

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**PROPRIOCEPTIVE NEUROMUSCULAR FACILITATION (PNF) E  
PARALISI CEREBRALE:**

**PRINCIPI E POTENZIALI APPLICAZIONI**

Relatore: Dott. ANDREA CASOLO

Laureando: MICHELE SALVALAGGIO

N° di matricola: 1168974

Anno Accademico 2021/2022

## INDICE

INTRODUZIONE.....	4
CAPITOLO 1: Lo stretching.....	6
1.1 Che cos'è lo stretching.....	6
1.1.1 I benefici dello stretching.....	7
1.1.2 Gli effetti dubbi dello stretching.....	7
1.1.3 Gli effetti negativi dello stretching.....	7
1.1.4 Indicazioni generali per l'esecuzione dello stretching.....	8
1.1.5 Principali applicazioni dell'esercizio di stretching.....	10
1.1.5.1 Stretching e performance.....	10
1.1.5.2 Stretching e salute.....	12
1.1.5.3 Stretching ed infortuni.....	13
1.1.5.4 Stretching ed invecchiamento.....	14
1.2 Origini dello stretching.....	15
1.3 Tipologie di stretching.....	20
1.3.1 Stretching Statico.....	20
1.3.2 Stretching Dinamico.....	21
1.3.3 Stretching balistico.....	22
1.3.4 Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF).....	22
1.3.5 Stretching globale attivo.....	23
1.3.6 Altre forme di stretching.....	25
1.3.6.1 Lo stretching a coppie.....	25
1.3.6.2 Lo stretching in gravidanza.....	26
1.3.6.3 Lo stretching per le disabilità.....	28
1.3.7 Tipologie di stretching a confronto in programmi di flessibilità, forza e resistenza.....	28

1.3.7.1 Stretching e flessibilità .....	29
1.3.7.2 Stretching e forza .....	31
1.3.7.3 Stretching e resistenza .....	33
1.4 Basi anatomico fisiologiche dello stretching .....	35
1.4.1 I fusi neuromuscolari.....	35
1.4.2 L'innervazione afferente .....	37
1.4.3 L'innervazione efferente .....	38
1.4.4 Organi tendinei del Golgi .....	39
1.4.5 Rapporto tra fusi neuromuscolari, GTOs e stretching.....	41
CAPITOLO 2: La tecnica di allungamento PNF .....	43
2.1 Che cos'è il PNF .....	43
2.2 Origini del PNF .....	43
2.3 PNF, flessibilità e ROM articolare .....	47
2.3.1 PNF e forza.....	49
2.3.2 PNF e resistenza .....	51
2.3.3 Indicazioni PNF.....	53
2.4 Basi anatomiche del PNF .....	54
2.4.1 Funzione fusi neuromuscolari e organi tendinei di Golgi.....	54
2.4.2 Struttura del muscolo .....	55
2.4.3 Struttura del sarcomero .....	56
2.4.4 Come avviene la contrazione .....	57
2.5 PNF nella riabilitazione.....	58
2.5.1 PNF e disturbi muscolo-scheletrici .....	58
2.5.2 PNF e Ictus .....	60
2.5.3 PNF e Paralisi.....	62
CAPITOLO 3: PNF e Paralisi Cerebrale .....	64

3.1 La paralisi Cerebrale .....	64
3.2 Trattamenti della paralisi cerebrale .....	67
3.3 Aspetti muscolo-scheletrici della paralisi cerebrale .....	69
3.4 Patofisiologia della Paralisi Cerebrale .....	70
3.4.1 Paralisi Cerebrale Spastica .....	72
3.4.2 Paralisi Cerebrale Discinetica .....	73
3.4.3 Paralisi Cerebrale Atassica .....	74
3.5 Applicazione del PNF nel trattamento della Paralisi Cerebrale .....	76
3.5.1 Le procedure del PNF .....	77
3.5.2 Ulteriori utilizzi del PNF .....	79
CAPITOLO 4: Applicazioni pratiche del PNF nella Paralisi Cerebrale .....	81
4.1 Indicazioni.....	81
4.2 Applicazioni pratiche .....	81
4.2.1 Ischiocrurali.....	82
4.2.2 Ischiocrurali alternativo.....	83
4.2.3 Quadricipite .....	84
4.2.4 Ileopsoas .....	85
4.2.5 Ileopsoas alternativo.....	86
4.2.6 Adduttori brevi.....	87
4.2.7 Adduttori lunghi .....	88
BIBLIOGRAFIA.....	89
SITOGRAFIA .....	102

