaca (SI), determinando una chiusura di forza che è stata descritta da [Snijders et al](#) ⁽³⁸⁾. Studi recenti hanno confermato su soggetti sani, che durante la contrazione selettiva della muscolatura profonda addominale, aumenti la chiusura di forza, determinata da una maggiore rigidità dell'articolazione SI. Sia il m. Obliquo Esterno (OE), ma soprattutto il m. Obliquo Interno (OI) sono sinergici al m. TrA contribuendo ad aumentare la IAP, determinando un'ulteriore compressione a livello dell'articolazione SI.

5.1 Richiami anatomici e morfologia della parete addominale

La muscolatura addominale può essere tendenzialmente divisa in:

Parete addominale laterale che include il m. TrA, m. OI e m. OE.

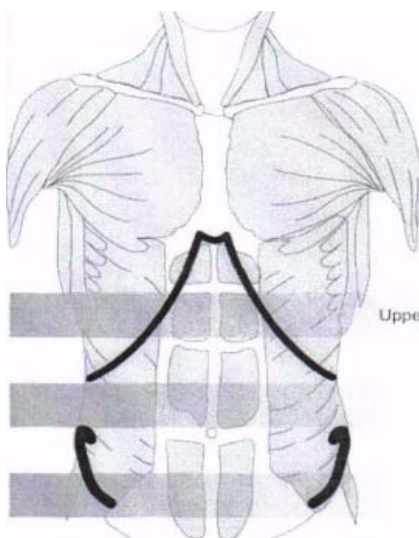
Parete addominale anteriore che include il m. Retto addominale (RA) e la relativa fascia associata.

A livello della Parete addominale laterale il m. OE origina dalla 8^a costa, si inserisce alla linea alba e terzo medio della cresta iliaca. Alcuni autori a differenza di altri descrivono un attacco posteriore alla Fascia toracolombare (TLF) e lombare superiore. Il m. OI interno origina dai 2/3 anteriori della cresta iliaca, terzo medio del legamento inguinale e si inserisce sulla cartilagine

costale della 3^a-4^a costa, alla linea alba e cresta pubica. Sono state descritte variabili sull'attacco di fasci del m. OI alle vertebre lombari inferiori e TLF.

Il m. TrA origina dall'interno della superficie costale della 6^a costa, dalla TFL, dai 2/3 anteriori della cresta iliaca, dal terzo laterale del legamento inguinale e si inserisce sulla linea alba e pelvi.

Schematicamente la parete addominale laterale è stata divisa in tre regioni: superiore (sopra l'11^a costa), intermedia (tra l'11^a costa e la cresta iliaca) ed inferiore (sotto la cresta iliaca).



La parete addominale anteriore è compresa dal m. RA e dalla fascia addominale anteriore, divisa in due parti (dx e sx) dalla linea alba.

Le aponeurosi del m. TrA, m. OI e m. OE, prendono contatto con la parete addominale anteriore.

Notevoli sono infatti le connessioni mediante aponeurosi tra la parete addominale laterale, quella anteriore e nuovamente quella laterale controlaterale. La linea alba trasmette i carichi tra le due sedi addominali.

Durante l'attivazione del m. TrA si accumulano tensioni muscolari che vengono trasferite medialmente al m. RA, muscolo molto grande con il ruolo principale di avvicinare le coste alla pelvi, fornendo un momento flessorio su piano sagittale. Questo muscolo è l'unico muscolo addominale per il quale può essere misurata la CSA. Il m. RA è il muscolo con maggior spessore di tutta la muscolatura addominale. La CSA, risulta maggiore nel sesso maschile. Inoltre, c'è una correlazione significativa tra l'indice di massa corporea (BMI) e l'area di sezione trasversale del m. RA. In riferimento all'asimmetria di questo muscolo, questa risulta minore di tutta la restante muscolatura della parete addominale laterale, con valori percentuali tra il 10% ed il 12%. Reid e Costigan riportano differenze significative dell'area di sezione trasversale del retto addominale in relazione all'età.

In soggetti senza dolore lombopelvico, la muscolatura del m. RA, m. OI, m. OE e m. TrA rappresentano rispettivamente le percentuali relative dello spessore totale, pari a 35%, 28,4%, 22,8% e 13%. E' stato osservato in riferimento alla muscolatura addominale che l'errore standard medio si riduce del 50% se si forniscono tre misurazioni del m. TrA, mediante metodica USI.

Lo spessore della muscolatura addominale non è distribuita uniformemente in tutta la parete addominale. Generalmente la parete addominale laterale è più spessa. Il m. TrA e il m. OI, hanno omogeneità di spessore in tutta la parete addominale intermedia ed inferiore; il m. Obliquo Interno può presentare a livello della parete addominale media ed inferiore, strati muscolari fasciali separati, talvolta visibili all'USI. Il m. OE potrebbe essere assente nella porzione laterale inferiore al di sotto della cresta iliaca.

L'USI tende ad essere utilizzato prevalentemente nella zona intermedia della parete addominale laterale, a differenza della contrazione con relativa palpazione digitale del m. TrA che invece vede interessata la parte inferiore

della parete addominale laterale. I diversi ruoli funzionali della porzione intermedia, rispetto alla inferiore e viceversa, potrebbero essere materia di indagine in studi successivi in relazione a misure valutative e riabilitative mediante l'utilizzo dell'USI.

La simmetria muscolare della parete addominale, può essere una guida clinica per evidenziare condizioni di atrofia o cambiamenti a seguito di patologie. Va considerato che le asimmetrie possono di per se essere del tutto normali. Infatti soggetti senza disfunzioni lombo pelviche, mostrano variabilità di spessore muscolare che oscillano tra il 12,5% ed il 24%. La simmetria di spessore del singolo muscolo diviene molto più coerente e precisa quando il singolo spessore è riferito allo spessore totale della parete addominale, giungendo a valori di asimmetria tra le sedi inferiore all'1,5%.

Studi su soggetti sani, hanno evidenziando minime differenze relative dello spessore del m. TrA in relazione a possibili effetti che l'arto dominante può determinare. Concetto rafforzato da uno studio che ha valutato il m. TrA a riposo in relazione a soggetti con arto inferiore amputato. Sempre in questo studio si osserva invece che in riferimento al m. OI ed OE le asimmetrie divengono più marcate con spessori muscolari maggiori ipsilaterali alla parte corporea maggiormente attiva, [Springer et al](#) ⁽³⁹⁾ .

In riferimento ai valori assoluti degli spessori muscolari, quelli maschili sono sensibilmente maggiori di quelli femminili ad eccezione del m. TrA.

Il medesimo studio, valutando soggetti senza dolore a livello lombopelvico, ha trovato che il sesso femminile ha in proporzione una sezione muscolare del m. TrA più grande rispetto al sesso maschile, sia in condizione di riposo e sia in contrazione. Al contrario lo spessore relativo del m. OI risulta maggiore nel sesso maschile.

Queste differenze tra i due sessi sono da tenere in considerazione, in quanto se ignorate potrebbero portare ad errori in ambito clinico valutativo e riabilitativo. Vi è una sostanziale incertezza di correlazione tra l'indice di massa corporea (BMI) e lo spessore muscolare. Due studi hanno principalmente indagato questa correlazione, il primo riporta un valore di correlazione tra 0.36 e 0.57, lo studio di [Springer et al](#) ⁽³⁹⁾ tra 0.66 e 0.80, determinando così una alta variabilità ed incertezza.

In uno studio su 120 soggetti sani [Stokes e Rankin](#) ⁽⁴¹⁾ non mostrano differenze età-relazionate degli spessori muscolari mediante la valutazione tramite USI, all'interno di varie tipologie di esercizi al tronco.

Quello che si evince è che, sesso, peso, indice di massa corporea ed età possono essere considerate senza dubbio delle covariabili, delle quali non si può non tenerne conto. Studi successivi potrebbero indagare la relazione tra gli spessori muscolari e l'interazione delle tre covariabili sopra citate.

Sebbene la MRI, sia considerata gold standard per valutare cambiamenti tessutali degenerativi dell'architettura muscolare, molti ricercatori hanno riferito che l'utilizzo dell'USI possa fornire comunque importanti dati in relazione a questi cambiamenti.

In uno studio [Strobel et al](#) ⁽⁴²⁾, hanno sviluppato una valutazione qualitativa dello strumento in relazione all'atrofia e depositi adiposi all'interno del m. Sovraspinato ed Infraspinato, comparando i dati con la MRI e determinando una moderata accuratezza nell'indagare questa variabile, che incoraggia all'utilizzo di tale metodica anche a livello delle pareti addominali. Successivamente infatti, simili caratteristiche con valori moderati di accuratezza della misurazione sono state osservate anche a livello addominale.

Tipicamente la postura con cui viene valutato il paziente in riferimento alla muscolatura addominale è la posizione supina. La versatilità dell'USI, permette

di valutare questa muscolatura in varie posture e durante compiti funzionali, quali: posizione quadrupedica, seduti su una palla, a sedere, in posizione eretta e durante il cammino. L'utilizzo del Pressure Biofeedback Unit (PBU) può garantire un maggior controllo posizionale del bacino e rachide lombare nella varie posture sopracitate. In riferimento alla trasduzione del segnale, il range di frequenze tra i 5-10MHz, permette una adeguata visualizzazione delle pareti muscolari. Un'alta frequenza curvilinea, può permettere ampie visualizzazioni, talvolta tali da tradurre l'intera estensione muscolare del m. TrA. Poiché l'intento valutativo è quello di valutare dinamicamente specifiche regioni della parete addominale durante attività funzionali, come l'Abdominal Drawing-in Maneuver (ADIM), frequenze di tipo lineare potrebbero garantire una maggiore accuratezza di segnale. Gli studi propongono varie modalità di localizzazione del trasduttore. In generale i ricercatori si sono focalizzati sulla regione addominale intermedia, tra il bordo dell'11^a cartilagine costale e la cresta iliaca (linea media ascellare o linea anteriore ascellare). [Stokes e Rankin](#) ⁽⁴¹⁾ comparando due modalità di posizione del trasduttore più comuni, hanno trovato variazioni delle misure.

L'immagine ecografia riportata sul video, è opposta alla sede d'ispezione corporea. La misura dello spessore muscolare è dipendente dalla localizzazione di trasduzione. Sebbene la muscolatura addominale è relativamente uniforme, differenti posizionamenti del traduttore, portano ad una variabilità. Importante non sottovalutare il ciclo respiratorio, poiché la fase espiratoria determina una attività della muscolatura addominale. E' stato proposto che una corretta misurazione è raggiunta a fine espirazione non forzata a glottide aperta.

Come già menzionato precedentemente, considerare possibili fattori confondenti, quali sesso, età ed indice di massa corporea (BMI) come covariabili, in aggiunta ad un calcolo degli spessori muscolari riportati in valore

relativo percentuale, possono meglio rappresentare i dati analizzati, offrendo una maggiore comparazione tra soggetti sintomatici e non sintomatici ed eventuali asimmetrie.

