



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI GENOVA



## **Università degli Studi di Genova**

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze Materno-  
Infantili

### **Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici**

A.A 2013/2014

Campus Universitario di Savona

**Basi neurofisiologiche del controllo motorio nell'uomo.  
Applicazioni cliniche delle nuove evidenze delle  
neuroscienze del movimento per la parametrizzazione  
dell'esercizio terapeutico.  
Focus sul pavimento pelvico.**

Candidato:

Dott. Mag. Ft. Francesco Dipalma

Relatore:

Dott. Mag. Ft. OMT Andrea Turolla



# INDICE

## Sommario

ABSTRACT .....	5
1) INTRODUZIONE.....	7
1.1) Basi Neurofisiologiche del movimento .....	7
1.1.1) Ipotesi di controllo discreto o continuo .....	8
1.2) Le sinergie muscolari .....	9
1.2.1) Modelli di combinazione di sinergie.....	10
1.3) Il pavimento pelvico .....	12
1.4) Obiettivo della tesi .....	14
2) MATERIALI E METODI .....	15
2.1) Ricerca degli studi .....	16
2.2) Elenco studi pertinenti.....	17
2.3) Articoli inclusi da altri studi .....	20
2.4) Studi esclusi.....	23
3) RISULTATI .....	24
3.1) Origini delle sinergie del pavimento pelvico .....	24
3.2) Combinazioni di sinergie nel pavimento pelvico.....	25
3.3) Sinergie muscolari del pavimento pelvico e Low Back Pain (LBP).....	27
4) DISCUSSIONE .....	29
5) LIMITI E CONCLUSIONI .....	36
6) BIBLIOGRAFIA .....	37



# ABSTRACT

**INTRODUZIONE:** Il corpo umano e l'ambiente che lo circonda interagiscono tra loro tramite il *movimento*. La relazione che si viene ad instaurare è di tipo bilaterale, permette al corpo umano sia di agire nell'ambiente, che di adattarsi, attraverso un processo di apprendimento veicolato dagli stimoli esterni.

**OBIETTIVI:** Questa tesi si propone di riassumere lo stato dell'arte sulle nuove conoscenze derivanti dai recenti modelli neuro-muscolo-scheletrici fondati sulle sinergie muscolari. Nello specifico si esporrà come avviene la regolazione sinergica a livello della muscolatura del pavimento pelvico nei soggetti sani e quali siano le implicazioni nelle problematiche di low back pain (LBP). Si metteranno in evidenza gli elementi significativi per il clinico, che permettano di costruire l'esercizio terapeutico in maniera specifica, per migliorarne l'efficacia.

**MATERIALI E METODI:** E' stata effettuata una ricerca sulla banca dati elettronica di Medline, utilizzando come motore di ricerca Pubmed ([www.pubmed.org](http://www.pubmed.org)). Dalle stringhe di ricerca utilizzate abbiamo trovato un totale di 352 studi, di cui ne sono stati selezionati 110 dalla lettura degli abstract ed infine dalla lettura del full text solo 34 lavori sono stati inclusi nella revisione definitiva.

**RISULTATI:** L'attivazione delle sinergie del pavimento pelvico risulta essere un meccanismo anticipatorio, rispetto all'attivazione dei muscoli primari funzionali al completamento dell'azione. I muscoli del pavimento pelvico sono attivi durante l'attivazione volontaria di altri muscoli sinergici al controllo del tronco e degli arti. Sulla base di tali evidenze neurofisiologiche si è ipotizzato un potenziale approccio riabilitativo.

**CONCLUSIONI** Allo stato attuale vi sono evidenze che avvengano attivazioni corticali in area motoria durante l'attivazione sinergica del pavimento pelvico, ma non è possibile inferire che tali attivazioni rappresentino la rappresentazioni corticali delle sinergie muscolari della muscolatura del pavimento pelvico. Inoltre sarebbe utile che studi futuri definiscano esattamente quale combinazione di muscoli del pavimento pelvico operino sinergicamente per compiti diversi. Tuttavia gli spunti offerti dai lavori sulle sinergie sono utili strumenti da approfondire, al fine di rendere l'approccio riabilitativo più efficace e personalizzato.



# 1) INTRODUZIONE

Il corpo umano e l'ambiente che lo circonda interagiscono tra loro tramite il movimento. La relazione che si viene ad instaurare è di tipo bilaterale, che permette al corpo umano di agire nell'ambiente, ma anche di adeguarsi con un processo di apprendimento attraverso stimoli provenienti dall'ambiente.

Il nostro corpo è caratterizzato da una struttura altamente complessa, molti dei movimenti che riesce ad esprimere presentano una forte ridondanza nella loro esecuzione. Infatti una precisa azione può essere effettuata secondo combinazioni diverse nello spazio dei giunti meccanici del sistema muscoloscheletrico, che per l'appunto consentono più gradi di libertà. La "coordinazione" di un movimento è il processo che consente di controllare i gradi di libertà ridondanti del corpo in movimento, ossia, rappresenta l'organizzazione del controllo dell'apparato motorio[1].

Con questo lavoro proveremo ad approfondire i meccanismi neuro-fisiologici alla base del movimento, come il funzionamento dell'apparato locomotore.

Questa tesi si propone di riassumere lo stato dell'arte sulle nuove conoscenze derivanti dai recenti modelli neuro-muscolo-scheletrici fondati sulle sinergie muscolari. Nello specifico cercheremo di capire come avvenga la regolazione sinergica a livello della muscolatura del pavimento pelvico nei soggetti sani e quali siano le implicazioni nelle problematiche di low back pain. Cercheremo di estrarre gli elementi significativi per il clinico, che permettano di costruire l'esercizio terapeutico in maniera specifica, per migliorarne l'efficacia.

## 1.1) Basi Neurofisiologiche del movimento

La grande complessità intrinseca del corpo umano, dipendente dalle sue caratteristiche meccaniche (i.e. alta dimensionalità e ridondanza degli elementi che lo costituiscono), rende complicato inferire in modo diretto quali siano i meccanismi biologici alla base della esecuzione motoria volontaria. Alcuni autori hanno studiato, attraverso l'analisi del movimento, quali siano i meccanismi coinvolti che permettono al cervello di ridurre il numero dei gradi di libertà da controllare.

L'analisi sistematica della cinematica del movimento, ha evidenziato caratteristiche di regolarità dei movimenti semplici. Sulla base di tali conoscenze si è cercato di spiegare come

avvengano movimenti più complessi, come la scrittura, o anche movimenti rapidi che debbano sottostare ad un certo vincolo di accuratezza spaziale [2]. Tali movimenti degli individui adulti umani, sono spesso irregolari ed esibiscono profili di velocità asimmetrici e multipicco [2]. Queste irregolarità in molti lavori, sono state lette come prove di *meccanismi discreti del controllo motorio* [2] [3] mentre in altri, sono state interpretate come il risultato di un *processo di controllo continuo* [4] [5]. Sulla base di queste conoscenze è stato ipotizzato che il sistema motorio abbia delle proprietà dette composizionali, ovvero il movimento potrebbe essere un fenomeno che emerge dalla combinazione di elementi finiti (composizionalità). La composizionalità nasce dall'idea per cui i movimenti siano il prodotto della sovrapposizione dei "primitives". Esistono diverse posizioni in letteratura su quali siano i meccanismi che regolano e modulano l'attivazione dei primitives. Alcuni autori sostengono che vi possa essere una sovrapposizione dei "primitive" che portano all'emergenza del movimento volontario come risultato finale [6], mentre altri autori sostengono che i "primitive" agiscano quali ottimizzatori della performance principale, che viene selezionata a priori come schema motorio [2, 3]. La maggior parte di questi studi ha assunto che tutte le primitive dei movimenti condividono lo stesso profilo di velocità basale, con la possibilità che questo possa essere scalato nel tempo ed in ampiezza, per risultare il più possibile simile al movimento complessivo. [2, 3]

### **1.1.1) Ipotesi di controllo discreto o continuo**

Attualmente non vi è ancora accordo su quali siano i meccanismi biologici alla base del controllo motorio, che permettano di realizzare comportamenti con tali parametri spaziotemporali, inoltre sono molte le controversie irrisolte. In diversi lavori si è dimostrato che le caratteristiche di forma ed attivazione nel tempo dei primitives, malgrado una certa variabilità, risultano essere confrontabili, sia che vengano intese quali moduli di base che compongono il movimento, sia che vengano considerate quali ottimizzatori di un movimento pre-programmato. I risultati ottenuti negli studi di base suggeriscono che vi possa essere una forma generalizzata di descrivere ogni tipo di movimento, tuttavia tale forma non è ancora stata definitivamente determinata. Per di più, viene suggerito che lo stesso meccanismo di controllo potrebbe essere responsabile della produzione dei primitives stessi. [2]. Alcuni autori ritengono che la generazione di primitive sarebbe strettamente collegata, e quindi guidata soprattutto dall'afferenza propriocettiva e visiva [3], questo però non spiegherebbe il ritardo sensoriale nei movimenti rapidi [7].

L'istante d'inizio dei primitive è risultato per di più altamente variabile e quindi non potrebbe essere spiegato da un processo di correzione continuo[7]. Questi risultati appoggerebbero l'ipotesi secondo cui il movimento irregolare è il prodotto di un meccanismo di controllo intermittente. Allo stato attuale un punto condiviso da più autori è che lo scopo di queste primitive sia quello di modulare i movimenti. Per alcuni, la correzione riguarderebbe precedenti primitive[3] [7]risultando in una sorta di concatenazione e sommazione di movimenti base a formare quello che appare come il movimento complessivo; altri autori invece, hanno ipotizzato un'alternativa, secondo cui i primitive verrebbero generati con lo scopo di modulare eventuali movimenti primari non precisi [2].