## INTRODUZIONE

Sembrerebbe che nella maggior parte delle società contemporanee l'essere umano non ha bisogno muoversi per sopravvivere e le abilità motorie sono le prime ad essere compromesse dalla vita sedentaria. L'allenamento di flessibilità è purtroppo spesso dimenticato da chi si allena, che lo faccia regolarmente o in maniera sporadica. La ragione potrebbe consistere negli scarsi effetti estetici derivanti dalla sua pratica, almeno se paragonati a quelli ottenuti dall'allenamento contro resistenza o di endurance, che in aggiunta ai molteplici benefici ad essi associati, tendono a "modellare" il corpo in modo molto più evidente. Nella pratica sportiva il tempo dedicato all'esercizio di flessibilità ed in particolar modo alla tecnica dello *stretching* è spesso ridotto a pochi secondi prima o dopo la prestazione sportiva e talvolta nemmeno a questi. Molte persone infatti non comprendono che un corpo agile e flessibile è anche più proporzionato e più sano. Ad esempio, se da un lato è naturale accomunare l'individuo flessibile ad un ginnasta, piuttosto che ad un ostacolista o ad uno yogi, dall'altro potrebbe essere meno intuitivo pensare che anche un anziano dovrebbe conservare un buon livello di mobilità articolare per poter adempiere alle più semplici attività della vita quotidiana (*Activities of Daily Living, ADLs*) in modo indipendente.

Una delle tecniche maggiormente utilizzate per migliorare la flessibilità articolare è appunto quella dello stretching. La flessibilità è il parametro della capacità di escursione articolare. Essa può essere definita in vari modi: come il *range of movement* (ROM) disponibile per una articolazione, o ancora come la capacità di muovere un'articolazione in modo fluido, semplice e indolore senza stress eccessivo per l'unità muscolo-tendinea. Il mantenimento di un buon livello di flessibilità è importante non solo ai fini della prestazione sportiva, ma anche come prevenzione dagli infortuni. La finalità di un programma di stretching è quella di migliorare o mantenere la capacità di escursione articolare (ROM) di una specifica (o di un gruppo) di articolazione agendo principalmente sulle strutture muscolo-tendinee (unità muscolo-tendinea) che con essa si interfacciano. Ormai è ampiamente dimostrato dalla letteratura scientifica che sottoponendo ad allungamento tali strutture interessate per un certo periodo di tempo si possa infatti incrementare la flessibilità muscolare ed il ROM articolare.

La semplicità e l'economicità hanno reso questa tecnica molto diffusa nei centri fitness (e non solo), che mettono a disposizione per i soggetti elastici, palline e *foam rollers* (cilindri di gomma) per la sua pratica. Grazie all'utilizzo di questi strumenti molto pratici e facilmente reperibili, è possibile l'auto-trattamento di problematiche quali la rigidità di muscoli e articolazioni

Diversi sono gli studiosi cui grazie alle loro ricerche e ai loro studi hanno dimostrato i numerosi effetti benefici di diverse forme di stretching sul miglioramento della flessibilità e della mobilità articolare (Behm et al, 2016). Infatti, esistono quattro metodiche principali di stretching: 1) stretching statico, nelle sue forme attivo o passivo, che rappresenta in un certo senso la forma più tradizionale di stretching introdotta da Bob Anderson; 2) stretching dinamico; 3) stretching balistico e 4) PNF (*proprioceptive neuromuscular facilitation*), ideato dal neurologo Kabat.