5.2 Comportamento statico e dinamico della parete addominale.

Oltre alla misurazione della morfologia muscolare l'USI, può essere usato per valutare il comportamento e la funzione della parete muscolare addominale. Esso è in grado di valutare caratteristiche quali: lunghezza muscolare, angolo di pennazione e spessore muscolare, i quali ci possono essere clinicamente di aiuto circa alle abilità del soggetto a contrarre la muscolatura durante compiti automatici e volontari, nonché la coordinazione muscolare durante la richiesta di tali compiti. Durante le attività di riposo, quale può essere una semplice postura eretta, l'attività tonica della parete addominale sembra essere maggiore nella parte più bassa. Questo è stato associato al gradiente idrostatico di supporto al contenuto addominale. Inoltre, l'attività muscolare a riposo è di aiuto a mantenere le lunghezze muscolari del diaframma, determinandone la capacità di contrarsi ed il mantenimento della IAP, favorente la chiusura di forza dell'articolazione sacro-iliaca. L'attività tonica muscolare addominale diminuisce in posizione supina. Possibili cambiamenti dell'attività muscolare a riposo, sembra essere clinicamente osservabile mediante l'utilizzo dell'USI. Questa metodica, sembra essere infatti poter evidenziare cambiamenti percentuali relativi degli spessori muscolari durante una condizione di riposo e durante l'attività muscolare, in modo sufficientemente netto (fig. 3,4,5,6).

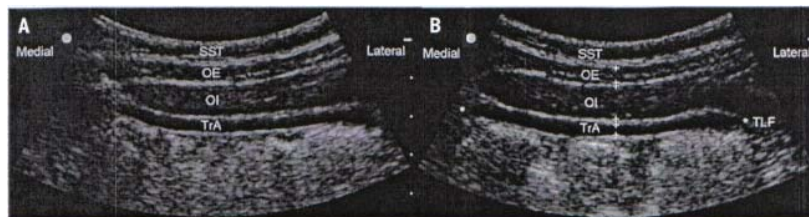


Fig.3

Fig.4

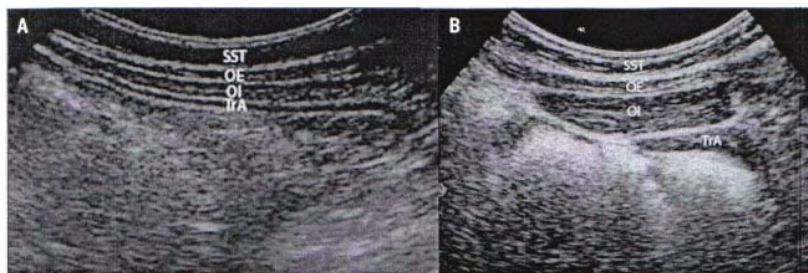


Fig.5

Fig.6

In riferimento alla capacità di evidenziare caratteristiche muscolari in condizioni di riposo, l'utilizzo di questa metodica può essere giustificata anche dal punto di vista rivalutativo del post trattamento. Sebbene tutta la muscolatura addominale contribuisce al controllo ed alla stabilità lombo pelvica, il m. TrA ha funzione di controllo indipendente dall'altra muscolatura addominale, così come da attività motorie degli arti e deambulazione. Questo muscolo ha attività anticipatoria (feed forward) ed è indipendente dalla direzione delle forze agenti sul rachide. Viceversa la muscolatura superficiale è dipendente da queste forze. Questo pattern di attivazione muscolare a livello del tronco, è modificato nei soggetti con LBP e dolore pelvico. Questi soggetti hanno una maggiore attivazione della muscolatura superficiale, come il m. OE ed il m. RA, spesso associata alla muscolatura lunga estensoria del rachide.

Inoltre, va sottolineato che il pattern di attivazione della muscolatura superficiale, è variabile tra individui, mentre il pattern di attivazione della muscolatura profonda risente di una problematica lombare, mostrandosi spesso ridotto e ritardato nei tempi di attivazione. Una riduzione dell'attività del m.

TrA è stato riferito anche in soggetti con dolore inguinale. Recenti dati suggeriscono che attraverso specifici esercizi è possibile migliorare la coordinazione a livello del tronco. L'utilizzo dell'USI potrebbe fornire un aiuto per la comprensione dell'attivazione muscolare, ma non può dare ulteriori indicazioni di aiuto per quanto riguarda i timing di attivazione, poiché presenta dei ritardi di visualizzazione del feedback nell'ordine di 10 ms tali da non consentire un corretto e simultaneo approccio visivo.

La valutazione dell'attivazione automatica del m.TrA, cerca di evidenziare la strategia di attivazione di questo muscolo durante movimenti distali, non richiedendo movimenti specifici a livello del tronco. Uno di questi studi [Ferreira et al ^{\(12\)}](#), si basa su contrazioni isometriche all'arto inferiore, sia verso flessione, sia verso estensione, con forze equiparabili al 7,5% della forza peso del soggetto. I ricercatori hanno trovato che entrambi le contrazioni determinano un azione tonica della muscolatura profonda, mentre la muscolatura superficiale si attiva mediante una sola direzione del movimento. Durante questa fase l'incremento medio dello spessore muscolare è approssimativamente del 20% nei soggetti senza LBP, mentre scende considerevolmente nei soggetti con presenza di LBP, attestandosi al 4% circa. Non ci sono differenze significative inerenti al m. OI ed OE. L'attivazione automatica della muscolatura addominale è stata studiata anche mediante l'Active Straight-Leg Raise test (ASLR). [O'Sullivan et al ^{\(32\)}](#) hanno valutato le possibili alterazioni della muscolatura pelvica usando l'ultrasound imaging durante l'azione di tale test, in soggetti con disfunzioni sacro-iliache. Lo studio si è proposto principalmente di osservare la bilateralità di attivazione del m. TrA ad inizio movimento, valutando possibili disfunzioni da ipoattività o iperattività della muscolatura profonda. L'attivazione in feedforward della parete addominale a seguito di contrazioni sub massimali distali è stata

osservata anche in uno studio di [Hides et al](#) ⁽¹⁹⁾ che escludendo tutte le possibili variabili dovute ad atteggiamenti posturali anticipatori ha posizionato i soggetti sani in posizione supina con ginocchio flesso a 60° e caviglia a 90°, chiedendo loro dei carichi sub massimali fino al 50% e registrandone i dati nella condizione di riposo e submassimale al 25%, determinando una contrazione simmetrica della parete addominale profonda, avvalorando la concezione ormai inequivocabile della funzione di “Corset”, come stabilizzatore della regione lombo-pelvica.

RECLUTAMENTO DELLA MUSCOLATURA ADDOMINALE PROFONDA DURANTE BASSI CARICHI DI LAVORO			
	RIPOSO	SUBMASSIMALE 25%	DIFFERENZA %
Obliquo Interno	7.0 (1.6)	8.3 (1.8)	18.5%
Trasverso dell'Addome	3.6 (0.9)	4.5 (1.1)	24.7%
Slide Lateral TrA	/	1.3 (2.0)	/

I dati di questo studio sono stati comparati con quelli dello studio sopra citato di [Ferreira et al](#) ⁽¹²⁾ che ha valutato mediante l'USI ed elettromiografia intramuscolo la parete addominale con la medesima postura, durante carichi molto bassi all'arto inferiore (7.5% e 15% del peso corporeo), tali da ottenere contrazioni automatiche della parete addominale. Nello studio si osserva che il gruppo sperimentale con LBP ha minori incrementi percentuali degli spessori muscolari e che questi scostamenti avvengono principalmente a livello del m. TrA. Si osserva inoltre che l'associazione e correlazione di tipo lineare tra l'USI e l'elettromiografia è presente essenzialmente a livello del m. TrA ed in parte del m. OI, durante la richiesta di bassi carichi, mentre non è clinicamente significativa nella restante muscolatura più superficiale. Inoltre, tale associazione diminuisce all'aumentare dei carichi distali richiesti, osservando

un aumento elettromiografico in assenza di aumenti di spessore, confermando una relazione lineare, solo a bassi carichi di lavoro. In aggiunta alla valutazione della attivazione automatica della muscolatura profonda, l'utilizzo dell'USI, può portare informazioni inerenti all'attivazione volontaria di questa muscolatura. Questo è possibile durante la manovra ADIM. [Spinger et al ^{\(39\)}](#), hanno trovato che durante questa manovra il m. TrA rappresenta il 22% dello spessore totale della muscolatura addominale in condizioni di riposo, passando al 34% durante la fase attiva di fine espirazione, determinando così un aumento pari al 52%. Inoltre [Teyen et al ^{\(43\)}](#) ha evidenziato che nei soggetti abili ad eseguire correttamente questa manovra il m. TrA raddoppia il suo spessore, mentre la restante muscolatura addominale rimane sostanzialmente invariata. I soggetti invece che non sono abili ad eseguire questa manovra hanno una attivazione più generalizzata della muscolatura superficiale, con l'alterazione dei pattern motori.

ABDOMINAL DRAWING – IN MANEUVER (ADIM)	
Patter di attivazione ottimale	1. Accorciamento del TrA e tensionamento della fascia anteriore e fascia toraco-lombare 2. L'incremento dello spessore muscolare del TrA 3. Il m. TrA forma un arco laterale "action corset" 4. Le dimensioni do OE ed OI rimangono sostanzialmente invariate 5. Il pattern di attivazione è simmetrico
Profili non ottimali con pattern di attivazione globali	1. Tutti gli spessori muscolari TrA, OI, e OE incrementono simultaneamente e spesso rapidamente 2. L'attivazione del TrA è debole e non in grado di applicare tensione alle fasce adiacenti 3. Incapacità di avvolgenza sinergica della cintura addominale da parte del TrA 4. Il pattern di attivazione è asimmetrico
Comune sostituzione dei pattern	1. Respirazione trattenuta o espirazione forzata 2. Tono eccessivo della muscolatura superficiale 3. Tilt posteriore pelvico o flessione del tronco durante la manovra 4. Depressione delle coste durante la manovra ADIM 5. Incremento del carico all'arto nonostante la posizione supina 6. Attivazione fasica con velocità ed incapacità di attivazione 7. Movimenti minimi o assenti a livello del basso addome