Novak et al. sostiene che le primitive discrete correttive, siano generate centralmente, a livello del SNC, da un processo che controlli l'esecuzione efferente e la risposta afferente [2]. In effetti, risulta molto complicato appurare se ciò che risulta essere una regolazione continua, compensatoria del movimento, sia progettata in quel modo in anticipo o se siano correzioni discrete vere e proprie. Malgrado qualche autore definisca le primitive come i mattoni su cui si fonda il movimento, queste, molto probabilmente hanno un ruolo più importanti nella funzione di controlli degli errori e nel controllo di precisione del movimento finale. Processi a livello del Sistema Nervoso potrebbero determinare la necessità di produrre i comandi richiesti per generare primitivedis di controllo, in questo, potrebbero avere un ruolo fondamentale le dinamiche spinali [2].

## 1.2 Le sinergie muscolari

La "coordinazione" di un movimento è il processo che consiste nel controllare i gradi di libertà ridonanti dell'organo in movimento, o in altre parole nel convertirlo in un sistema controllabile[1].

Le centinaia di gradi di libertà che caratterizzano l'organizzazione anatomica e dinamica del nostro corpo, avrebbero reso il controllo del movimento impossibile se nel corso dell'evoluzione non fossero emerse delle strategie per diminuire contemporaneamente il numero di gradi di libertà meccanici, attraverso l'organizzazione geometrica dello scheletro, e il numero di gradi di libertà che il cervello deve controllare [1].

La parola sinergia deriva da 'syn' (insieme) e 'ergos' (lavoro). L'esistenza di tale meccanismo di controllo, è stato proposto da Bernstein a sostegno della teoria per cui, visto che il sistema

nervoso non può controllare tutti i gradi di libertà, l'evoluzione avrebbe organizzato un repertorio di movimenti semplici o complessi che possiamo chiamare 'movimenti naturali' e che coinvolgono gruppi di muscoli e di segmenti corporei che lavorano insieme. Con questa accezione, le sinergie motorie rappresentano la base primitiva dei movimenti. [8, 9].

La grande elasticità del "network neuronale" consente di modulare queste sinergie per determinare delle 'strategie', che sono la scelta di una sinergia propriamente indicata oppure una serie di sinergie che sono alla base di un movimento articolato con un fine preciso. I movimenti sono in effetti organizzati in sequenze di sinergie, che costituiscono la base dei comportamenti. Successivamente meccanismi che costituiscono le 'selectors strategies' individuano le sinergie più appropriate, in funzione dello scopo dell'azione [8].

### **1.2.1) Modelli di combinazione di sinergie**

Il problema della realizzazione di un compito, può essere suddiviso in un insieme di sottoprocessi. Le azioni sono fondamentalmente progettate in riferimento agli oggetti ed alla configurazione dell'ambiente circostante, una volta definito il movimento nell'ambiente, questo deve essere tradotto in movimenti di segmenti multipli del corpo. Malgrado numerose evidenze per l'esistenza di '*modelli interni della dinamica*' [8], tale risoluzione, prendendo in considerazione dinamiche di un segmento corporeo e dinamiche dell'ambiente [10] potrebbe essere computazionalmente molto laboriosa, pertanto non efficace. Un'altro approccio, ha proposto che per ogni valore di posizione, velocità ed accelerazione, venga memorizzato un valore di momento torcente, formando una struttura chiamata '*look-up tables*' [11].

Gli ultimi progressi nello studio del sistema motorio sono stati caratterizzati da un' aumentata concentrazione sulle complesse dinamiche di task naturali in congiunzione con lo sviluppo di nuovi paradigmi sperimentali, per investigare il motor learning. C'è una convergenza di studi teorici e sperimentali sulla teoria che problemi di controllo complessi possano essere risolti attraverso combinazioni di moduli indipendenti. Da un punto di vista neurofisiologico, questi moduli costituiscono specifiche sinergie muscolari. Infine, da un punto di vista meccanico questi moduli sono in grado di determinare campi di forza sui segmenti governati. Per determinare un insieme di eventuali "sub movement", si possono seguire due orientamenti che possono portare a risultati contrastanti in riferimento all'ampiezza d'azione di un'unità motoria.

1. TOP-DOWN: basato sulla natura del problema da risolvere. L'obiettivo del sistema di controllo è definire una funzione che assegna ad ogni possibile stato del sistema e del relativo ambiente, una specifica azione [12]. Schaal e Atkenson hanno evidenziato come

compiti articolati possano essere regolati da parametri di controllori locali. Il loro è un approccio al motor learning basato sulla approssimazione di una funzione. La costruzione di una funzione ottima è equivalente alla ricostruzione di un movimento sconosciuto a partire da stati e azioni sperimentati.

2. BOTTOM-UP: basato sulle proprietà del output motorio. Tale analisi ha rivelato che i probabili blocchi costitutivi [4] usati dal SNC per la generazione del comportamento motorio, hanno ampi domini di influenza. Bizzi e altri autori studiando da un punto di vista elettrofisiologico il midollo spinale delle rane hanno fatto emergere fondamentali caratteristiche delle primitive motorie [13, 14].

In questo studio, la stimolazione elettrica del network interneuronale del midollo spinale lombare ha determinato un preciso equilibrio di attivazione muscolare. Le contrazioni di origine sinergica prodotte generano forze che portano l'arto posteriore omolaterale verso un punto di equilibrio nello spazio. Dall'insieme delle registrazioni delle forze generate hanno costituito il cosiddetto *convergent force field (CFF)*. Ne consegue che la relazione vettoriale delle uscite motorie tra diverse aree della mappa spinale può produrre un ampio assortimento di comportamenti motori [13].

Saltiel [15] con i suoi studi ha confermato gli stessi risultati, quest'ultimo però ha utilizzato un metodo più selettivo, ovvero la microstimolazione chimica. Applicando in vari siti del midollo spinale il *N-metil-D-aspartato ionoforesi* ha ottenuto una mappa sovrapponibile con quella ottenuta con la microstimolazione elettrica concludendo che circuiti interneuronali distinti del midollo spinale devono essere la sorgente di specifici tipi di campi di forza convergenti [15].

Visto che per ogni atto motorio non è sufficiente l'attività di un singolo muscolo, qualsiasi movimento necessita di una sinergia muscolare. L'obiettivo di tale approccio, pertanto è comprendere se l'attivazione sinergica dei muscoli derivi da una guida neurale fissa comune, oppure sia semplicemente un evento fenomenologico di una data coordinazione motoria. A tal proposito, sono state definite procedure computazionali che hanno introdotto un nuovo modo di affrontare e sintetizzare il problema: *algoritmi iterativi di decomposizione* per la estrapolazione e sintesi di sinergie. Tresch e i suoi collaboratori hanno confrontato una varietà di metodi computazionali utilizzati per estrarre le sinergie dai profili d'attivazione muscolare registrati. In linea di massima quest'approccio prova a decomporre il pattern muscolare monitorato come combinazione simultanea di un numero di sinergie. Questa fattorizzazione si ottiene adottando algoritmi iterativi inizializzati da un insieme di sinergie prestabilite. Successivamente si vanno a determinare i coefficienti non-negativi di combinazione di queste

sinergie prestabilite, che predicano nel modo migliore ciascuna risposta. Infine le sinergie sono poi adattate riducendo lo scarto tra l'output monitorato e quello osservato. Tale procedimento viene perciò ripetuto fino a che l'algoritmo arriva ad una particolare combinazione di sinergie [16].

Il concetto fondamentale che differenzia questo metodo è che lascia la possibilità ad un muscolo di appartenere a più di una sinergia, mantenendo la possibilità che queste strutture siano anche fisiologicamente decodificabili[15].

### **1.3) Il pavimento pelvico**

Quando si parla di pavimento pelvico vanno distinti tre piani muscolo-aponeurotici:

A) Il diaframma pelvico, ossia lo strato più interno, formato dal muscolo ischio-coccigeo e dall'elevatore dell'ano con i suoi fasci ilio-coccigei, pubo-coccigei e pubo-rettali. Tali fasci formano, sia a destra che a sinistra, come due ventagli, caratterizzati da un perno comune (il coccige). Ad unire centralmente le due porzioni dell'elevatore dell'ano è il centro Fibroso Tendineo del Perineo, situato tra canale vaginale e rettale. Sulla linea mediana del diaframma pelvico troviamo infatti lo Hiatus Genitale, ossia un'apertura attraverso la quale passano sia il retto che la vagina e l'uretra. Lateralmente, infine, il diaframma pelvico si inserisce lungo l'Arco Tendineo che scorre dal pube alla spina ischiatica mentre al di sotto del piano dell'elevatore dell'ano si trova la fossa ischio-rettale[17].

B) Il perineo è la regione sottostante al diaframma pelvico; è costituito da formazioni muscolo-fasciali disposte a chiudere inferiormente lo stretto inferiore della pelvi. In superficie si estende fino alla cute e occupa una posizione mediana tra le natiche e la superficie mediale delle cosce. Approssimativamente ha una forma a losanga, ad asse maggiore diretto antero-posteriormente; una linea trasversale passante per le tuberosità ischiatiche lo divide in due regioni triangolari: - Triangolo posteriore o anale e Triangolo anteriore o urogenitale.

Nella regione del triangolo anale si distinguono lo sfintere esterno dell'ano e la fossa ischio-rettale. Il Triangolo urogenitale invece è una lamina triangolare muscolo-aponeurotica, dello spessore di circa 1 cm, tesa tra le due branche ischio-pubiche a chiudere la porzione anteriore dello stretto inferiore della pelvi. Nel maschio è attraversato dall'uretra (parte membranosa) e contiene nel suo spessore le ghiandole bulbo-uretrali; nella femmina è attraversato dall'uretra e dalla vagina ed accoglie le ghiandole di Bartolino.