Il primo capitolo di questo elaborato ripercorre la storia dello stretching, le sue diverse modalità di applicazione e i principali concetti anatomico-fisiologici e neurali che intervengono nell'esercizio di allungamento, contribuendo o determinando il miglioramento della flessibilità. Il secondo capitolo è dedicato ad una particolare forma di stretching, il PNF, alla sua storia e alla sue applicazioni a livello riabilitativo nonché ai concetti anatomici che stanno alla base di questa tecnica. A seguire, il terzo capitolo è incentrato sull'utilizzo del PNF nei pazienti con paralisi cerebrale (*cerebral palsy*, CP), ambito di studio ancora poco diffuso. Infine nel quarto capitolo è proposta una rassegna di esercizi di PNF supportata di immagini descrittive per i principali distretti muscolari.

## **CAPITOLO 1: Lo stretching**

### **1.1 Che cos'è lo stretching**

Lo stretching è una tecnica di allungamento muscolare che privilegia l'allungamento muscolare e la mobilità articolare. Lo stretching agisce non solo sul muscolo, ma su tutte le componenti dell'apparato locomotore sottoposte all'allungamento come legamenti, tendini e capsule articolari, influenzandole in maniera diversa a seconda delle proprietà specifiche dei tessuti o distretti coinvolti che rispondono, opponendo un certo grado di tensione, alla condizione di allungamento. Lo stretching si identifica con quei gesti naturali che fanno parte della nostra quotidianità: tutti noi infatti compiamo, in maniera del tutto spontanea o senza pensarci, azioni di auto stiramento, allo scopo di prepararci al movimento, per cercare sollievo dalla fatica, oppure semplicemente per allungarci o stiracchiarci in seguito a periodi prolungati di sedentarietà (ad es. lavoro d'ufficio, studio etc.).

Questi comportamenti, anche grazie al supporto della ricerca scientifica nella pratica sportiva e non solo, sono divenuti ormai parte integrante della preparazione di tutte le discipline sportive. Oltre agli impieghi nella fase di riscaldamento e defaticamento, lo stretching è stato riconosciuto come una vera e propria forma di attività fisica, che privilegia il benessere migliorando la capacità di rilassamento, l'elasticità muscolare, la mobilità delle articolazioni e il tono muscolare (Garber et al, 2011).

Nella sua forma più elementare, lo stretching statico prevede il raggiungimento in maniera lenta e progressiva della posizione di allungamento, che deve essere mantenuta per alcuni secondi per ottenere gli effetti desiderati. Nonostante la sua esecuzione risulti relativamente semplice, è una attività che deve essere eseguita correttamente visto l'influenza che ha non solo sull'apparato muscolare tendineo e articolare, ma anche su quello circolatorio, respiratorio e sul sistema nervoso. Se eseguito con regolarità, lo stretching porta all'organismo moltissimi benefici e un senso di benessere grazie al miglioramento della propria efficienza fisica (Pollock et al, 1998). In aggiunta allo stretching statico, vi sono altre forme di allungamento che verranno approfondite nel paragrafo 1.3 di questo capitolo.

### **1.1.1 I benefici dello stretching**

Sulla base delle numerose evidenze scientifiche ad oggi disponibili, nello stretching è possibile distinguere tra quelli che sono i potenziali benefici attribuiti, quelli provati, quelli dubbi e quelli addirittura negativi. Tra i principali benefici scientificamente dimostrati si possono trovare: un aumento della flessibilità e dell'elasticità dei muscoli e dei tendini (Kubo, 2002), una diminuzione della sensazione di fatica (Lacaze et al, 2010), una stimolazione della lubrificazione articolare (Mombberger et al, 2006), un miglioramento della circolazione (Hotta et al, 2013).

### **1.1.2 Gli effetti dubbi dello stretching**

Tra gli effetti sui quali non è presente ancora una conoscenza scientifica possiamo invece riscontrare: una prevenzione di infortuni ed in particolare di traumi articolari e muscolari, anche se alcuni studi riportano che lo stretching pre-esercizio riduca fino al 54% il rischio di infortuni muscolari in acuto (Behm et al, 2016), una riduzione del dolore muscolare post-esercizio (*delayed onset muscle soreness*, DOMS) e una diminuzione della pressione arteriosa (Ko et al, 2020).