Un punto di rilevante importanza clinica durante la manovra ADIM, è la contrazione sinergica del m. Multifido, la quale è fondamentale in un approccio riabilitativo atto a ripristinare una corretta coordinazione muscolare lombopelvica. E' ormai assodato che un dolore indotto a livello lombare, comporta un decremento delle abilità ed una scorretta contrazione del m. TrA durante la manovra ADIM. Kiesel et al ⁽²⁵⁾ inducendo dolore mediante infiltrazioni saline alla muscolatura lunga paravertebrale a livello di L4, ha dimostrato che l'abilità ad eseguire la manovra ADIM era diminuita in percentuale del 20%. I ricercatori concludono che l'utilizzo dell'USI può valutare la relazione tra dolore e relativi cambiamenti in negativo dell'attività del m. TrA. Il comportamento muscolare mediante misurazioni in dinamica dello spessore muscolare è stato osservato durante compiti che includessero attività volontarie e/o automatiche. Durante il compito funzionale il muscolo viene valutato in sezione o accorciamento (spostamento laterale). Una valutazione dinamica, può riferirsi al comportamento muscolare della parete addominale durante la manovra ADIM, la quale è parte integrante della riabilitazione durante esercizi di stabilizzazione lombare. Ricercatori hanno infatti evidenziato mediante l'utilizzo valutativo dell'USI, che soggetti sani mostrano una sostanziale simmetria dell'attivazione del m. TrA con minime attivazioni della muscolatura più superficiale in assenza di movimento a livello del rachide lombare. Durante l'attivazione è importante considerare i cambiamenti muscolari nel suo complesso. Va ricordato che tendenzialmente il volume muscolare viene conservato, poiché in un accorciamento muscolare lo spessore di tale muscolo aumenta, viceversa durante un allungamento muscolare questo spessore diminuisce. Pertanto è logico pensare che durante le misurazioni cliniche tali possibili fattori confondenti devono essere presi in considerazione, valutando a pieno il tipo e la corretta attività che viene

richiesta. Va inoltre considerato che i cambiamenti di forma del muscolo sono dipendenti dalla muscolatura adiacente. Teoricamente l'attivazione di un muscolo importante come l'OI, potrebbe determinare compressioni tali da modificare i parametri della muscolatura adiacente. Per questa ragione che la valutazione del m. TrA, è probabilmente più accurata quando si richiedono contrazioni muscolari tali da provocare solo minime contrazioni della muscolatura adiacente. Tali accorgimenti, sembrano essere soddisfatti durante la manovra ADIM, mentre compiti più complessi, dove più gruppi muscolari adiacenti lavorano in sinergia possono risultare alquanto difficoltosi da valutare e conseguentemente poco significativi. L'USI è in grado di vedere contemporaneamente entrambi le variabili del comportamento muscolare. Infatti durante la manovra ADIM sono visibili sia lo spessore che l'accorciamento muscolare del m. TrA. Infine, va considerato che un allungamento passivo della muscolatura in assenza di attività può determinare cambiamenti in riferimento ai parametri valutativi, per esempio un aumento della circonferenza addominale, tipico degli obesi, comporta un aumento in lunghezza muscolare che determina spessori muscolari più piccoli.

Poiché come già detto in precedenza un accorciamento della parete addominale laterale determina una tensione della parete addominale anteriore, con una maggiore chiusura di forza delle articolazioni lombopelviche, va da se che l'utilizzo dell'USI garantisce importanti osservazioni in merito.

La misurazione effettiva del cambiamento di spessore muscolare e della lunghezza sono date dalla sovrapposizione delle immagini USI in condizioni di riposo rispetto alle condizioni attive. Questa condizione richiede un mantenimento corretto del trasduttore sia come localizzazione, sia come orientamento. In riferimento alla misurazione della parete addominale anteriore, il m. RA può essere misurato nella sua CSA. Una buona localizzazione del

trasduttore, può portare ad immagini ecografiche sufficientemente ampie per vedere la totalità del muscolo. [Stokes e Rankin](#) ⁽⁴¹⁾ hanno descritto come giusta localizzazione la superficie corporea sopra l'ombelico, muovendo il trasduttore lateralmente fino a trovare l'immagine che visualizzi totalmente la sezione muscolare da valutare. Per quanto riguarda la misura dello spessore muscolare del RA, viene misurata la massima distanza tra la fascia superficiale e quella profonda. Spessore massimo che tipicamente è sulla linea mediana del corpo.

5.3 Affidabilità, validità delle misurazioni della muscolatura addominale

Le varie misurazioni sono state valutate sia in intraoperatore (ICC, Intra-class correlation) e sia interoperatore (ICC, Inter-class correlation). Valutazioni eseguite o in modalità b-mode (brightness mode) o in modalità m-mode (motion mode). Malgrado gli eccellenti valori ottenuti nei vari studi riportati, saranno utili in futuro ulteriori ricerche che possano indurci a capire quali possano essere le modalità di misurazione che possano portare ad una diminuzione degli errori di misurazione.

[Springer et al](#) ⁽³⁹⁾, ha riportato che la valutazione degli spessori muscolari a seguito di tre misurazioni in condizione di riposo e tre misurazioni durante una condizione attiva (ADIM), determina una diminuzione dell'errore standard medio (SEM) di circa il 50%. Affinché il cambiamento percentuale possa avere un significato dal punto di vista clinico deve ricadere nell'intervallo di confidenza del 95%. Altrimenti anche considerevoli cambiamenti percentuali degli spessori muscolari possono non avere significato e pertanto non essere clinicamente considerati in particolari condizioni che possano fare pensare a condizioni di alterato trofismo muscolare. Un possibile bias degli studi è dovuto al fatto che le medie dei valori ottenuti sono il risultato di misurazioni ottenute con modalità di contrazione difficilmente costante. Infatti il soggetto esaminato,

anche nella fase attiva ADIM oscilla tra contrazioni submassimali a contrazioni massimali. Le tecniche valutative utilizzano marker anatomici, come il margine superiore della cresta iliaca, linea media ascellare, bordo posteriore o anteriore della parete addominale laterale, che suggeriscono facilitazioni nel disporre il trasduttore. La linea ascellare anteriore rappresenta il miglior punto dalla quale si può osservare l'aspetto muscolare del m. TrA, ma al tempo stesso è il marker che da minori punti di riferimento durante la successione di ulteriori misurazioni. Ulteriori possibili errori valutativi, che possano inficiare la misurazione, sono compiti che portano ad incrementi IAP, come movimenti del rachide e degli arti. Una ulteriore attenzione va effettuata sulla posizione, orientamento e pressione d'utilizzo del trasduttore sulla cute, che possono indurre ad errate valutazioni. A tale proposito l'utilizzo di un gel applicato nell'interfaccia trasduttore-cute sembra avere effetti benefici sul controllo pressorio, in aggiunta alla capacità dell'esaminatore di alleggerire la pressione del trasduttore, contemporaneamente agli aumenti della IAP. E' logico pensare, che il controllo di queste variabili risultano più difficili da controllare quando viene chiesto al paziente di effettuare compiti più complessi. Pertanto, un lieve ed attento movimento durante i compiti funzionali del soggetto esaminato, al fine di ottenere il centraggio del trasduttore possa essere un dettaglio aggiuntivo circa la diminuzione degli errori di misurazione, [Whittaker et al](#) ⁽⁴⁸⁾.

AFFIDABILITA'						
Autore	Modalità	Muscoli valutati	Affidabilità intraoperatore ICC	Stabilità di risposta intraoperatore	Affidabilità interoperatore ICC	Stabilità di risposta interoperatore
Rankin et al	B-mode	TrA,OI,OE,RA (riposo)	Stesso giorno 0.98-0.99 (IC 95% 0.85-1.0) Follow-up 7gg 0.96-0.99 (IC 95% 0.85-1.0)		Non riportato	Non riportato
Teyhen et al	B-mode	TrA	0.93-0.98	SEM 0.13-0.31	Non riportato	Non riportato
Sprinter et al	B-mode	TrA + Parete addominale laterale (riposo + ADIM)	Non riportato	Non riportato	ICC (singola misura) 0.93-0.99 (IC 95% 0.86-1.0) ICC (media delle misure) 0.98-1.0 (IC 95% 0.92-1.0)	SEM (singola misura) 0.32-0.80 mm SEM (media delle misure) 0.13-0.35 mm
Hides et al (in press)	B-mode	TrA,OI (sp) (riposo + ADIM) Slide TrA	Stesso giorno 0.62-0.82 (sp) 0.44 (slide) 4-7 gg 0.63-0.85 (sp) 0.36 (slide)		Non riportato	
Hides et al	B-mode	Slide TrA	0.78-0.91		Non riportato	Non riportato
McMeeken et al	M-mode B-mode	TrA	0.99 (B-mode) 0.98 (M-mode) 0.82 (B-M-mode)		Non riportato	Non riportato

L'EMG e la MRI, sono state usate per valutare e comparare le misurazioni ottenute mediante l'utilizzo della RUSI. Due studi hanno messo in evidenza la validità dell'USI, misurando i cambiamenti degli spessori muscolari, con o senza la misurazione dello spostamento laterale (slide lateral), in comparazione all'attività elettromiografica durante contrazioni isometriche della parete addominale.

[Hodges et al ^{\(23\)}](#), ha riportato una relazione tra i cambiamenti di spessore muscolare del m. TrA e m. OI e l'attività elettromiografica muscolare. Questa relazione ha un andamento curvilineo con un plateau intorno al 20% della contrazione massimale, oltre la quale la dipendenza dello spessore muscolare rispetto all'allungamento muscolare varia per un aumento di tensione tendinea. In pratica, all'aumentare della contrazione isometrica lo spessore muscolare e l'attività elettromiografica si relazionano in maniera curvilinea. Questa relazione vale anche per altri muscoli della parete addominale. Durante attivazioni muscolari non isometriche, la relazione tra EMG e RUSI è molto più complessa e non significativa. Si può pertanto affermare che relazioni tra attività elettromiografica e spessori muscolari o lateral slide del m. TrA, durante contrazioni isometriche di livello moderato-alto, non rendono la comparazione valida ed affidabile. In riferimento al m. OI non è stata individuata nessuna correlazione tra lo spessore muscolare e la sua attività elettromiografica e pertanto non è possibile individuare quale possa essere il range valutativo dell'USI in merito a questo muscolo. Il secondo studio, [McMeeken et al ^{\(30\)}](#), affermano che durante la contrazione isometrica del m. TrA in soggetti sani, la relazione tra spessori muscolari ed EMG sia di tipo lineare, senza però dare dati significativi in merito. Studi futuri dovranno indagare con maggiore precisione le varie attività muscolari, tenendo conto dei cambiamenti della muscolatura adiacente, in maniera più significativa tali da non inserire possibili fattori fuorvianti il risultato. Si

dovranno inoltre mettere in evidenza comparazioni ottenute su pazienti patologici.

La MRI è ritenuta il gold standard nella valutazione della morfologia muscolare. Studi recenti hanno valutato la parete addominale laterale, la CSA, sia in condizione di riposo, sia durante la manovra ADIM.

Uno studio pilota, ha misurato le funzioni muscolare del m. TrA di 7 soggetti, di cui 4 con LBP e 3 in assenza di LBP. Durante la manovra di ADIM, la MRI ha riscontrato asimmetrie nei soggetti sintomatici ed una sostanziale simmetria nei soggetti asintomatici, determinando un aumento dello spessore muscolare accompagnato da una diminuzione dell'area di sezione trasversale (CSA), etichettandolo come il già menzionato corsetto muscolofasciale profondo "corset".