Le strutture muscolari della regione urogenitale possono essere suddivise in due gruppi:

- Muscoli perineali profondi: sfintere uretrale e muscolo trasverso profondo del perineo
- Muscoli urogenitali superficiali, che costituiscono il cosiddetto strato superficiale degli sfinteri di cui fanno parte il muscolo trasverso superficiale del perineo, il muscolo ischio-cavernoso, il muscolo bulbo-cavernoso e nella donna è possibile individuare il muscolo compressore dell'uretra.

Nell'uomo il muscolo bulbocavernoso contribuisce allo svuotamento dell'uretra, dopo svuotamento vescicale; durante la minzione i suoi fasci sono rilassati, entrando in azione alla fine dell'atto. I fasci intermedi contribuiscono all'erezione del corpo cavernoso, comprimendo il tessuto erettile del bulbo, mentre i fasci anteriori vi concorrono comprimendo la vena dorsale profonda del pene. Nella donna il muscolo bulbo cavernoso ricopre le parti superficiali dei bulbi del vestibolo e le ghiandole vestibolari maggiori, e si porta anteriormente, circondando la parete vaginale per terminare sui corpi cavernosi del clitoride. I fasci muscolari si inseriscono posteriormente nel centro tendineo del perineo, ove decussano con quelli dello sfintere esterno o striato dell'ano e del muscolo trasverso controlaterali; contraendosi causano un restringimento dell'orifizio vaginale, fuoriuscita del secreto delle ghiandole vestibolari, mentre comprimendo la vena dorsale profonda del clitoride, ne contribuiscono all'erezione. Il muscolo ischio cavernoso è un muscolo pari e simmetrico, più sviluppato nel maschio. Posteriormente si fissa alla tuberosità ischiatica decorrendo parallelo alla rispettiva branca ischio-pubica, assumendo una forma di una doccia applicata sulla radice dei corpi cavernosi del pene e del clitoride, mentre anteriormente, divenuto tendineo, si fissa al di sotto della sinfisi pubica e sulla tonaca albuginea dei corpi cavernosi. Il muscolo ischio-cavernoso comprime la radice dei corpi cavernosi, concorrendo all'erezione del pene / clitoride. Invece per quanto riguarda lo sfintere dell'ano ritroviamo lo sfintere esterno o striato dell'ano e lo sfintere interno o liscio dell'ano [17].

Nel suo insieme il pavimento pelvico ricopre un importante ruolo di supporto dal basso degli organi pelvici, sfinterico (dato che in condizioni di riposo l'elevatore dell'ano chiude lo iato genitale) e nella sfera sessuale.

Quando il complesso muscolare perineale è danneggiato o ipovalido, la muscolatura si rilascia e si creando una struttura anatomica a forma di imbuto e lo iato genitale si allarga[18].

Le fasce e legamenti, sottoposti a trazione, si stirano e si allungano, provocando lo slittamento verso il basso delle pareti vaginali e degli organi pelvici.

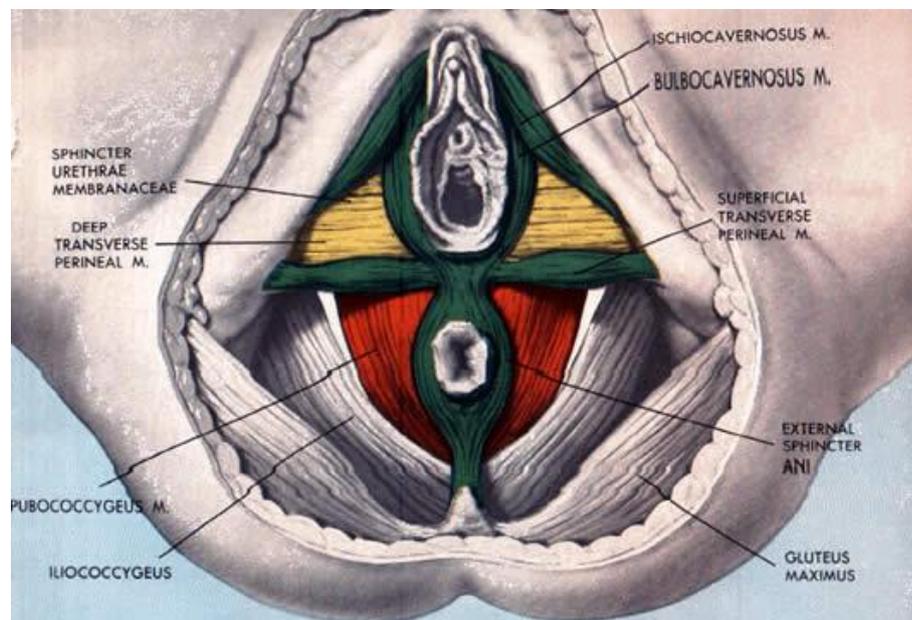
Da questa situazione deriva l'ipermobilità del collo vescicale e dell'uretra, la perdita del piano di sostegno muscolo-fasciale a livello del terzo medio della vagina e l'alterazione dei

meccanismo di sospensione in alto e avanti, in risposta agli aumenti pressori addominali: gli eventi patogenetici che concorrono alla comparsa della incontinenza urinaria [18].

Il complesso muscolare del pavimento pelvico (PFM: pelvic floor muscle) ha una azione di supporto e sfinteriale, pertanto gioca un ruolo cruciale nel mantenimento della continenza, essendo implicato nel corretto posizionamento del collo vescicale.

Inoltre la contrazione automatica involontaria del piano perineale durante un aumento della pressione intraddominale (come un colpo di tosse) contribuisce a determinare la pressione di chiusura uretrale prevenendo quindi le fughe di urina.

La contrazione del perineo è causa di una elevazione e una occlusione di tutti i tessuti molli del pavimento perineale per resistere alle forze che attraversano la pelvi[17].



#### 1.4) Obiettivo della tesi

Nello specifico con il nostro lavoro si cercherà attraverso l'analisi della letteratura la presenza di evidenze sull'esistenza delle sinergie muscolari a livello della muscolatura del pavimento pelvico e se queste possano essere alterate nella loro fisiologia da quadri patologici e/o dolorosi.

## 2) MATERIALI E METODI

E' stata effettuata una ricerca sulla banca dati elettronica di Medline, utilizzando come motore di ricerca Pubmed ([www.pubmed.org](http://www.pubmed.org)).

utilizzando le seguenti stringhe di ricerca con i relativi operatori booleani:

- ("muscles"[MeSH Terms] AND synergies[All Fields] AND "control"[All Fields] AND ("movement"[MeSH Terms]
- ("pelvic floor"[MeSH Terms] OR "pelvic floor"[All Fields]) AND ("muscles"[MeSH Terms] OR "muscles"[All Fields] ) AND synergies[All Fields]
- ("Muscles"[Mesh] AND "Pelvic Floor"[Mesh]) AND "Back Pain"[Mesh] OR "pelvic girdle pain"[All Fields]
- Kutch, Jason J[Full Author Name]

Ad ogni stringa di ricerca sono stati applicati dei limiti in modo da selezionare articoli che avessero almeno l'abstract disponibile, in lingua inglese od italiana. Si è preferito non porre limiti di evidenza per poter attingere ad una gamma di articoli più ampia.

Degli articoli così trovati sono stati analizzati gli abstract ed esclusi quelli che:

- riguardavano terapie farmacologiche associate
- erano correlate a patologie del SNC
- erano correlate ad altre patologie specifiche

Di quelli selezionati è stato letto il *full text*. Sono stati esclusi gli studi già reclutati da una stringa di ricerca precedente. Dalle 4 stringhe di ricerca utilizzate abbiamo trovato un totale di 352 studi, di cui 110 sono stati inclusi a seguito della lettura degli abstract, ma solamente 34 sono risultati pertinenti lavoro dopo la lettura del full-text.

Nelle tabelle seguenti sono riportati nel dettaglio i procedimenti ed i risultati delle ricerche.

## 2.1)

## Ricerca degli studi

Ricerca	Stringa di ricerca	Articoli trovati	Articoli selezionati	Articoli pertinenti
1	("muscles"[MeSH Terms] AND synergies[All Fields] AND "control"[All Fields] AND ("movement"[MeSH Terms])	133	57	22
2	("pelvic floor"[MeSH Terms] OR "pelvic floor"[All Fields]) AND ("muscles"[MeSH Terms] OR "muscles"[All Fields]) AND synergies[All Fields]	6	4	2
3	("Muscles"[Mesh] AND "Pelvic Floor"[Mesh]) AND "Back Pain"[Mesh] OR "pelvic girdle pain"[All Fields]	200	46	9
4	Kutch, Jason J[Full Author Name]	13	3	1
		352 TOTALE	100 TOTALE	34 TOTALE

## 2.2)

## Elenco studi pertinenti

Ricerca	Elenco articoli pertinenti
1	Tresch, M.C., P. Saltiel, and E. Bizzi, <i>The construction of movement by the spinal cord</i> . Nat Neurosci, 1999.
	Saltiel, P., et al., <i>Muscle synergies encoded within the spinal cord: evidence from focal intraspinal NMDA iontophoresis in the frog</i> . J Neurophysiol, 2001.
	Mussa-Ivaldi, F.A., <i>Modular features of motor control and learning</i> . Curr Opin Neurobiol, 1999.
	Bizzi, E., F.A. Mussa-Ivaldi, and S. Giszter, <i>Computations underlying the execution of movement: a biological perspective</i> . Science, 1991.
	Schaal, S. and C.G. Atkeson, <i>Constructive incremental learning from only local information</i> . Neural Comput, 1998.
	Gandolfo, F., F.A. Mussa-Ivaldi, and E. Bizzi, <i>Motor learning by field approximation</i> . Proc Natl Acad Sci U S A, 1996.
	Mussa-Ivaldi, F.A., S.F. Giszter, and E. Bizzi, <i>Linear combinations of primitives in vertebrate motor control</i> . Proc Natl Acad Sci U S A, 1994.
	Dipietro, L., et al., <i>Changing motor synergies in chronic stroke</i> . J Neurophysiol, 2007
	Bhushan, N. and R. Shadmehr, <i>Computational nature of human adaptive control during learning of reaching movements in force fields</i> . Biol Cybern, 1999
	Meyer, D.E., et al., <i>Optimality in human motor performance: ideal control of rapid aimed movements</i> . Psychol Rev, 1988.
Waters-Metenier, S., et al., <i>Bihemispheric transcranial direct current stimulation enhances effector-independent representations of motor synergy and sequence learning</i> . J Neurosci, 2014.	