Hides et al ⁽²¹⁾ hanno comparato le misure ottenute in condizione di riposo e durante la fase ADIM di entrambi le modalità valutative. I 13 soggetti valutati non avevano una sintomatologia lombare. All'interno dello stesso giorno sono state fatte varie misurazioni, prima secondo la modalità MRI e successivamente secondo la modalità RUSI, utilizzando il medesimo protocollo valutativo. Le misure sono state effettuate da 2 operatori indipendenti in cieco.

		LEFT		RIGHT	
		RILASSATO	CONTRATTO	RILASSATO	CONTRATTO
TrA spessore (cm)	MRI	0.71(0.16)	1.08(0.25)	0.68(0.17)	1.04(0.27)
	USI	0.70(0.15)	1.05(0.17)	0.68(0.17)	1.00(0.25)
IO spessore (cm)	MRI	1.71(0.24)	2.04(0.36)	1.57(0.20)	1.94(0.35)
	USI	1.65(0.24)	1.93(0.32)	1.54(0.18)	1.89(0.30)
ICC TrA spessore	USI	0.84	0.85	0.93	0.94
ICC IO spessore	USI	0.91	0.93	0.93	0.95

In riferimento all'area di sezione trasversale (CSA) non possono essere date delle comparazioni tra le due metodiche in quanto questa non può essere valutata mediante l'USI. Alla MRI si osserva un significativo decremento della CSA, dove l'area passa da un valore medio di $393,90 \pm 8,07 \text{ cm}^2$ in condizioni di riposo a $362,61 \pm 8,85 \text{ cm}^2$ durante la fase di ADIM (Fig.7,8). La correlazione (ICC) tra la metodica MRI ed i cambiamenti della CSA durante la fase ADIM è stato stimato essere di 0,78. Il coefficiente di correlazione tra le due metodiche ICC ^{3,1} (Intra-class correlation) raggiunge valori alquanto soddisfacenti tra 0,84 e 0,95

Le figure 9,10, mostrano i cambiamenti di spessore muscolare valutati all'USI.

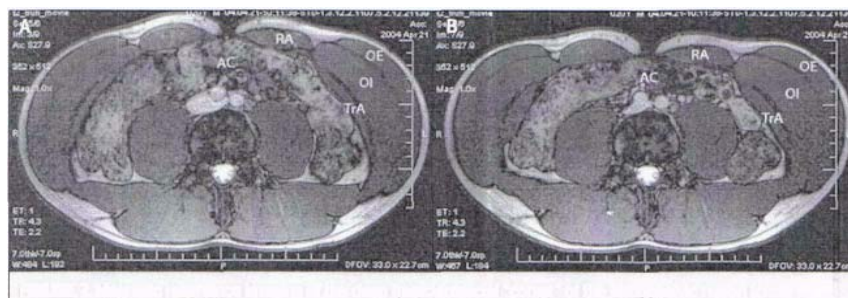


Fig.7

Fig.8



Fig.9

Fig.10

5.4 Modalità di trattamento con Ultrasound Imaging

L'apprendimento motorio e funzionale, possono essere migliorati da precisi feedback visivi, fornendo un riapprendimento mediante la conoscenza della performance (KP). Pazienti con LBP ma anche in assenza di dolore lombare,

possono beneficiare di questo strumento per migliorare l'attività di tutta la muscolatura profonda. La possibilità da parte del fisioterapista di vedere la performance del soggetto in esame, incrementa la possibilità di successo riabilitativo. Gli studi dimostrano che l'utilizzo dell'USI, può incrementare soprattutto le potenzialità in soggetti facenti parte di determinati sottogruppi di individui con LBP. La suddivisione in sottogruppi ha inoltre portato ad evidenziare che questa metodica migliora la performance di ADIM nei soggetti con storia di LBP da meno di 3 mesi. [Henry et al ^{\(16\)}](#) e [Van et al ^{\(45\)}](#) indirizzano a ricercare caratteristiche multifattoriali e non solamente unidirezionali (esempio cambiamento di spessore), mediante studi con compiti funzionali più complessi. Sembra che l'utilizzo del biofeedback visivo possa ridurre la LBP ricorrente in paziente in acuto e ridurre il dolore e la disabilità nei pazienti cronici. Sebbene dagli studi, si avvertono benefici indotti dalla RUSI, molti di questi non hanno comparato i risultati con gruppi di controllo, rendendo gli studi meno significativi. Futuri studi dovrebbero indirizzarsi verso ricerche maggiormente approfondite, andando a verificare il grado e l'intensità con la quale questa metodica vada somministrata per ottenere migliori risultati, estrapolando una sequenza riabilitativa che segua vari step, con apprendimenti motori progressivi. Tenendo inoltre conto che questa metodica non è invasiva, sarebbe opportuno validare ulteriormente questa metodica, andando a relazionare i parametri dell'USI con i parametri EMG, tenendo sempre conto dei sottogruppi di LBP. In definitiva indagare quantità e tipo di feedback fornito, con il fine di sviluppare un modello riabilitativo che possa esaltare in maniera massima e completa l'utilizzo della RUSI nei pazienti con LBP e dolore pelvico.

Vari studi RCT raccomandano la manipolazione solo in sottogruppi di pazienti che rientrano nel CPR (Clinical Prediction Rule), come sistema predittivo favorevole al periodo post-manipolativo.

CLINICAL PREDICTION RULES	
CRITERI	Durata dei sintomi da < 16gg
	Nessun sintomo sotto al ginocchio
	Rotazione interna dell'anca > 35°
	Ipomobilità lombare allo Springing test
	Punteggio allo Fear-Avoidance behavior questionnaire (FABQ) < 19pt.

Lo studio di [Teyen et al ^{\(34\)}](#) ha osservato 9 pazienti (5f.-4m.) con età variabile tra i 18 e i 55 anni. Tutti con primo episodio di LBP e nessun sintomo distale oltre il ginocchio, rispettando pertanto i primi due criteri del CPR. Sei pazienti hanno rispettato quattro criteri del CPR. La tecnica ecografica ha valutato sia la condizione di riposo, sia quella di ADIM, prima e dopo l'atto manipolativo del m. TrA ed OI. Il m. TrA ha mostrato aumenti dello spessore muscolare dopo l'atto manipolativo durante la fase ADIM tra l'11.5% ed il 27.9% e decrementi tra l'11.5% ed il 25.9% in condizioni di riposo. A livello del m. OI i decrementi percentuali dello spessore in condizione di riposo sono risultati inferiori e compresi tra il 6.4% ed il 12.2%. Questi risultati appaiono in sintonia con lo studio di [Gill et al ^{\(14\)}](#) che studiando un solo soggetto ha ottenuto decrementi percentuali post-manipolazione dello spessore del m. TrA del 17.5% in condizione di riposo ed un aumento del 10% in fase ADIM. All'interno dello studio di Teyen è stato inoltre valutata l'affidabilità della misurazione mediante l'USI ottenendo valori soddisfacenti riportati in tabella.

ICC "Intra-class Correlation"						
	Riposo			Contrazione		
	ICC ^{3.3}	SEM (mm)	MDC (mm)	ICC ^{3.3}	SEM (mm)	MDC (mm)
Trasverso dell'Addome	0.98	0.1	0.4	0.99	0.2	0.5
Obliquo interno	0.99	0.2	0.6	0.98	0.6	1.6

I risultati di fondo dello studio ci dicono che nell'immediato periodo postmanipolativo si verificano dei cambiamenti del comportamento muscolare, ma che molto probabilmente non sono attribuibili ad un riapprendimento, ma semplicemente a meccanismi intrinseci alla manipolazione. Future ricerche in merito potrebbero portare ad un maggiore chiarimento.

5.5 Direzioni future delle ricerche

Ricerche future dovranno determinare linee base di impairment sulla quale definire le reali potenzialità dell'USI in base a sottogruppi specifici di pazienti, sia nel breve e sia nel lungo termine. Inoltre, vedere quanto l'utilizzo di questa metodica possa assistere il fisioterapista nella valutazione dell'impairment, migliorare la scelta riabilitativa con esercizi specifici e stabilirne gli outcomes.

6 REAHABILITATIVE ULTRASOUND IMAGING DELLA MUSCOLATURA DEL PAVIMENTO PELVICO

6.1 Morfologia muscolare e valutazione strutturale

Oltre a fornire informazioni circa la funzioni della muscolatura del pavimento pelvico (PFM), tramite l'analisi del movimento del collo e della base vescicale, l'USI è stato usato per quantificare lo spessore muscolare del. Elevatore dell'ano (EA) e volume residuo vescicale. [Bernstein et al ^{\(3\)}](#), hanno usato l'USI transperineale per valutare l'affidabilità nella misurazione dello spessore muscolare della m. PFM, in condizioni di riposo e durante la contrazione, valutando 9 ragazze sane, ha riportato una media dello spessore muscolare a riposo di 9.4 +/-0.8mm (means +/- SD) ed in condizioni di contrazione 11.5 +/- 1.1mm, determinando un incremento percentuale del 23 +/- 8%. Recentemente [Morkved et al ^{\(31\)}](#), hanno investigato sulla relazione tra la forza della m. PFM e l'incremento dello spessore muscolare in donne continenti ed incontinenti, osservando che il gruppo di donne continenti (n.71) hanno sia a riposo che in contrazione, una muscolatura più spessa e con più alti incrementi tra lo stato di riposo e quello di contrazione. Hanno osservato inoltre una moderata-buona correlazione tra le misurazioni della forza della m. PFM e gli spessori muscolari (r.0.703).

In relazione alla valutazione morfologica dei tessuti e possibili patologie per l'utilizzo dell'USI è richiesto un training radiologico specializzato, in grado di valutare e diagnosticare difetti paravaginali, prolapsi utero vaginali, fibroide o cisti. Vista la delicatezza e riservatezza delle modalità di approccio di valutazione e rieducazione, il terapeuta che si occupa di valutare questa regione mediante l'utilizzo dell'USI, deve essere preparato a trattare le molteplici sfaccettature che si possono verificare. Si raccomanda, che il fisioterapista assicuri i pazienti e che questi siano consapevoli dello scopo valutativo e riabilitativo, richiedendone il consenso prima dell'esame.

Consenso che autorizza il terapeuta al contatto con il paziente ed alle strutture interessate. [Stokes et al](#) ⁽⁴¹⁾, raccomandano l'uso del consenso informato, per il quale l'USI non intende indagare ed identificare altre problematiche, ma solo l'esame funzionale della muscolatura interessata. Al tempo stesso informare il paziente con tempestività, qualora si verificano problematiche compatibili con situazioni a rischio per la salute del paziente. Il movimento della m. PFM dipende da vari fattori, che influiscono sull'interpretazione delle misurazioni ottenute all'USI. Bisogna tenere conto di due principali considerazioni:

- incrementi IAP
- posizione di partenza della m. PFM

L'abbassamento del diaframma ed i muscoli addominali contratti, si oppongono all'elevazione della base vescicale. Questa elevazione pertanto non può essere evidente durante compiti che coinvolgono in maniera massiva diaframma ed addominali, nonostante incrementi della contrazione della m. PFM. Infatti, aumenti della IAP impediscono l'accorciamento della muscolatura pelvica. È stato dimostrato, che in soggetti dove l'incremento della IAP può superare la contrazione della m. PFM, si verifica uno spostamento della base vescicale in senso contrario, quindi caudale. Questa condizione si può verificare in alcune donne dove durante la contrazione volontaria della muscolatura pelvica l'attivazione addominale provoca uno spostamento caudale della base vescicale. L'attività di altri muscoli che circondano la cavità addominale e l'incremento della IAP devono pertanto essere considerate durante la valutazione eseguita mediante USI. Il movimento della m. PFM dipende dalla posizione di partenza, la quale a sua volta è dipendente dalla preesistente attività muscolare e/o lassità del sistema miofasciale. Per esempio, se la base vescicale è già in posizione elevata, ciò è dovuto ad una attivazione muscolare già in condizioni di riposo. Allo stesso modo, una minore lassità del sistema mio fasciale può mantenere la

base vescicale in posizione elevata. Al contrario, una maggiore lassità può fare risultare una maggiore posizione caudale di partenza e quindi potenzialmente un maggiore movimento della base vescicale durante la valutazione. Inoltre il totale dell'elevazione vescicale non è facilmente correlata all'attivazione della m. PFM eccetto quella condizione in cui sia il diaframma e sia l'attività muscolare addominale sia completamente ininfluente. Per questa ragione la valutazione clinica deve essere accurata e deve tenere conto di queste covariabili, tenendo sotto controllo la IAP. Infine è importante conoscere bene le caratteristiche dello strumento, effettuare la palpazione digitale e conoscere la storia del paziente. E' necessario pertanto, attenzione, competenza, esperienza e training specifici.

6.2 *Valutazione quantitativa e qualitativa del pavimento pelvico*

La valutazione vescicale viene effettuata con due modalità di approccio: Approccio transperineale ed approccio transaddominale, sia su piano sagittale che su piano trasverso. Durante l'approccio transperineale, il trasduttore è posto su piano sagittale lungo la linea mediana del perineo, ed è considerato vantaggioso rispetto l'approccio transaddominale. La sinfisi pubica (SP), la giunzione prossimale del collo vescicale e l'uretra prossimale se inclusi all'interno del campo visivo, possono servire come punti di riferimento per le misurazioni. Tendenzialmente SP ed angolo anoretale (ARA), servono come punti di riferimento valutativi. Inoltre l'approccio transperineale fornisce una visione diretta del m. EA facilitandone il suo studio e la sua morfologia.

Comparando l'approccio transperineale su piano sagittale con l'approccio trans addominale, durante la contrazione del pavimento pelvico in varie attività, in un gruppo di donne incontinenti, relazionate al gruppo di controllo con soggetti sani, [Thompson et al](#) ⁽⁴⁴⁾ hanno dimostrato che circa il

15% dei soggetti aveva una correlazione significativa tra i due diversi approcci nelle diverse attività. La tecnica per valutare collo vescicale e movimento ARA, durante la contrazione della m. PFM è eseguita con manovra di Valsalva. Questa valutazione è influenzata da vari fattori: stato di riempimento vescicale, posizione del soggetto e del trasduttore, sito misurativo, istruzione verbale e metodologia. Comunemente il paziente è prono, anca flessa leggermente abdotta e rachide lombare in posizione neutra. Se le circostanze lo richiedono la tecnica può essere fatta anche in stazione eretta o seduta. Per valutare i movimenti del collo vescicale durante la contrazione della m. PFM e manovre funzionali, viene presa come punto di riferimento la sinfisi pubica (Fig 11,12). Collo vescicale ed uretra esibiscono maggiore mobilità quando la vescica è vuota, pertanto è preferibile svuotare la vescica prima della valutazione. Istruzioni verbali possono incoraggiare la contrazione della m. PFM chiedendone la contrazione in sinergia con la respirazione. Altre modalità per incrementare la IAP sono la già menzionata manovra di Valsala: Forte espirazione a glottide chiusa. In riferimento all'USI transaddominale, recentemente ci sono stati studi che hanno mostrato nuovi interessi, poiché metodo non invasivo che può fornire clinicamente nuove informazioni, circa alcune funzioni della muscolatura del pavimento pelvico fornendo inoltre un feedback visivo che può facilitare le giuste modalità della contrazione di questa muscolatura. Metodica descritta originariamente da White per investigare donne con stress urinary incontinence (SUI). Questa tecnica nel tempo è stata sempre meno usata in favore dell'approccio transperineale. Questo è dovuto al fatto che l'approccio trans addominale, non riesce a fornire immagini consistenti in relazione al collo vescicale, il quale è punto cardine per verificare eventuali problematiche di incontinenza. L'approccio transaddominale è nato per valutare il sollevamento del pavimento pelvico, osservando il movimento della base vescicale come riferimento durante la contrazione volontaria. La

misurazione del movimento della base vescicale valutata mediante questo approccio può essere influenzata da vari fattori simili a quelli dell'approccio trans perineale come lo stato di riempimento vescicale, la posizione del soggetto e trasduttore, il sito di misurazione e l'istruzione verbale. L'USI transaddominale può essere eseguita in posizione supina con anca e ginocchio flessi, seduti o in stazione eretta. E' importante comunque che la valutazione verifichi in maniera accurata la posizione del rachide lombare, la coattivazione tra la m. PFM e m. adduttori ed i gradi di lordosi lombare, poiché hanno effetti sul posizionamento della base vescicale. Infatti [Fravley et al](#) ⁽¹³⁾ hanno constatato che lo spostamento della base vescicale in posizione eretta, rispetto alla posizione supina e seduta durante la contrazione della m. PFM è maggiore. Inoltre, ha posto l'attenzione sull'importanza di valutare altre posizioni funzionali, poiché soggetti incapaci ad elevare la base vescicale in posizione supina, potrebbero esserlo in posizione eretta. Sul piano sagittale il trasduttore è posizionato sopra la sinfisi pubica, con un movimento su piano sagittale fino alla visualizzazione che comprenda anche il collo vescicale (Fig.11). Sul piano trasverso viene visionata la base vescicale, anche qui il trasduttore è posto immediatamente sopra la sinfisi pubica, con un angolo di circa 60° (Fig.12) in accordo con metodiche convenzionali radiologiche.

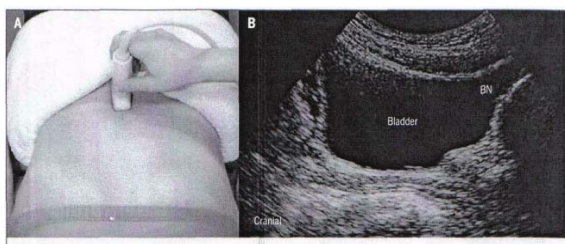


Fig. 11

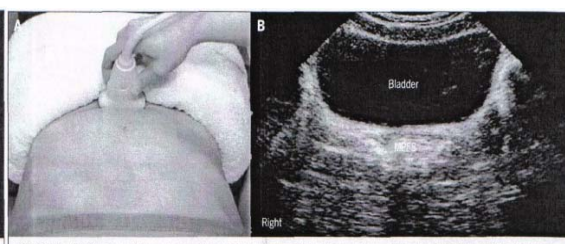


Fig. 12

In situazioni di valutazione clinica funzionale - dinamica questa angolazione potrebbe non essere rispettata e pertanto per una corretta visualizzazione sarà necessario correggere l'angolo al fine di visualizzare al meglio.

L'accuratezza e l'interpretazione del movimento della base vescicale, si basa sulla posizione del trasduttore in relazione all'osso pelvico. L'attività muscolare addominale che rafforza la contrazione della muscolatura pelvica, comporta una spinta sul trasduttore, determinando un allontanamento e quindi un incremento della distanza dalla base vescicale, che può essere interpretata erroneamente come una discesa della vescica stessa. Pertanto, una pressione verso l'interno o meglio il mantenimento della posizione del trasduttore, renderà minima questa variabile confondente. Includere la sinfisi pubica nell'immagine con il giusto angolo di trasduzione può fornire un buon punto di riferimento di controllo della variabile. Il più comune punto di riferimento della base vescicale è la regione postero inferiore della parete vescicale, struttura ben visibile, la quale effettua il maggior scostamento durante la contrazione della m. PFM con manovra di Valsalva. Per ottenere una chiara immagine della parete vescicale postero inferiore la vescica deve contenere la giusta quantità di urina, seguendo determinati protocolli. [Ducan Critchley et al](#) ⁽¹⁰⁾ ha condotto uno studio su soggetti sani, nel quale è stato osservato che la contrazione simultanea della parete addominale mediante la manovra low abdominal hollowing (LAW), in aggiunta alla contrazione del pavimento pelvico, in posizione quadrupedica, comporta un maggiore reclutamento motorio a livello del m. TrA, con una differenza percentuale del 25%. Viceversa a livello della restante muscolatura (OI, OE), non si evidenziano cambiamenti significativi.

Inoltre, l'attività del m. TrA risulta maggiormente selettiva durante contrazioni sub massimali, sia durante la semplice manovra LAW, sia durante l'associazione tra LAW e contrazione della m. PFM. Questo ci può dare indicazioni in ambito riabilitativo, qualora soggetti con LBP e con difficoltà al reclutamento e selettività della muscolatura profonda addominale, debbano ricercare un riapprendimento della performance e della funzione, ottenendo così una maggiore selettività muscolare. Questo discosta dallo

studio di [Sapsford et al](#) ⁽³⁵⁾, la quale nota incrementi dell'attività elettromiografia a livello di tutta la parete addominale: TrA, OI ed OE. Viceversa però, la posizione quadrupedica potrebbe non essere ideale come condizione di partenza riabilitativa in quei soggetti che hanno difficoltà a rilassare la muscolatura addominale superficiale.