1	Drew, T., et al., <i>Cortical mechanisms involved in visuomotor coordination during precision walking</i> . Brain Res Rev, 2008.
	Cheung, V.C., et al., <i>Stability of muscle synergies for voluntary actions after cortical stroke in humans</i> . Proc Natl Acad Sci U S A, 2009
	Saltiel, P., et al., <i>Muscle synergies encoded within the spinal cord: evidence from focal intraspinal NMDA iontophoresis in the frog</i> . J Neurophysiol, 2001.
	Jacobs, J.V., et al., <i>The supplementary motor area contributes to the timing of the anticipatory postural adjustment during step initiation in participants with and without Parkinson's disease</i> . Neuroscience, 2009.
	Slijper, H., et al., <i>Task-specific modulation of anticipatory postural adjustments in individuals with hemiparesis</i> . Clin Neurophysiol, 2002.
	Ball, T., et al., <i>The role of higher-order motor areas in voluntary movement as revealed by high-resolution EEG and fMRI</i> . Neuroimage, 1999.
	Bortoletto, M. and R. Cunnington, <i>Motor timing and motor sequencing contribute differently to the preparation for voluntary movement</i> . Neuroimage, 2010
	Fishbach, A., et al., <i>Kinematic properties of on-line error corrections in the monkey</i> . Exp Brain Res, 2005.
	Viallet, F., et al., <i>Coordination between posture and movement in a bimanual load lifting task: putative role of a medial frontal region including the supplementary motor area</i> . Exp Brain Res, 1992.
	Novak, K.E., L.E. Miller, and J.C. Houk, <i>The use of overlapping primitives in the control of rapid hand movements</i> . Exp Brain Res, 2002.
	Rathelot, J.A. and P.L. Strick, <i>Muscle representation in the macaque motor cortex: an anatomical perspective</i> . Proc Natl Acad Sci U S A, 2006.
Asavasopon, S., et al., <i>Cortical activation associated with muscle synergies of the human male pelvic floor</i> . J Neurosci, 2014.	

2	<p>Madill, S.J. and L. McLean, <i>Quantification of abdominal and pelvic floor muscle synergies in response to voluntary pelvic floor muscle contractions</i>. J Electromyogr Kinesiol, 2008.</p>
3	<p>Arab, A.M., et al., <i>Assessment of pelvic floor muscle function in women with and without low back pain using transabdominal ultrasound</i>. Man Ther, 2010.</p>
	<p>Sjodahl, J., et al., <i>The postural response of the pelvic floor muscles during limb movements: a methodological electromyography study in parous women without lumbopelvic pain</i>. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2009.</p>
	<p>Grewar, H. and L. McLean, <i>The integrated continence system: a manual therapy approach to the treatment of stress urinary incontinence</i>. Man Ther, 2008.</p>
	<p>Pool-Goudzwaard, A.L., et al., <i>Relations between pregnancy-related low back pain, pelvic floor activity and pelvic floor dysfunction</i>. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 2005.</p>
	<p>O'Sullivan, P.B., et al., <i>Altered motor control strategies in subjects with sacroiliac joint pain during the active straight-leg-raise test</i>. Spine (Phila Pa 1976), 2002.</p>
	<p>Smith, M.D., A. Russell, and P.W. Hodges, <i>Disorders of breathing and continence have a stronger association with back pain than obesity and physical activity</i>. Aust J Physiother, 2006.</p>
	<p>Whittaker, J.L., et al., <i>Rehabilitative ultrasound imaging of pelvic floor muscle function</i>. J Orthop Sports Phys Ther, 2007.</p>
	<p>Doggweiler-Wiygul, R., <i>Urologic myofascial pain syndromes</i>. Curr Pain Headache Rep, 2004.</p>
	<p>Stuge, B., et al., <i>Abdominal and pelvic floor muscle function in women with and without long lasting pelvic girdle pain</i>. Man Ther, 2006.</p>

4	Kutch, J.J. and F.J. Valero-Cuevas, <i>Challenges and new approaches to proving the existence of muscle synergies of neural origin</i> . PLoS Comput Biol, 2012.
---	--

### 2.3)                      Articoli inclusi da altri studi

Dalle bibliografie degli articoli selezionati per questa revisione sono stati selezionati altri articoli, considerati particolarmente rilevanti dagli autori degli articoli stessi, o semplicemente citati da più di un autore. Di questi articoli è stato visionato l'abstract ed il full-text, per poi essere inclusi effettivamente nel lavoro che stiamo presentando.

Gli articoli così selezionati sono riassunti nella tabella seguente.

Bernstein, N., <i>The co-ordination and regulation of movements</i> . 1967: Pergamon-Press.
PORT, et al., <i>Manual interception of moving targets. I. Performance and movement initiation</i> . Vol. 116. 1997, Heidelberg, ALLEMAGNE: Springer.
Raibert, M.H., <i>Manipulator control using the configuration space method</i> . Industrial Robot: An International Journal, 1978
Thor, K.B. and W.C. de Groat, <i>Neural control of the female urethral and anal rhabdosphincters and pelvic floor muscles</i> . Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2010.
Pemberton, J.H., M. Swash, and M.M. Henry, <i>The Pelvic Floor: Its Function and Disorders</i> . 2002:
Parekh, A.R., et al., <i>The role of pelvic floor exercises on post-prostatectomy incontinence</i> . J Urol, 2003
Leyton, A.S.F. and C.S. Sherrington, <i>Observations on the Excitable Cortex of the Chimpanzee, Orang-utan, and Gorilla</i> . 1917
Turnbull, G.K., et al., <i>The cortical topography of human anorectal musculature</i> . Gastroenterology, 1999
Schrum, A., et al., <i>Motor cortical representation of the pelvic floor muscles</i> . J Urol,

2011.
Bo, K. and R. Stien, <i>Needle EMG registration of striated urethral wall and pelvic floor muscle activity patterns during cough, Valsalva, abdominal, hip adductor, and gluteal muscle contractions in nulliparous healthy females</i> . Neurourol Urodyn, 1994.
Peschers, U.M., et al., <i>Evaluation of pelvic floor muscle strength using four different techniques</i> . Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 2001.
Sapsford, R.R. and P.W. Hodges, <i>Contraction of the pelvic floor muscles during abdominal maneuvers</i> . Arch Phys Med Rehabil, 2001.
Hodges, P.W., R. Sapsford, and L.H. Pengel, <i>Postural and respiratory functions of the pelvic floor muscles</i> . Neurourol Urodyn, 2007.
Sherburn, M., et al., <i>Investigation of transabdominal real-time ultrasound to visualise the muscles of the pelvic floor</i> . Aust J Physiother, 2005.
Thompson, J.A., et al., <i>Assessment of pelvic floor movement using transabdominal and transperineal ultrasound</i> . Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 2005.
Sapsford, R., <i>Rehabilitation of pelvic floor muscles utilizing trunk stabilization</i> . Man Ther, 2004
Richardson, C., <i>Therapeutic Exercise for Spinal Segmental Stabilization in Low Back Pain: Scientific Basis and Clinical Approach</i> . 1999: Churchill Livingstone.
Neumann, P. and V. Gill, <i>Pelvic floor and abdominal muscle interaction: EMG activity and intra-abdominal pressure</i> . Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 2002.
Hodges, P.W., et al., <i>Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine</i> . J Biomech, 2005.
Finkelstein, M.M., <i>Medical conditions, medications, and urinary incontinence. Analysis of a population-based survey</i> . Can Fam Physician, 2002.
Vleeming, A., <i>Movement, Stability and Low Back Pain: The Essential Role of the Pelvis</i> . 1997: Churchill Livingstone
Pool-Goudzwaard, A., et al., <i>Contribution of pelvic floor muscles to stiffness of the pelvic ring</i> . Clin Biomech (Bristol, Avon), 2004
Laycock, J., et al., <i>Pelvic floor reeducation for stress incontinence: comparing three methods</i> . Br J Community Nurs, 2001
Carrière, B., C.M. Feldt, and K. Bø, <i>The Pelvic Floor</i> . 2006: Georg Thieme Verlag.
Bo, K. and M. Sherburn, <i>Evaluation of female pelvic-floor muscle function and</i>

<i>strength</i> . Phys Ther, 2005.
Lee, D., <i>The pelvic girdle: an approach to the examination and treatment of the lumbo-pelvic-hip region</i> . 1989: Churchill Livingstone
Miller, J.M., J.A. Ashton-Miller, and J.O. DeLancey, <i>A pelvic muscle precontraction can reduce cough-related urine loss in selected women with mild SUI</i> . J Am Geriatr Soc, 1998.
Richardson, C., P.W. Hodges, and J. Hids, <i>Therapeutic Exercise for Lumbopelvic Stabilization: A Motor Control Approach for the Treatment and Prevention of Low Back Pain</i> . 2004: Churchill Livingstone
Hodges, P.W., <i>Core stability exercise in chronic low back pain</i> . Orthop Clin North Am, 2003.
Schüssler, B., et al., <i>Pelvic Floor Re-Education: Principles and Practice</i> . 1994: Springer.
Kraemer, W.J., et al., <i>American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults</i> . Med Sci Sports Exerc, 2002.
Lau, D.C., et al., <i>2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children [summary]</i> . CMAJ, 2007.
Brown, W.J. and Y.D. Miller, <i>Too wet to exercise? Leaking urine as a barrier to physical activity in women</i> . J Sci Med Sport, 2001
Haskell, W.L., et al., <i>Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association</i> . Med Sci Sports Exerc, 2007.
Schuiling, K.D. and F.E. Likis, <i>Women's Gynecologic Health</i> . 2011: Jones & Bartlett Learning.
Stafford, R.E., et al., <i>Activation of the striated urethral sphincter to maintain continence during dynamic tasks in healthy men</i> . Neurorol Urodyn, 2012.

## 2.4)

## Studi esclusi

Di seguito riportiamo un resoconto del numero degli articoli esclusi e i criteri di esclusione

Ricerca	Studi trovati	Studi esclusi dalla lettura dell'Abstract	Studi esclusi dalla lettura del full text	Criteri di esclusione degli studi di cui si è letto il full text
1	133	76	35	6 riguardavano l'ambito farmacologico
				7 riguardavano il coinvolgimento con specifiche patologie
				22 erano riferiti a stati patologici del SNC
2	6	2	2	2 erano riferiti a stati patologici del SNC
3	200	154	37	12 riguardavano l'ambito farmacologico
				9 riguardavano il coinvolgimento con specifiche patologie
				16 erano riferiti a stati patologici del SNC
4	13	10	9	1 riguardavano l'ambito farmacologico
				5 riguardavano il coinvolgimento con specifiche patologie

				3 erano riferiti a stati patologici del SNC
--	--	--	--	---

## 3) RISULTATI

### 3.1) Origini delle sinergie del pavimento pelvico

Nonostante la potenziale rilevanza delle sinergie del pavimento pelvico per condizioni cliniche quali l'incontinenza[19] ed il dolore pelvico cronico[20] i centri neurali responsabili di queste sinergie sono ancora poco conosciuti. Infatti molte sinergie muscolari sono probabilmente modellate da connessioni sottocorticali [4, 15, 21] ma ci sono anche prove del coinvolgimento corticale nella attivazione delle sinergie muscolari per il controllo della muscolatura del pavimento pelvico [22-24].

Gli studi che hanno dimostrato le basi corticali delle sinergie feedforward [25-27] hanno spinto alcuni autori a cercare di capire quali siano le aree corticali che generino l'attivazione dei PFM (muscoli del pavimento pelvico). Una serie di evidenze che risalgono a Leyton e Sherrington, dimostra che la muscolatura del pavimento pelvico è rappresentata nella parete mediale del giro precentrale[28-30].

Alcuni autori hanno ipotizzato che la corteccia motoria sia associata a sinergie della muscolatura del pavimento pelvico. È stata riscontrata una regione della parete mediale che sarebbe rimasta attiva durante la contrazione volontaria del pavimento pelvico e di altri muscoli sinergizzanti, inoltre la stimolazione di questa regione genererebbe l'attivazione del pavimento pelvico. Asavasopon e Rana[31] nel loro studio usando una combinazione di registrazioni elettromiografiche, risonanza magnetica funzionale (fMRI) e stimolazione magnetica transcranica (TMS) hanno registrato i segnali elettromiografici dal reclutamento della muscolatura del pavimento pelvico. Un sensore elettromiografico rettale, registrava l'attività dello sfintere anale e del muscolo elevatore dell'ano. Si è registrato in un gruppo le sinergie del pavimento pelvico che si attivavano reclutando da supini il muscolo grande gluteo essendone noto l'accoppiamento sinergico con il pavimento pelvico [32, 33] e nell'altro gruppo (di controllo) ciò che succedeva reclutando da supini il primo interosseo dorsale della

mano che non dispone di un accoppiamento sinergico con i muscoli del pavimento pelvico [32, 33]

Dalle registrazioni è risultato che l'attività dei PFM è in sinergia con l'attività del muscolo grande gluteo e che non esisteva un accoppiamento sinergico con l'attivazione del muscolo del primo interosseo dorsale della mano[31].

La muscolatura del pavimento pelvico è stata attivata sia durante la contrazione del pavimento pelvico stesso che durante la contrazione volontaria del muscolo grande gluteo, ma non durante l'attivazione del primo interosseo dorsale della mano. Hanno osservato che l'attivazione del pavimento pelvico si è verificata in anticipo rispetto all' attivazione del muscolo grande gluteo durante la sua contrazione volontaria[31].

Utilizzando i dati raccolti dalla fMRI si è registrato, mentre i partecipanti eseguivano i compiti di attivazione muscolare, che una regione della parete mediale del giro precentrale è stata attivata durante l'attivazione volontaria del pavimento pelvico e quella del muscolo grande gluteo, ma non durante l'attivazione volontaria del primo interosseo dorsale della mano. Stimolando la suddetta area con stimolazioni magnetiche transcraniche si evocavano potenziali evocati motori (MEP) sulla muscolatura del pavimento pelvico[31].

In questo modo hanno trovato una regione della parete mediale del giro precentrale, che mostrava una significativa attivazione cerebrale sia per l'attivazione volontaria della muscolatura del pavimento pelvico, che dell'attivazione volontaria del muscolo grande gluteo. Più specificatamente, questa regione identificata nella parete mediale sembra contenere un chiaro contributo sia dalla corteccia motoria primaria sia dall'area motoria supplementare(SMA)[31].

Tenendo presente che l'attività SMA precede l'attività della corteccia motoria primaria durante compiti motori volontari[34, 35], Asavasopon suggerisce con il suo lavoro, che la rappresentazione della muscolatura del pavimento pelvico a livello della SMA sia in linea con l'ipotesi del coinvolgimento della SMA in sinergie muscolari feedforward. Quanto detto da Asavasopon è coerente con l'ipotesi che i pazienti con lesioni della SMA presentino disabilità nell'attivazione muscolare anticipatoria[36].

### **3.2) Combinazioni di sinergie nel pavimento pelvico**

L'attivazione delle sinergie del pavimento pelvico ha dimostrato di verificarsi in anticipo rispetto all'attivazione dei muscoli primari utilizzati per completare un'operazione. Si è evinto

che i muscoli del pavimento pelvico sono attivi durante l'attivazione volontaria dei muscoli addominali. Nei soggetti sani, l'attività volontaria dei muscoli addominali si traduce in una maggiore attività dei muscoli del pavimento pelvico (PFM). L'attivazione del pavimento pelvico prima dell'attivazione della muscolatura addominale, a seguito di una contrazione volontaria, suggerisce che l'azione dei PFM può essere parte di una sinergia feedforward (anticipatoria)[37].

Alcuni studi suggeriscono che vi sia una risposta feed-forward dei muscoli del pavimento pelvico durante movimenti di sollevamento di arti superiori ed inferiori [38].

Andando ad analizzare le sinergie dei PFM durante l'attività respiratoria si è visto che, nelle situazioni in cui la respirazione era associata a movimenti ripetuti del braccio, l'attività EMG dei PFM risultava aumentata rispetto alla semplice respirazione[39].

Registando il muscolo sfintere striato dell'uretra si è visto che è stato contratto in sinergia durante l'attivazione volontaria dei PFM e del grande gluteo, ma non durante la contrazione addominale. Invece, l'attivazione del muscolo grande gluteo, e della muscolatura addominale dava contrazione del resto dei PFM [32, 33].

Alcuni studi analizzavano la performance dei PFM in relazione alla postura (supino, seduto, in piedi). Tuttavia, l'ampiezza della pressione addominale e l'EMG dei muscoli dell'addome, durante le contrazioni volontarie dei PFM non erano diverse tra le posizioni. Delle differenze sono state registrate relativamente al timing di attivazione. In posizione supina, l'attivazione del m. EO (obliquo esterno) precedeva significativamente la contrazione di tutti gli altri muscoli in media di 27 ms ( $p = 0.043$ ). In posizione seduta, tutti i muscoli sono stati attivati contemporaneamente. In piedi, il m. RA (retto dell'addome) e l'EO sono stati attivati, rispettivamente 11 e 17 ms prima dei PFM, invece il m. TA (trasverso dell'addome) ed il m. IO (obliquo interno) sono stati attivati 10 e 12 ms, dopo i PFM ( $p < 0,001$ ), rispettivamente. I risultati suggeriscono che le donne siano in grado di eseguire ugualmente forti contrazioni PFM in posizione supina, seduta ed in piedi, ma il modello di attivazione addominale e l'attivazione dei PFM varia in base alla posizione. Queste differenze possono essere correlati a perdite di urina nelle donne con incontinenza da stress in determinate dalla posizioni. La disfunzione dei muscoli del pavimento pelvico può provocare incontinenza urinaria e fecale. Tramite l'allenamento dei muscoli addominali si possono riabilitare i PFM [40].

Per rendere più praticabile la registrazione dell'attività dei muscoli del pavimento pelvico sono stati condotti dei lavori tramite l'uso di ecografia trans addominale. Nello specifico per

valutare la funzione dei PFM si è analizzato il movimento della base vescicale in seguito a contrazione dei PFM [41, 42].

L'ecografia transaddominale è stata stabilita come un metodo sicuro, non invasivo, economico ed accessibile per la visualizzazione e la misurazione della funzione dei PFM. Questa tecnica è veloce e facile da applicare, confortevole per il paziente che non ha bisogno di spogliarsi. Questo può essere importante in popolazioni specifiche in cui la valutazione vaginale come la palpazione digitale e l'ecografia transperineale non possono essere praticate. Tenendo conto di questi vantaggi, questa tecnica è stata recentemente utilizzata per la valutazione dei PFM in donne con disfunzioni del pavimento pelvico. La quantità di movimento della base vescicale durante la contrazione dei PFM è considerata come un indicatore della loro funzione[42].