E' ormai accertato che la muscolatura del pavimento pelvico, gioca un ruolo fondamentale nel controllo posturale della regione lombopelvica. Uno studio di [Smith et al](#) ⁽³⁷⁾ ha determinato che disturbi della continenza sono strettamente relazionati alla ricorrenza di LBP in soggetti obesi. L'ultrasound imaging è un potenziale strumento usato per valutare la morfologia e le funzioni di questa muscolatura, risultando più specifico della palpazione intravaginale e dando indicazioni sull'attività della base e del collo vescicale in relazione alla muscolatura pelvica. Poiché l'utilizzo dell'USI per valutare la muscolatura pelvica è recente, è opportuno chiarire molteplici aspetti. Soprattutto se questo strumento può produrre un feedback sia quantitativo che qualitativo durante la riabilitazione. Nella valutazione qualitativa l'uso dell'USI, analizza la muscolatura nella sua complessità durante la sua contrazione. L'utilizzo di una valutazione con parametri statici, non può fornirci per esempio indicazioni inerenti i timing di contrazione ed eventuale influenza di altre strutture, ad esempio la tensione della fascia endopelvica. Poiché le alterazioni del controllo neuromuscolare della m. PFM e m. addominale è stata riportata in individui con disfunzioni della muscolatura pelvica, l'utilizzo dell'USI è stato individuato come strumento utile ad assistere e riconvergere tempestivamente queste alterazioni che si sono sviluppate. Una analisi qualitativa delle caratteristiche a riposo e dinamiche, che avvengono durante la contrazione muscolare o l'incremento della IAP, può fornire un'ulteriore compressione, se aggiunta alla misurazione dei parametri quantitativi. L'interpretazione clinica sulle strategie neuromuscolari, possono essere fornite attraverso varie modalità: forma

vescicale a riposo, minime contrazioni addominali durante il sollevamento della base vescicale, sostenuta elevazione della base vescicale durante la contrazione, ritorno della base vescicale alla posizione di partenza non appena cessa la contrazione, movimenti della vescica in vari compiti che caricano la zona, come per esempio l'Active Straight-Leg Raise. Sebbene i componenti dell'analisi qualitativa sono stati proposti da autorevoli autori, questi fattori non sono stati ancora adeguatamente esaminati attentamente in letteratura. Punti di considerazione in relazione alla funzionalità del pavimento pelvico, sono riportate nella successiva tabella che potrebbe aiutare e consentire un'analisi delle strategie neuromuscolari assunte, attraverso condizioni in stato di riposo, durante compiti che caricano la regione o durante contrazioni della m. PFM e messe in correlazione con svariati profili qualitativi osservati.

COMPRENSIONI FORNITE DALL'ULTRASOUND IMAGING (TRANPERINEALE E TRANSADDOMINALE) ED ANALISI DELLE FUNZIONI DEL PAVIMENTO PELVICO	
PUNTO DI CONSIDERAZIONE	CONTRIBUTO ALL'ANALISI PFM
Forma, dimensione e simmetria della vescica a riposo	Valutazione attività m. PFM a riposo, volume residuo vescicale, possibilità di PVD o invasione di strutture (es. cisti)
Realazione tra vescica a riposo ed elevazione della muscolatura pelvica	Incremento dell'attività m. PFM a riposo, iniziali indicazioni di prolasso
Movimento caudo dorsale della vescica durante ASLR	Rilevare fattori di inappropriata discesa vescicale, insufficienza m. PFM, ritardata attivazione PFM, lassità fasciale, strategie di controllo motorio attraverso con inadatto incremento IAP
Movimento dorsale della vescica durante ASLR	Rilevare una adeguata attivazione m. PFM associata, strategie di controllo motorio derivanti da incrementi IAP da rigidità m. addominale
Shift laterale o rotazione della vescica durante ASLR	Rilevare deficit unilaterali m. PFM, iperattivazione unilaterale durante esercizi m. addominale obliqui
Contrazione osservabile della m. PFM durante ASLR	Rilevare l'efficacia della m. PFM
Cambiamento di forma della vescica durante contrazione PFM	Rilevare strategie di controllo motorio assunte da incrementi IAP
Invasione caudale della vescica durante contrazione PFM	Determinare alcuni gradi di controllo volontario sulla m. PFM
Movimento cranio ventrale della vescica durante contrazione PFM	Determinare alcuni gradi di controllo volontario sulla m. PFM
Invasione addominale della vescica durante contrazione PFM	Determinare deficit di controllo volontario sulla m. PFM
Movimento caudo dorsale della vescica durante contrazione PFM	Determinare deficit di controllo volontario sulla m. PFM, depressione della base vescicale associata ad incremento attività della m. addominale alta e parete toracica
Rilassamento osservabile della PFM dopo la sua contrazione	Determinare alcuni gradi di controllo volontario sulla m. PFM. Difficoltà o lento ritorno alla posizione di riposo da iperattività della m. PFM

6.3 Affidabilità, validità delle misurazioni della muscolatura del pavimento pelvico

La posizione e la mobilità del collo vescicale risulta essere affidabile quando valutata con USI tran perineale. Questa metodologia è stata valutata in inter-

rater correlation (ICC) con valori soddisfacenti tra 0.76 e 0.98, durante contrazioni della m. PFM con manovra di Valsalva. E' importante notare che alcune donne (particolarmente le nullipare) trovano difficoltà alla performance con la manovre di Valsalva e quindi successive difficoltà di comparazione. Sebbene la ricerca è attenta a standardizzare la manovra di Valsalva attraverso una monitorizzazione della pressione rettale ed intravesicale mediante sfigmomanometro, queste tecniche possono essere rappresentate da differenti pattern e livelli d'attività muscolare. Va inoltre sottolineato che cercare di limitare contrazioni massimali durante la manovra di Valsalva, può limitare la totale discesa osservata. Riassumendo, è importante considerare che la manovra di Valsalva può essere affetta da fattori che influiscano sull'affidabilità della misura e che quindi la manovra deve essere ben specificata. L'approccio transaddominale è usato principalmente per valutare il sollevamento della m. PFM, attraverso il movimento della base vescicale come marker valutativo durante la contrazione volontaria. Questa tecnica è inoltre usata anche per valutare il movimento della base vescicale durante varie manovre che incrementano la IAP come la manovra di Valsalva, lavoro della m. addominale e compiti agli arti inferiori. C'è una buona affidabilità intra-rater ed inter-rater correlation nella valutazione della discesa della base vescicale, sia su piano sagittale che trasverso, durante la contrazione della m. PFM, con valori ICC tra 0.81 e 0.88 ed ottima correlazione su piano trasverso durante attività funzionale attiva "Straight Leg Raise Test", con valore ICC di 0.98. [Thompson et al](#) ⁽⁴⁴⁾ hanno invece riportato valori ICC moderati sul movimento della base vescicale, durante manovre con coinvolgimento della m. addominale e manovra di Valsalva, riportando rispettivamente valori di correlazione tra 0.51 e 0.53. Questa divergenza, viene spiegata da fatto che è difficile mantenere in maniera corretta la posizione del trasduttore, quando la parete addominale irrigidisce o protrude con incrementi IAP, ponendo un limite a

questa modalità visiva. La modalità transaddominale sia sul piano trasverso, che sul piano sagittale, mostra una buona affidabilità del movimento della base vescicale durante la contrazione della m. PFM, con valori ICC rispettivamente di 0.91 e 0.93. La visione su piano trasverso può fornire un'ulteriore informazione circa la simmetria di contrazione muscolare, basata sulla simmetria del movimento della base vescicale. Comunque il significato clinico di questa valutazione non è stato valutato. E' importante valutare che il movimento della base vescicale durante la contrazione della m. PFM può essere visibile solo su un piano in alcuni individui, pertanto entrambe le visioni (sagittale e trasverso) sono consigliate.

La MRI e la EMG, sono state usate per stabilire la validità dell'USI, in riferimento alla morfologia mediante MRI ed all'attivazione della muscolatura mediante EMG, includendo il m. TrA e m. Multifido. Non ci sono studi che hanno descritto le relazione tra l'attività elettromiografia della m. PFM e la sua capacità di elevazione. Comunque, questa relazione potrebbe essere affetta da complesse interrelazioni come IAP, posizione di partenza e preesistente lassità miofasciale. Studi importanti di comparazione tra USI ed MRI, hanno valutato la contrazione volontaria, in soggetti continenti ed incontinenti, fornendo dati favorevoli all'utilizzo dell'USI. [Christensen et al ^{\(7\)}](#), usando la MRI hanno osservato movimenti della parete vescicale durante la contrazione volontaria della m. PFM in donne continenti, evidenziando un movimento complessivo della regione postero inferiore della parete della base vescicale di 7.0 +/-2.8mm (mean +/- SD). Questo movimento è più facilmente osservabile sul piano sagittale. [Bo et al ^{\(4\)}](#) hanno confermato questi dati mediante la MRI osservando che in seguito alla contrazione della m. PFM, la base vescicale si muove verso l'interno di 10.8 +/-6.0 (means +/-SD). Lo studio è stato effettuato in un gruppo di donne continenti ed incontinenti in posizione seduta. L'approccio mediante l'USI transperineale ha il vantaggio rispetto all'approccio transaddominale di

visualizzare la giunzione tra uretra prossimale e collo vescicale ed è in grado di fornire un punto di riferimento osseo, con il quale si può ottenere una maggiore affidabilità e comparazione valutativa tra i soggetti. Comunque, la tecnica transperineale richiede un training specifico, esperienza nell'interpretazione delle immagini, una precisa localizzazione del trasduttore (in quanto questa potrebbe interferire con alcune manovre) e necessita di molto tempo, poiché è una valutazione complessa. Viceversa, la tecnica USI transaddominale è una tecnica relativamente più facile da imparare e da interpretare ed è meno dipendente dal posizionamento del trasduttore, movimenti e/o compiti agli arti inferiori. Inoltre, l'USI transaddominale è totalmente non invasiva e potrebbe essere una corretta modalità di approccio su determinate categorie, quali: ragazzi adolescenti, vittime di abuso sessuale ed alcuni gruppi etnici. Questa tecnica fornisce in aggiunta un feedback per il riapprendimento della m. PFM. Va sottolineato che le immagini dell'USI con approccio transaddominale non permettono sempre una diretta visualizzazione del collo vescicale in soggetti con ridotta capacità funzionale vescicale, urgenza vescicale e rigidità della m. addominale. Come già menzionato, la valutazione della discesa della base vescicale, è subordinata alla distanza tra trasduttore e vescica. Pertanto, questo può riflettersi sia sulla valutazione della discesa vescicale, sia sulla parete addominale che protrude, alterando il risultato. Uno dei possibili svantaggi dell'approccio transaddominale è la difficoltà di visualizzare la vescica in individui obesi. Comunque, questo non fornisce una limitazione nello studio di [Thompson et al](#) ⁽⁴⁴⁾, nel quale la base vescicale è stata visualizzata in tutti i soggetti con IMB tra 17 e 39 Kg/m². Sebbene esista una buona correlazione tra la totalità di movimento del collo vescicale (USI transperineale) e la base vescicale (USI transaddominale), durante la contrazione della m. PFM, in relazione alla forza espressa e controllo della IAP mediante la perinometria, non vi sono ancora i presupposti che

permettono una definitiva valutazione clinica. Pertanto, una valutazione della m. PFM a riposo, un controllo delle strategie di attivazione muscolare addominale o altri importanti informazioni soggettive come il dolore, devono essere prese in attenta considerazione. Qualora si verificano ampi spostamenti vescicali, l'interpretazione di questi dati deve essere formulata dopo una attenta valutazione, considerando che un ampio sollevamento vescicale potrebbe risultare sia da una forte contrazione della m. PFM sia da un incremento della lassità fasciale. Al contrario, piccole risalite vescicali osservate durante contrazioni della m. PFM potrebbero indicare sia una debole contrazione muscolare, sia un'alta attività muscolare a riposo. Inoltre, le immagini USI transaddominale non permettono una valutazione diretta dell'area perineale o della parete di supporto vaginale. Conseguentemente le informazioni che fornisce possono essere considerate più chiare se si include anche una valutazione tradizionale e l'esame digitale.