### **3.3) Sinergie muscolari del pavimento pelvico e Low Back Pain (LBP)**

Abbiamo cercato di capire cosa succedesse a livello delle sinergie muscolari del pavimento pelvico nelle condizioni dolorose. La disfunzione dei PFM è stata recentemente messa in relazione con la possibilità di sviluppare dolore lombo-pelvico [37, 43, 44].

I PFM sono l'unico gruppo muscolare trasversale portante nel corpo deputato a sostenere gli organi addomino-pelvici. I PFM hanno la doppia funzione di fornire stabilità alla regione lombo-pelvica e di controllare i meccanismi di contenzione della vescica [43, 45]. Essi svolgono un ruolo importante nel generare, mantenere e aumentare la pressione intra-addominale in compiti funzionali quali il sollevamento di pesi, ridere, tossire e durante la manovra di Valsalva [43, 46, 47] .

Esistono in letteratura evidenze di coattivazione tra pavimento pelvico e muscoli addominali profondi per lo sviluppo di pressione intra-addominale e trasferimenti di carico [37, 47]. Pertanto, i PFM sono generalmente accettati come parte del meccanismo di stabilità del tronco. Il contributo dei PFM per la pressione intra-addominale e la stabilità del tronco è già stata spiegata con l'attivazione feedforward di questi muscoli in risposta alle perturbazioni del tronco, così come per gli altri componenti del sistema muscolare profondo, compresi i muscoli addominali profondi e multifido [39].

Recenti studi hanno dimostrato un legame tra LBP e disfunzione genito-urinario come l'incontinenza urinaria[48-50], inoltre è stato ipotizzato che la disfunzione dei PFM provoca deficit di meccanismo di chiusura di forza, con conseguente compromissione di trasferimento del carico e dolore nella zona lombo-pelvica [49, 51, 52]

Inoltre, sembra essere associata un'alterazione del controllo motorio dei PFM in soggetti con dolore sacro-iliaco[53]

Al contrario, Stuge e i suoi collaboratori non trovarono alcuna differenza significativa nella forza dei PFM tra donne con e senza chronic pelvic girdle pain [54]. Questa controversia potrebbe derivare dal fatto che gli approcci ed i campioni utilizzati erano diversi e non sufficientemente potenti in termini di numerosità.

Arab in un suo studio ha confrontato la funzione dei PFM in due gruppi di donne: donne con LBP e donne senza LBP. Un totale di 40 donne non gravide hanno partecipato allo studio. La popolazione oggetto di questo studio è stato un campione di convenienza costituito da soggetti che erano di età compresa tra i 20 e i 50 anni. Un numero uguale di donne (n = 20) sono stati assegnati a ciascun gruppo [55].

I pazienti sono stati inclusi se prima dello studio avevano riportato una storia di LBP per più di sei settimane o avevano sperimentato durante l'ultimo anno almeno tre episodi di LBP, ciascuno della durata di più di una settimana. I soggetti che avevano una storia di chirurgia spinale, frattura vertebrale o pelvica, ospedalizzazione per gravi traumi o incidente d'auto, infezioni delle vie urinarie, infezioni vaginali e noti disturbi neurologici erano stati esclusi. Invece, nel gruppo di controllo rientrava chi non avvertiva nessun tipo di dolore a livello lombare [55].

I risultati di questo studio mostrano una differenza significativa nella funzione dei PFM tra donne con e senza LBP. Il gruppo con LBP manifestava un'alterazione del controllo motorio dei PFM [55]. Risultati simili sono stati riportati da altri studi [49, 53].

Questi ricercatori hanno attribuito all'origine del LBP la perdita di caratteristiche di controllo motorio dei PFM. La mancanza di una corretta funzione dei PFM sembra sia associata ad una instabilità di tronco, causando LBP[37, 39].

Alla luce di questi studi sembra ragionevole considerare il complesso dei PFM nella valutazione e proposta di esercizi terapeutici per i pazienti con LBP[55].

## 4) DISCUSSIONE

Alla luce di quanto visto nei risultati del nostro lavoro risulta chiaro che la letteratura moderna stia rivedendo con nuove potenzialità computazionali le tradizionali concezioni neuro-fisiologiche, dimostrando come alla base del movimento ci siano delle dinamiche muscolari basate sulla attivazione di tipo sinergico di singoli muscoli.

Gli studi finora condotti sulle attivazioni sinergiche, i quali consentono di spiegare almeno in parte, il funzionamento dell'atto motorio, hanno invece prodotto spunti molto interessanti.

Le attivazioni sinergiche, sono infatti le basi del comportamento motorio. Risultano come dei network neuronali potenzialmente situati a livello del midollo spinale[4, 13, 14] o dei centri superiori [12] e consentono essenzialmente la semplificazione del problema del controllo motorio costituito dalla necessità di governare un vasto numero di gradi di libertà. Il movimento emergerebbe da un'attivazione combinata di queste primitive motorie e la variabilità propria del repertorio del movimento sarebbe contenuta all'interno dei segnali d'attivazione provenienti dai livelli corticali. Questo nuovo modello di organizzazione del movimento suggerisce nuovi approcci in riabilitazione. A tal proposito abbiamo voluto integrare, alla tabella degli esercizi per il pavimento pelvico proposta da Grewar e McLeanb, nuovi suggerimenti che arrivano dallo studio delle sinergie muscolari a livello dei PFM[56].

Tabella 1.  
Deficit dei fattori del controllo motorio

<b>Scarsa consapevolezza dei PFM e capacità di eseguire una corretta contrazione</b>			
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>	<b>Proposte basate sulle evidenze relative alle sinergie muscolari dei PFM</b>
Assente la sensazione di una contrazione volontaria dei	Assente contrazione palpabile dei PFM	La stimolazione elettrica, il biofeedback e / o con sono raccomandati	Si possono associare esercizi di respirazione in associazione a movimenti degli arti

PFM		per le donne che non possono contrarre volontariamente la PFM[57] Tecniche manuali possono essere utilizzati per facilitare una contrazione PFM[58]	superiori[39]
Scarsa comprensione di come eseguire una corretta contrazione PFM	Depressione dell'elevatore dell'ano una contrazione globale del adduttori dell'anca	La palpazione digitale della PFM è la tecnica consigliata per fisioterapisti di insegnare e dare un feedback ai pazienti circa la correttezza della contrazione PFM[59]	L'uso in tempo reale degli ultrasuoni vien sempre più utilizzato clinicamente come strumento di valutazione e biofeedback [42, 44, 59]
		Insegnare ai pazienti a monitorare la contrazione dei PFM attraverso palpazione e la rilevazione del movimento verso l'alto del perineo[43], palpando la co-contrazione del muscolo trasverso dell'addome[60]	
Scarsa capacità di contrarre i PFM in modo rapido e / o eseguire ripetute veloci contrazioni massimali	Diminuzione tasso di forza prodotta dai PFM e / o diminuita forza contrattile con ripetute veloci contrazioni PFM massimali	Allenare con veloci massime contrazioni dei PFM seguita da un completo relax con ripetizioni fino al punto di fatica.	Associare la contrazione della muscolatura addominale[37] Associare esercizi alla contrazione dei PFM esercizi di sollevamento arti superiori ed inferiori[38] Associare esercizi di reclutamento del muscolo grande gluteo[32, 33]
<b>Ritardata o assente attività automatica PFM</b>			
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>	<b>Proposte basate sulle evidenze relative alle sinergie muscolari dei PFM</b>
Perdite di urina durante la tosse	Discesa palpabile del perineo durante la tosse[43]	Reclutare una contrazione volontaria dei PFM immediatamente	Associare la contrazione massimale alle varie posture: supina, seduta e in piedi[40]

		prima e durante la tosse[61], mentre si soffia il naso, si starnutisce e si ride[43] e altre attività in cui è prevista la perdita di urina.	
<b>Alterata controllo motorio tra I PFM e i muscoli addominali</b>			
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>	<b>Proposte basate sulle evidenze relative alle sinergie muscolari dei PFM</b>
Discesa del perineo e rigonfiamento della parete addominale durante la tosse	Discesa palpabile del perineo e rigonfiamento della parete addominale durante la tosse[43]	Addestrare per un coordinato reclutamento dei PFM e dei muscoli addominali, come co-contrazione durante la tosse e altri modelli espirazione funzionali[43].	Associare la contrazione della muscolatura addominale[37]
<b>Disfunzione posturale e movimento</b>			
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>	<b>Proposte basate sulle evidenze relative alle sinergie muscolari dei PFM</b>
Scarsa consapevolezza posturale Debolezza muscolare nella regione lombo-pelvica	Perdita della postura della colonna vertebrale neutrale durante posture funzionali e movimenti  Perdita di trasmissione della forza tra addome e arti inferiori con deficit di forza durante l'esecuzione di Active straight leg raise (ASLR)[53]	Riorganizzare una postura della colonna vertebrale neutrale durante posture e movimenti funzionali [60, 62]  Ripristinare adeguata chiusura forma, chiusura forza e il controllo motorio nella regione lombopelvico[53]  Allenare i PFM come parte di un programma di	Associare la contrazione massimale alle varie posture: supina, seduta e in piedi[40]  Ripristinare adeguata chiusura forma, chiusura forza e il controllo motorio nella regione lombo-pelvica con adeguato reclutamento dei PFM. [43, 55, 60, 62, 63]