6.4 Modalità di trattamento con Ultrasound Imaging

La riabilitazione mediante ultrasound imaging punta a valutare la muscolatura del pavimento pelvico mediante immagini ottenute in b-mode e recenti applicazioni in m-mode, per valutare la resistenza e l'abilità a sostenere una elevata contrazione. Sono state sviluppate anche applicazioni 3D.

L'ultrasound imaging, può fornire in tempo reale informazioni mediante feedback, che possono aiutare la rieducazione della m. PFM, la muscolatura della parete addominale, muscolatura di individui con problematiche di incontinenza, possibile LBP e PGP. E' utile descrivere il ruolo di questo feedback nella riabilitazione della m. PFM, in relazione ad altri strumenti con feedback più tradizionali. Una recente Review della Cochrane Database ha sostenuto ed incoraggiato l'uso del feedback, in aggiunta al trattamento

conservativo riabilitativo della m. PFM, in donne con problematiche di urgenza urinaria ed incontinenza mista. La riabilitazione della m. PFM ha percentuali di successo molto variabili che vanno dal 21% all'84%, deducendo inoltre che il 25% - 57% degli individui che presentano incontinenza o prolasso vescicale, hanno difficoltà alla performance della m. PFM, mediante semplici stimoli verbali e tattili. Durante una scorretta performance della m. PFM, il biofeedback riabilita, aumenta ed assicura più precisione alla contrazione, diminuendo il numero di individui che non rispondono al trattamento conservativo. La riabilitazione con biofeedback è stata indicata essere utile in aggiunta alla riabilitazione convenzionale della m. PFM, in quelle persone che presentano: scarsa abilità a contrarre e/o percepire la m. PFM, debolezza, alterato controllo neuromuscolare e ritardata attivazione muscolare. I tradizionali biofeedback utilizzati come EMG di superficie o EMG intravaginale e perinometria, hanno dimostrato una eterogeneità di risultato. Più dettagliatamente [Morkved et al ^{\(31\)}](#), trovano un 19-25% di incremento delle possibilità di successo, quando gli individui in esame aggiungono alla riabilitazione il biofeedback visivo nei confronti del gruppo di controllo. Tuttavia in letteratura vi sono anche risultati ambigui. Infatti, due recenti review della Cochrane e della International Continence Society non sono in grado di determinare i benefici dei biofeedback (perinometria ed EMG) alla m. PFM. Questa ambiguità di risultato scaturisce da una scarsa metodologia di studio. La chiave di tutto questo è che il biofeedback, può non condurre ad un sostanziale e migliore outcome, quando questo è applicato a tutti gli individui indistintamente, ma potrebbe essere efficace se usato su specifici soggetti che hanno particolari difficoltà a riapprendere ed attivare la m. PFM. La metodica di utilizzo dell'USI, come fonte di biofeedback è relativamente nuova e potrebbe essere utile compararla con la riabilitazione tradizionale quali la Pressure Perinometria o l'EMG. Sia la perinometria che l'elettromiografia, forniscono

feedback durante la contrazione della m. PFM, ma la metodica mediante l'utilizzo dell'USI, può fornire un feedback visivo in tempo reale, circa la direzione del movimento durante la contrazione della m. PFM, regolando la forza o i compiti funzionali (es Active Straight-leg Raise Test). La riabilitazione con biofeedback mediato dall'USI, può assistere alcuni individui, migliorandone la performance della m. PFM relativamente in breve tempo. In uno studio con 212 donne, con il 26% dei soggetti non in grado di effettuare una giusta performance di contrazione della m. PFM, [Dietz et al](#) ⁽¹¹⁾ hanno riportato che il 57% di questi soggetti, hanno riscontrato un discreto miglioramento dopo 5 minuti di riabilitazione mediata dall'USI. L'ottimale protocollo riabilitativo è quello di dividere i soggetti in sottogruppi, in modo tale da ricevere maggiori benefici dalla riabilitazione con biofeedback visivo mediato dall'ultrasound imaging. L'USI nella riabilitazione è relativamente nuova e molti di questi concetti non sono stati ancora ben studiati. Utile pertanto, ricercare ulteriori considerazioni sul biofeedback come specifiche di apprendimento motorio, timing di attivazione, tipologia di risultato mediante la conoscenza della performance (KR) e la portata o l'intensità del feedback da somministrare. L'uso del trattamento basato sui sottogruppi, punta a determinare e classificare i pazienti che potrebbero beneficiare della metodica USI, in aggiunta al protocollo riabilitativo globale. Questo tipo di classificazione è stato dimostrato essere benefico in pazienti con LBP e potrebbe pertanto essere documentato in future ricerche, atte a sviluppare trattamenti sempre più appropriati.

In conclusione, c'è una iniziale evidenza che il biofeedback mediato dall'ultrasound imaging, può beneficiare la valutazione e l'inizio della riabilitazione della m. PFM, migliorando il rapporto tra persone che ricevono benefici rispetto a quelli che fanno esercizi ordinari. Sebbene le evidenze sull'uso del biofeedback dell'ultrasound imaging in ambito riabilitativo siano

tutt'ora limitate, c'è un emergente suggerimento all'utilizzo di questa metodica. Uno studio di [Kruger et al](#) ⁽²⁷⁾, ha valutato la correlazione tra la metodica USI e la MRI, mostrando una moderata correlazione tra le due metodiche: ICC di 0.587-0.783 in un gruppo di nullipare, durante la condizione di riposo, manovra di Valsalva e massima contrazione della m. PFM.

La metodica USI, ha il vantaggio di fornire informazioni in tempo reale, fornendo istantaneamente una visualizzazione sia al paziente, sia al fisioterapista. E' inoltre più accessibile e abbordabile in costi e capacità d'uso rispetto alla MRI. L'ultrasound imaging transaddominale, è stato osservato essere più sensibile della palpazione digitale nel valutare l'elevazione della m. PFM a seguito di una contrazione. In uno studio, [Dietz et al](#) ⁽¹¹⁾ hanno trovato che le immagini USI transaddominali tridimensionali sono più sensibili nel valutare difetti del m. elevatore dell'ano rispetto alla palpazione digitale e perinometria. Sebbene le asimmetrie della base vescicale sono state osservate con immagini USI convenzionali bidimensionali, c'è bisogno di ulteriori studi che correlino, palpazione digitale, USI tridimensionale ed USI convenzionale bidimensionale. Non è ancora chiaro se la riabilitazione con biofeedback mediante metodica USI, migliori gli outcomes clinici. Inoltre, non è chiaro se questa metodica possa rivolgersi a determinati sottogruppi di pazienti, al momento non ancora investigati, come per esempio soggetti con problematiche propriocettive. Non vi è ancora un consenso inerente all'utilità dell'ultrasound imaging ed il suo significato clinico appare ancora non chiaro. Uno studio di [Thompson et al](#) ⁽⁴⁴⁾, mostra invece, che le differenze di mobilità del collo vescicale tra donne continenti ed incontinenti, sono più significative durante manovre funzionali con aggiunta della contrazione della m. PFM, determinando l'importanza di questa muscolatura sulla mobilità del collo vescicale.

Barbic et al ⁽¹⁻²⁾ hanno dimostrato un incremento di mobilità del collo vescicale durante colpi di tosse e ritardi di attivazione muscolare PFM in soggetti con Stress Urinary Incontinence, ribadendo il concetto dell'importanza della valutazione statica-dinamica della m. PFM. Sono necessari studi che comparino EMG ed USI, in riferimento ai pattern di attivazione della m. PFM ed addominale, durante varie manovre e tra diversi sottogruppi di pazienti. E' probabile inoltre che sofisticate tecniche come quelle descritte da Peng et al ⁽³³⁾, permettono una più accurata rappresentazione dell'angolo anorettale, così come le valutazioni fornite attraverso il Color-doppler 3 ed USI con immagini tridimensionali, siano probabilmente utili a capire le funzioni della m. PFM.

7 CONCLUSIONI

In questo studio ho cercato di fornire una visione della RUSI, per valutare e trattare tutta la muscolatura profonda lombare, addominale e pelvica, comparando questa metodica con quelle standard MRI ed EMG . Le continue e sempre maggiori conoscenze in riferimento all'importanza della muscolatura profonda, rende sempre più importante il bisogno di poterne valutare la morfologia ed il comportamento, al fine di aiutare il fisioterapista a focalizzare maggiormente la valutazione ed il successivo trattamento. L'Ultrasound Imaging appare come uno strumento emergente in ambito clinico, che possa aiutare all'identificazione di sottogruppi di pazienti con LBP e dolore pelvico. Ulteriori ricerche devono essere eseguite per definire al meglio il ruolo dell'USI e le sue limitazioni. C'è un emergente bisogno in ambito valutativo e riabilitativo, di avere accesso a strumenti capaci di valutazioni accurate ai vari aspetti ed alle loro funzioni. Riassumendo, l'USI può fornire nuove modalità per capire strutture, comportamento muscolare e la loro influenza sulle strutture associate. Questa modalità può essere da guida a sviluppare la validità ed affidabilità delle tecniche di misurazione ed applicazioni cliniche, evidenziando l'importanza della valutazione funzionale al servizio di teorie più fondate.

La letteratura indica che la m. del pavimento pelvico gioca un ruolo fondamentale nel meccanismo della continenza, così come nel controllo posturale della regione lombo pelvica, in sinergia alla muscolatura addominale. Il fine è quello di amalgamare la letteratura riguardante l'utilizzo dell'ultrasound imaging sulle funzioni della m. lombare, addominale e m. PFM, così come fornire linee guida per future ricerche.

8 BIBLIOGRAFIA

1. [Barbic M, Kralj B.](#)

Effect of intra-abdominal position of the bladder neck and stability of its supporting structures on pressure transmission ratio after colposuspension.

Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct. 2000;11(2):97-102.

2. [Barbic M, Kralj B, Cör A.](#)

Compliance of the bladder neck supporting structures: importance of activity pattern of levator ani muscle and content of elastic fibers of endopelvic fascia.

Neurourol Urodyn. 2003;22(4):269-76.

PMID: 12808700 [PubMed - indexed for MEDLINE]

3. [Bernstein I, Juul N, Grønvall S, Bonde B, Klarskov P.](#)

Pelvic floor muscle thickness measured by perineal ultrasonography. Scand J Urol Nephrol Suppl. 1991;137:131-3.

4. [Bø K, Lilleås F, Talseth T, Hedland H.](#)

Dynamic MRI of the pelvic floor muscles in an upright sitting position. Neurourol Urodyn. 2001;20(2):167-74.