	Una gamba in piedi con trasferimento del carico fallito attraverso il bacino o dell'anca (segno di Trendelenburg positivo)[60]	stabilizzazione lombo-pelvico progressivo[43, 62, 63]	
<b>Colonna lombare e dolore pelvico</b>			
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>	<b>Proposte basate sulle evidenze relative alle sinergie muscolari dei PFM</b>
Colonna lombare o dolore pelvico	Disfunzione di chiusura forma, chiusura forza, e / o il controllo del motore nella regione lombo-pelvica[60]	Ripristinare adeguata chiusura forma, chiusura forza e il controllo motorio nella regione lombo-pelvica con adeguato reclutamento dei PFM. [43, 55, 60, 62, 63]	Ripristinare adeguata chiusura forma, chiusura forza e il controllo motorio nella regione lombo-pelvica con adeguato reclutamento dei PFM. [43, 55, 60, 62, 63]
<b>Disturbi respiratori</b>			
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>	<b>Proposte basate sulle evidenze relative alle sinergie muscolari dei PFM</b>
Respirazione superficiale o scarsa consapevolezza di pattern respiratorio	Respirazione superficiale I segni di eccessiva attività muscolare globale[60, 62]	Addestrare a un modello di corretta respirazione diaframmatica [43, 60, 62]	Insegnare una strategie per ridurre l'eccessiva attività muscolare globale [39, 60, 62]

Tabella 2  
Deficit dei fattori muscolo-scheletrici

<b>Diminuzione gamma di movimento</b>			
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>	<b>Proposte basate sulle evidenze relative alle sinergie muscolari dei PFM</b>
Dolore e / o rigidità nella regione lombo-pelvica -anca o perineo	Articolare, muscolare o restrizioni fasciali nella regione lombopelvica[60]	Ripristinare il normale articolari, muscolari e la mobilità fasciale nella regione lombo pelvica[60]	
	Le restrizioni dei tessuti articolari o morbidi all'interno del pavimento pelvico[58]	Ripristinare la mobilità delle strutture dei tessuti articolari e connettivali nel pavimento pelvico[58]	
<b>Diminuzione forza muscolare</b>			
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>	<b>Proposte basate sulle evidenze relative alle sinergie muscolari dei PFM</b>

Debole contrazione dei PFM e / o ridotta capacità di generare ripetute e sostenute contrazioni massimali dei PFM	Gradi 0, 1 o 2 sul Modified Oxford Scale(MOS) [64]  Di grado 3 o superiore sul MOS  Forza contrattile diminuisce con ripetute contrazioni massimali sostenuti dei PFM	Stimolazione elettrica, il biofeedback, e / o coni sono raccomandati per i gradi 0-2 sul MOS[57]  Allenamento per la forza dei PFM è consigliato per gradi 3 o superiore ai MOS: 8-12 ripetizioni massime[65] sostenute fino al punto di fatica[57] 2-4 volte a settimana[65] per 15-20 settimane[57]  Continuare gli esercizi PFM come parte del programma di mantenimento[57]	Associare la contrazione della muscolatura addominale[37]  Associare esercizi alla contrazione dei PFM esercizi di sollevamento arti superiori ed inferiori[38]  Associare esercizi di reclutamento del muscolo grande gluteo[32, 33]
<b>Diminuzione resistenza muscolare</b>			
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>	<b>Proposte basate sulle evidenze relative alle sinergie muscolari dei PFM</b>
Riduzione della resistenza dei PFM	Ridotta capacità di sostenere una contrazione tonica PFM e / o eseguire contrazioni ripetute	Allenamento ripetuto tonico sostenuto dei PFM fino al punto di fatica [43, 57, 60]	
<b>Difficoltà rilassamento dei PFM</b>			
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>	<b>Proposte basate sulle evidenze relative alle sinergie muscolari dei PFM</b>
Incapacità di evacuare feci e/o urine	Incapacità di rilassare la muscolatura del pavimento pelvico.	La palpazione digitale dei PFM è la tecnica consigliata per insegnare a dare un feedback ai pazienti circa la correttezza del rilassamento dei PFM [59]	Provare a rilassare la muscolatura del pavimento pelvico anche in associazione a movimenti sinergizzanti dello stesso come sollevare gli arti superiori.[38, 39]

Tabella 3.  
Deficit dei fattori comportamentali

<b>Cronicamente elevata pressione intra-addominale</b>		
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>
Sovrappeso o obesi	BMI $\geq$ 25 kg / m <sup>2</sup> o $\geq$ 30 kg[66]	Fornire al paziente informazioni relative a un programma di gestione del peso strutturato [66]
Il fumo di sigaretta	Aumento della frequenza di tosse	Fornire al paziente informazioni riguardanti un programma per smettere di fumare
<b>L'inattività fisica</b>		
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>
Regolare attività fisica ridotta	Indicazioni del diario personale di una riduzione dell'attività fisica	Identificare le barriere all'attività fisica [67] e favorire un regolare programma di attività fisica strutturata[68]
<b>Assunzione di liquidi anormale e modelli di svuotamento</b>		
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>
Un consumo eccessivo o ridotto di fluido, abituale svuotamento preventivo della vescica, il consumo regolare di prodotti contenenti caffeina, e / o stitichezza con sforzo ripetitivo durante la defecazione	Indicazioni del diario personale di un eccessivo o ridotto apporto di liquidi, aumento della frequenza di svuotamento, il consumo regolare di prodotti contenenti caffeina, e / o di sforzo regolare durante la defecazione	Incoraggiare un apporto di liquidi approssimativa di 1,5 litri al giorno [58] e a minzionare approssimativamente ogni 3-4 ore durante il giorno[69]
		Fornire formazione per quanto riguarda la riduzione o l'eliminazione dei prodotti contenenti caffeina e altri potenziali irritanti della vescica[69]
		Fornire formazione in materia di fonti di fibra alimentare, regolare assunzione di liquidi e di strategie efficaci di defecazione[58]
<b>Cattive condizioni di salute psicosociale</b>		
<b>Outcome soggettivi</b>	<b>Outcome oggettivi</b>	<b>Raccomandazioni cliniche</b>

Sentimenti di ansia o ritiro sociale	Sentimenti di ansia o ritiro sociale individuati self-report	Fornire il trattamento in un ambiente favorevole e motivante. Impostare obiettivi raggiungibili che riducono al minimo i cambiamenti di stile di vita, forniscono istruzione e le risposte positive ad ogni visita[57] e incoraggiare il paziente a partecipare a lezioni di gruppo[58]
--------------------------------------	--	---

## 5) LIMITI E CONCLUSIONI

In conclusione, uno dei limiti di questa revisione è che non sono stati presi in considerazione tutti gli articoli disponibili in letteratura, infatti sono stati tralasciati tutti gli articoli che non fossero in italiano o inglese. Inoltre gli attuali studi presenti in letteratura prendono in considerazione la muscolatura del pavimento pelvico in toto. Tuttavia, i PFM non sono un singolo gruppo muscolare, ma sono in realtà un insieme complesso di muscoli con diverse azioni meccaniche che possono funzionare insieme o separatamente, in base al compito [70]. Come indicazione per ricerche future, sarebbe utile che vengano definiti più precisamente quale combinazione di muscoli del pavimento pelvico operano sinergicamente per compiti diversi. Si ritiene che ulteriori studi sono necessari per comprendere meglio quali regioni corticali in area motoria sono attive durante l'attivazione sinergica del pavimento pelvico, in

modo da poter meglio definire quali sinergie muscolari del pavimento pelvico siano rappresentate a livello corticale.

..... *Saper vivere è come andare in bicicletta: per mantenere l'equilibrio non bisogna mai smettere di muoversi.....*

*Albert Einstein*

## **6) BIBLIOGRAFIA**

1. Bernstein, N., *The co-ordination and regulation of movements*. 1967: Pergamon-Press.
2. Novak, K.E., L.E. Miller, and J.C. Houk, *The use of overlapping submovements in the control of rapid hand movements*. *Exp Brain Res*, 2002. **144**(3): p. 351-64.
3. PORT, et al., *Manual interception of moving targets. I. Performance and movement initiation*. Vol. 116. 1997, Heidelberg, ALLEMAGNE: Springer.
4. Mussa-Ivaldi, F.A., S.F. Giszter, and E. Bizzi, *Linear combinations of primitives in vertebrate motor control*. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1994. **91**(16): p. 7534-8.
5. Bhushan, N. and R. Shadmehr, *Computational nature of human adaptive control during learning of reaching movements in force fields*. *Biol Cybern*, 1999. **81**(1): p. 39-60.
6. Meyer, D.E., et al., *Optimality in human motor performance: ideal control of rapid aimed movements*. *Psychol Rev*, 1988. **95**(3): p. 340-70.
7. Fishbach, A., et al., *Kinematic properties of on-line error corrections in the monkey*. *Exp Brain Res*, 2005. **164**(4): p. 442-57.
8. Berthoz, A. and E.D. Pra, *Il senso del movimento*. 1998: McGraw-Hill Companies.
9. Dipietro, L., et al., *Changing motor synergies in chronic stroke*. *J Neurophysiol*, 2007. **98**(2): p. 757-68.

10. Gandolfo, F., F.A. Mussa-Ivaldi, and E. Bizzi, *Motor learning by field approximation*. Proc Natl Acad Sci U S A, 1996. **93**(9): p. 3843-6.
11. Raibert, M.H., *Manipulator control using the configuration space method*. Industrial Robot: An International Journal, 1978. **5**(2): p. 69-73.
12. Schaal, S. and C.G. Atkeson, *Constructive incremental learning from only local information*. Neural Comput, 1998. **10**(8): p. 2047-84.
13. Bizzi, E., F.A. Mussa-Ivaldi, and S. Giszter, *Computations underlying the execution of movement: a biological perspective*. Science, 1991. **253**(5017): p. 287-91.
14. Mussa-Ivaldi, F.A., *Modular features of motor control and learning*. Curr Opin Neurobiol, 1999. **9**(6): p. 713-7.
15. Saltiel, P., et al., *Muscle synergies encoded within the spinal cord: evidence from focal intraspinal NMDA iontophoresis in the frog*. J Neurophysiol, 2001. **85**(2): p. 605-19.
16. Tresch, M.C., P. Saltiel, and E. Bizzi, *The construction of movement by the spinal cord*. Nat Neurosci, 1999. **2**(2): p. 162-7.
17. Thor, K.B. and W.C. de Groat, *Neural control of the female urethral and anal rhabdosphincters and pelvic floor muscles*. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2010. **299**(2): p. R416-38.
18. Pemberton, J.H., M. Swash, and M.M. Henry, *The Pelvic Floor: Its Function and Disorders*. 2002: W.B. Saunders.
19. Parekh, A.R., et al., *The role of pelvic floor exercises on post-prostatectomy incontinence*. J Urol, 2003. **170**(1): p. 130-3.
20. Doggweiler-Wiygul, R., *Urologic myofascial pain syndromes*. Curr Pain Headache Rep, 2004. **8**(6): p. 445-51.
21. Cheung, V.C., et al., *Stability of muscle synergies for voluntary actions after cortical stroke in humans*. Proc Natl Acad Sci U S A, 2009. **106**(46): p. 19563-8.
22. Rathelot, J.A. and P.L. Strick, *Muscle representation in the macaque motor cortex: an anatomical perspective*. Proc Natl Acad Sci U S A, 2006. **103**(21): p. 8257-62.
23. Drew, T., et al., *Cortical mechanisms involved in visuomotor coordination during precision walking*. Brain Res Rev, 2008. **57**(1): p. 199-211.
24. Waters-Metenier, S., et al., *Bihemispheric transcranial direct current stimulation enhances effector-independent representations of motor synergy and sequence learning*. J Neurosci, 2014. **34**(3): p. 1037-50.
25. Slijper, H., et al., *Task-specific modulation of anticipatory postural adjustments in individuals with hemiparesis*. Clin Neurophysiol, 2002. **113**(5): p. 642-55.
26. Jacobs, J.V., et al., *The supplementary motor area contributes to the timing of the anticipatory postural adjustment during step initiation in participants with and without Parkinson's disease*. Neuroscience, 2009. **164**(2): p. 877-85.
27. Kutch, J.J. and F.J. Valero-Cuevas, *Challenges and new approaches to proving the existence of muscle synergies of neural origin*. PLoS Comput Biol, 2012. **8**(5): p. e1002434.
28. Leyton, A.S.F. and C.S. Sherrington, *Observations on the Excitable Cortex of the Chimpanzee, Orangutan, and Gorilla*. 1917: Griffin.
29. Turnbull, G.K., et al., *The cortical topography of human anorectal musculature*. Gastroenterology, 1999. **117**(1): p. 32-9.
30. Schrum, A., et al., *Motor cortical representation of the pelvic floor muscles*. J Urol, 2011. **186**(1): p. 185-90.
31. Asavasopon, S., et al., *Cortical activation associated with muscle synergies of the human male pelvic floor*. J Neurosci, 2014. **34**(41): p. 13811-8.
32. Bo, K. and R. Stien, *Needle EMG registration of striated urethral wall and pelvic floor muscle activity patterns during cough, Valsalva, abdominal, hip adductor, and gluteal muscle contractions in nulliparous healthy females*. NeuroUrol Urodyn, 1994. **13**(1): p. 35-41.
33. Peschers, U.M., et al., *Evaluation of pelvic floor muscle strength using four different techniques*. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 2001. **12**(1): p. 27-30.

34. Ball, T., et al., *The role of higher-order motor areas in voluntary movement as revealed by high-resolution EEG and fMRI*. Neuroimage, 1999. **10**(6): p. 682-94.
35. Bortoletto, M. and R. Cunnington, *Motor timing and motor sequencing contribute differently to the preparation for voluntary movement*. Neuroimage, 2010. **49**(4): p. 3338-48.
36. Viallet, F., et al., *Coordination between posture and movement in a bimanual load lifting task: putative role of a medial frontal region including the supplementary motor area*. Exp Brain Res, 1992. **88**(3): p. 674-84.
37. Sapsford, R.R. and P.W. Hodges, *Contraction of the pelvic floor muscles during abdominal maneuvers*. Arch Phys Med Rehabil, 2001. **82**(8): p. 1081-8.
38. Sjordahl, J., et al., *The postural response of the pelvic floor muscles during limb movements: a methodological electromyography study in parous women without lumbopelvic pain*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2009. **24**(2): p. 183-9.
39. Hodges, P.W., R. Sapsford, and L.H. Pengel, *Postural and respiratory functions of the pelvic floor muscles*. Neurourol Urodyn, 2007. **26**(3): p. 362-71.
40. Madill, S.J. and L. McLean, *Quantification of abdominal and pelvic floor muscle synergies in response to voluntary pelvic floor muscle contractions*. J Electromyogr Kinesiol, 2008. **18**(6): p. 955-64.
41. Sherburn, M., et al., *Investigation of transabdominal real-time ultrasound to visualise the muscles of the pelvic floor*. Aust J Physiother, 2005. **51**(3): p. 167-70.
42. Thompson, J.A., et al., *Assessment of pelvic floor movement using transabdominal and transperineal ultrasound*. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 2005. **16**(4): p. 285-92.
43. Sapsford, R., *Rehabilitation of pelvic floor muscles utilizing trunk stabilization*. Man Ther, 2004. **9**(1): p. 3-12.
44. Whittaker, J.L., et al., *Rehabilitative ultrasound imaging of pelvic floor muscle function*. J Orthop Sports Phys Ther, 2007. **37**(8): p. 487-98.
45. Richardson, C., *Therapeutic Exercise for Spinal Segmental Stabilization in Low Back Pain: Scientific Basis and Clinical Approach*. 1999: Churchill Livingstone.
46. Neumann, P. and V. Gill, *Pelvic floor and abdominal muscle interaction: EMG activity and intra-abdominal pressure*. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 2002. **13**(2): p. 125-32.
47. Hodges, P.W., et al., *Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine*. J Biomech, 2005. **38**(9): p. 1873-80.
48. Finkelstein, M.M., *Medical conditions, medications, and urinary incontinence. Analysis of a population-based survey*. Can Fam Physician, 2002. **48**: p. 96-101.
49. Pool-Goudzwaard, A.L., et al., *Relations between pregnancy-related low back pain, pelvic floor activity and pelvic floor dysfunction*. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 2005. **16**(6): p. 468-74.
50. Smith, M.D., A. Russell, and P.W. Hodges, *Disorders of breathing and continence have a stronger association with back pain than obesity and physical activity*. Aust J Physiother, 2006. **52**(1): p. 11-6.
51. Vleeming, A., *Movement, Stability and Low Back Pain: The Essential Role of the Pelvis*. 1997: Churchill Livingstone.
52. Pool-Goudzwaard, A., et al., *Contribution of pelvic floor muscles to stiffness of the pelvic ring*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2004. **19**(6): p. 564-71.
53. O'Sullivan, P.B., et al., *Altered motor control strategies in subjects with sacroiliac joint pain during the active straight-leg-raise test*. Spine (Phila Pa 1976), 2002. **27**(1): p. E1-8.
54. Stuge, B., et al., *Abdominal and pelvic floor muscle function in women with and without long lasting pelvic girdle pain*. Man Ther, 2006. **11**(4): p. 287-96.
55. Arab, A.M., et al., *Assessment of pelvic floor muscle function in women with and without low back pain using transabdominal ultrasound*. Man Ther, 2010. **15**(3): p. 235-9.
56. Grewar, H. and L. McLean, *The integrated continence system: a manual therapy approach to the treatment of stress urinary incontinence*. Man Ther, 2008. **13**(5): p. 375-86.
57. Laycock, J., et al., *Pelvic floor reeducation for stress incontinence: comparing three methods*. Br J Community Nurs, 2001. **6**(5): p. 230-7.
58. Carrière, B., C.M. Feldt, and K. Bø, *The Pelvic Floor*. 2006: Georg Thieme Verlag.

59. Bo, K. and M. Sherburn, *Evaluation of female pelvic-floor muscle function and strength*. Phys Ther, 2005. **85**(3): p. 269-82.
60. Lee, D., *The pelvic girdle: an approach to the examination and treatment of the lumbo-pelvic-hip region*. 1989: Churchill Livingstone.
61. Miller, J.M., J.A. Ashton-Miller, and J.O. DeLancey, *A pelvic muscle precontraction can reduce cough-related urine loss in selected women with mild SUI*. J Am Geriatr Soc, 1998. **46**(7): p. 870-4.
62. Richardson, C., P.W. Hodges, and J. Hids, *Therapeutic Exercise for Lumbopelvic Stabilization: A Motor Control Approach for the Treatment and Prevention of Low Back Pain*. 2004: Churchill Livingstone.
63. Hodges, P.W., *Core stability exercise in chronic low back pain*. Orthop Clin North Am, 2003. **34**(2): p. 245-54.
64. Schüssler, B., et al., *Pelvic Floor Re-Education: Principles and Practice*. 1994: Springer.
65. Kraemer, W.J., et al., *American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults*. Med Sci Sports Exerc, 2002. **34**(2): p. 364-80.
66. Lau, D.C., et al., *2006 Canadian clinical practice guidelines on the management and prevention of obesity in adults and children [summary]*. CMAJ, 2007. **176**(8): p. S1-13.
67. Brown, W.J. and Y.D. Miller, *Too wet to exercise? Leaking urine as a barrier to physical activity in women*. J Sci Med Sport, 2001. **4**(4): p. 373-8.
68. Haskell, W.L., et al., *Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association*. Med Sci Sports Exerc, 2007. **39**(8): p. 1423-34.
69. Schuiling, K.D. and F.E. Likis, *Women's Gynecologic Health*. 2011: Jones & Bartlett Learning.
70. Stafford, R.E., et al., *Activation of the striated urethral sphincter to maintain continence during dynamic tasks in healthy men*. Neurourol Urodyn, 2012. **31**(1): p. 36-43.