5. [Bogduk N, Macintosh JE, Percy MJ.](#)

A universal model of the lumbar back muscles in the upright position. Spine. 1992 Aug;17(8):897-913.

6. [Capelini MV, Riccetto CL, Dambros M, Tamanini JT, Herrmann V, Muller V.](#)

Pelvic floor exercises with biofeedback for stress urinary incontinence. Int Braz J Urol. 2006 Jul-Aug;32(4):462-8; discussion 469.

7. [Christensen LL, Djurhuus JC, Constantinou CE.](#)

Imaging of pelvic floor contractions using MRI. Neurourol Urodyn. 1995;14(3):209-16.

8. [Coldron Y, Stokes M, Cook K.](#)

Lumbar multifidus muscle size does not differ whether ultrasound imaging is performed in prone or side lying. Man Ther. 2003 Aug;8(3):161-5.

9. [Coldron Y, Stokes MJ, Newham DJ, Cook K.](#)
Man Ther. 2008 May;13(2):112-21. Epub 2007 Jan 5.
Postpartum characteristics of rectus abdominis on ultrasound imaging.
10. [Critchley D.](#)
Instructing pelvic floor contraction facilitates transversus abdominis thickness increase during low-abdominal hollowing.
Physiother Res Int. 2002;7(2):65-75.
11. [Dietz HP, Jarvis SK, Vancaillie TG.](#)
The assessment of levator muscle strength: a validation of three ultrasound techniques.
Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct. 2002;13(3):156-9; discussion 159.
12. [Ferreira PH, Ferreira ML, Hodges PW.](#)
Changes in recruitment of the abdominal muscles in people with low back pain: ultrasound measurement of muscle activity.
Spine. 2004 Nov 15;29(22):2560-6.
13. [Frawley HC, Galea MP, Phillips BA, Sherburn M, Bø K.](#)
Reliability of pelvic floor muscle strength assessment using different test positions and tools.
Neurourol Urodyn. 2006;25(3):236-42.
14. [Gill NW, Teyhen DS, Lee IE.](#)
Improved contraction of the transversus abdominis immediately following spinal manipulation: a case study using real-time ultrasound imaging.
Man Ther. 2007 Aug;12(3):280-5. Epub 2006 Sep 12. No abstract available.
15. [Hansen FR, Bendix T, Skov P, Jensen CV, Kristensen JH, Krohn L, Schioeler H.](#)
Intensive, dynamic back-muscle exercises, conventional physiotherapy, or placebo-control treatment of low-back pain. A randomized, observer-blind trial.
Spine. 1993 Jan;18(1):98-108.
16. [Henry SM, Westervelt KC.](#)
The use of real-time ultrasound feedback in teaching abdominal hollowing exercises to healthy subjects.
J Orthop Sports Phys Ther. 2005 Jun;35(6):338-45.

[17.Hides JA, Richardson CA, Jull GA.](#)

Magnetic resonance imaging and ultrasonography of the lumbar multifidus muscle. Comparison of two different modalities.
Spine. 1995 Jan 1;20(1):54-8.

[18.Hides JA, Carolyn A Richardson, Gwendolen A Jull](#)

Use of real-time ultrasound imaging for feedback in rehabilitation
Manual Therapy vol 3; 3;pages 125-131

[19.Hides JA, Wong I, Wilson SJ, Belavý DL, Richardson CA.](#)

Assessment of abdominal muscle function during a simulated unilateral weight-bearing task using ultrasound imaging.
J Orthop Sports Phys Ther. 2007 Aug;37(8):467-71.

[20.Hides JA,Wallwork TL, Stanton WR.](#)

Intrarater and interrater reliability of assessment of lumbar multifidus muscle thickness using rehabilitative ultrasound imaging.
J Orthop Sports Phys Ther. 2007 Oct;37(10):608-12.

[21.Hides J, Wilson S, Stanton W, McMahon S, Keto H, McMahon K, Bryant M, Richardson C.](#)

An MRI investigation into the function of the transversus abdominis muscle during "drawing-in" of the abdominal wall.
Spine. 2006 Mar 15;31(6):E175-8.

[22.Hides JA, Stokes MJ, Saide M, Jull GA, Cooper DH.](#)

Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain.
Spine. 1994 Jan 15;19(2):165-72.

[23.Hodges PW, Richardson CA.](#)

Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement.
Exp Brain Res. 1997 Apr;114(2):362-70.

[24.Hodges PW.](#)

Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pelvic stability?
Man Ther. 1999 May;4(2):74-86.

[25.Kiesel KB, Uhl T, Underwood FB, Nitz AJ.](#)

Rehabilitative ultrasound measurement of select trunk muscle activation during induced pain.
Man Ther. 2008 May;13(2):132-8. Epub 2007 Jan 2.

26. [Kiesel KB, Uhl TL, Underwood FB, Rodd DW, Nitz AJ.](#)
Measurement of lumbar multifidus muscle contraction with rehabilitative ultrasound imaging.
Man Ther. 2007 May;12(2):161-6. Epub 2006 Sep 14.
27. [Kruger JA, Heap SW, Murphy BA, Dietz HP.](#)
Pelvic floor function in nulliparous women using three-dimensional ultrasound and magnetic resonance imaging.
Obstet Gynecol. 2008 Mar;111(3):631-8.
28. [Lee SW, Chan CK, Lam TS, Lam C, Lau NC, Lau RW, Chan ST.](#)
Relationship between low back pain and lumbar multifidus size at different postures.
Spine. 2006 Sep 1;31(19):2258-62.
29. [Macintosh JE, Bogduk N.](#)
1987 Volvo award in basic science. The morphology of the lumbar erector spinae.
Spine. 1987 Sep;12(7):658-68.
30. [McMeeken JM, Beith ID, Newham DJ, Milligan P, Critchley DJ.](#)
The relationship between EMG and change in thickness of transverses abdominis.
Clin Biomech (Bristol, Avon). 2004 May;19(4):337-42.
31. [Mørkved S, Salvesen KA, Bø K, Eik-Nes S.](#)
Pelvic floor muscle strength and thickness in continent and incontinent nulliparous pregnant women.
Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct. 2004 Nov-Dec;15(6):384-9; discussion 390. Epub 2004 Jul 3.
32. [O'Sullivan PB, Beales DJ, Beetham JA, Cripps J, Graf F, Lin IB, Tucker B, Avery A.](#)
Altered motor control strategies in subjects with sacroiliac joint pain during the active straight-leg-raise test.
Spine. 2002 Jan 1;27(1):E1-8.
33. [Peng Q, Jones R, Shishido K, Constantinou CE.](#)
Ultrasound evaluation of dynamic responses of female pelvic floor muscles.
Ultrasound Med Biol. 2007 Mar;33(3):342-52.

[34. Raney NH, Teyhen DS, Childs JD.](#)

Observed changes in lateral abdominal muscle thickness after spinal manipulation: a case series using rehabilitative ultrasound imaging. J Orthop Sports Phys Ther. 2007 Aug;37(8):472-9.

[35. Sapsford RR, Hodges PW.](#)

Contraction of the pelvic floor muscles during abdominal maneuvers. Arch Phys Med Rehabil. 2001 Aug;82(8):1081-8.

[36. Sherburn M, Murphy CA, Carroll S, Allen TJ, Galea MP.](#)

Investigation of transabdominal real-time ultrasound to visualise the muscles of the pelvic floor. Aust J Physiother. 2005;51(3):167-70

[37. Smith MD, Russell A, Hodges PW.](#)

Disorders of breathing and continence have a stronger association with back pain than obesity and physical activity. Aust J Physiother. 2006;52(1):11-6.

[38. Snijders CJ, Richardson CA, Hides JA, Damen L, Pas MS, Storm J.](#)

The relation between the transversus abdominis muscles, sacroiliac joint mechanics, and low back pain. Spine. 2002 Feb 15;27(4):399-405.

[39. Springer BA, Mielcarek BJ, Nesfield TK, Teyhen DS.](#)

Relationships among lateral abdominal muscles, gender, body mass index, and hand dominance. J Orthop Sports Phys Ther. 2006 May;36(5):289-97.

[40. Stokes1 M. J., 3, R. G. Cooper1, G. Morris2 and M. I. V. Jayson1](#)

Selective changes in multifidus dimensions in patients with chronic low back pain Eur Spine J. 1992;1:38-42

[41. Stokes M, Rankin G, Newham DJ.](#)

Ultrasound imaging of lumbar multifidus muscle: normal reference ranges for measurements and practical guidance on the technique. Man Ther. 2005 May;10(2):116-26. Epub 2004 Nov 18.

[42. Strobel K, Hodler J, Meyer DC, Pfirrmann CW, Pirkel C, Zanetti M.](#)

Fatty atrophy of supraspinatus and infraspinatus muscles: accuracy of US. Radiology. 2005 Nov;237(2):584-9. Epub 2005 Sep 28.

[43.Teyhen DS, Miltenberger CE, Deiters HM, Del Toro YM, Pulliam JN, Childs JD, Boyles RE, Flynn TW.](#)

The use of ultrasound imaging of the abdominal drawing-in maneuver in subjects with low back pain.

J Orthop Sports Phys Ther. 2005 Jun;35(6):346-55.

[44.Thompson JA, O'Sullivan PB, Briffa NK, Neumann P.](#)

Comparison of transperineal and transabdominal ultrasound in the assessment of voluntary pelvic floor muscle contractions and functional manoeuvres in continent and incontinent women.

Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct. 2007 Jul;18(7):779-86. Epub 2006 Oct 17.

[45.Van K, Hides JA, Richardson CA.](#)

The use of real-time ultrasound imaging for biofeedback of lumbar multifidus muscle contraction in healthy subjects.

J Orthop Sports Phys Ther. 2006 Dec;36(12):920-5.

[46.Vasseljen O, Dahl HH, Mork PJ, Torp HG.](#)

Muscle activity onset in the lumbar multifidus muscle recorded simultaneously by ultrasound imaging and intramuscular electromyography.

Clin Biomech (Bristol, Avon). 2006 Nov;21(9):905-13. Epub 2006 Jul 5.

[47.Watanabe K, Miyamoto K, Masuda T, Shimizu K.](#)

Use of ultrasonography to evaluate thickness of the erector spinae muscle in maximum flexion and extension of the lumbar spine.

Spine. 2004 Jul 1;29(13):1472-7.

[48.Whittaker JL, Teyhen DS, Elliott JM, Cook K, Langevin HM, Dahl HH, Stokes M.](#)

Rehabilitative ultrasound imaging: understanding the technology and its applications.

J Orthop Sports Phys Ther. 2007 Aug;37(8):434-49.

[49.Whittaker JL, Teyhen DS, Elliott JM, Cook K, Langevin HM, Dahl HH, Stokes M.](#)

Rehabilitative ultrasound imaging of pelvic floor muscle function.

J Orthop Sports Phys Ther. 2007 Aug;37(8):487-98.