### **1.1.3 Gli effetti negativi dello stretching**

Tra gli effetti negativi si può osservare: una riduzione della prestazione esplosiva e di forza se eseguito prima di questa (Nelson et al, 2005), un aumento dei traumi nel caso di soggetti affetti di ipermobilità e un probabile aumento del rischio di lesioni, poiché si innalza la soglia percettiva relativa al pericolo dell'allungamento muscolare e perché si riduce l'attivazione elettrica muscolare (Shrier, 1999).

Spesso si pensa che se lo stretching non provoca alcun dolore non porti ad alcun beneficio. Altre teorie raccomandano invece slanci per raggiungere progressivamente un maggiore allungamento, esasperando l'escursione articolare ai limiti del ROM (ad es. stretching ballistico) . Altrettanto valida è la teoria della soglia di stimolo nell'esercizio fisico, secondo cui un allungamento troppo leggero non produrrà alcun effetto nell'organismo né miglioramenti nella mobilità articolare (Behm et al, 2007). Un allungamento troppo violento o esagerato potrebbe aumentare il rischio di traumi o lesioni muscolo-tendinee o ancora,



potrebbe aumentare l'eccitabilità spinale riflessa, causando contrazioni muscolari del muscolo allungato che si opporrebbero all'allungamento stesso impedendo di migliorare la flessibilità (ad es. riflesso miotatico da stiramento).

Un allungamento che forzi la mobilità senza raggiungere la soglia del dolore o limiti pericolosi, non solo potrebbe essere più sopportabile o tollerabile ma produrrà anche benefici maggiori (Behm et al, 2007). Con questo si intende un allungamento che sia più intenso rispetto a quello provocato dalle normali attività quotidiane, che costituisca una sollecitazione ma che non provochi lesioni.

#### **1.1.4 Indicazioni generali per l'esecuzione dello stretching**

Nella maggior parte delle attività fisiche il riscaldamento è un imperativo e tradizionalmente lo stretching è spesso inserito come parte integrante di esso, sempre con lo scopo di "preparare" l'individuo o l'atleta all'esercizio/attività seguente. Il riscaldamento generale porta diversi benefici, tra cui l'aumento del flusso sanguigno e l'innalzamento della temperatura corporea; il riscaldamento mirato (cioè rivolto al muscolo che vogliamo allungare), invece, incrementa la quantità di sangue che raggiunge i tessuti che si intende allungare, ossigenandoli. Generalmente, si inizia con una leggera attività aerobica, che permette un aumento del flusso sanguigno ed un generale innalzamento della temperatura corporea e muscolare, per un tempo compreso tra i cinque e i dieci minuti. Muovere le articolazioni dei distretti su cui si andrà a lavorare e quelle adiacenti per tre/quattro minuti. Successivamente si possono eseguire alcuni esercizi con carichi leggeri che implicino la contrazione dei muscoli che in seguito andranno allungati. Nello stretching statico, ad esempio, l'allungamento deve essere controllato, portato al punto di massimo allungamento (ROM) e lì mantenuto per alcuni secondi. Bisogna evitare di molleggiare, di effettuare movimenti balistici e di sottoporsi a sforzi eccessivi e dannosi. La respirazione deve essere lenta e ritmata e l'espiazione deve avvenire generalmente durante l'allungamento, in modo da distendere la colonna grazie all'aumento della pressione intratoracica-addominale. Quando si allunga un muscolo, l'unità muscolo-tendinea sottoposta ad allungamento genera quella che si definisce "tensione passiva", derivante dalla messa in tensione delle componenti elastiche in serie (tessuto connettivo, tendini). In aggiunta a questa tensione, vi sarà

anche una sorta di “tensione attiva” in opposizione all’allungamento e derivante principalmente dei circuiti spinali gamma, scatenata proprio dallo stramento dei fusi neuromuscolari che percepiscono il cambiamento di grado e velocità dell’allungamento ed informano il sistema nervoso centrale (SNC) a livello spinale. Di tutta risposta, i motoneuroni alfa ( $\alpha$ ) innervanti il muscolo allungato saranno eccitati dall’attività dei fusi, comportando la contrazione riflessa del muscolo allungato, che di conseguenza si opporrà all’allungamento. Questo è di per se un meccanismo naturale, necessario per evitare o prevenire traumi nella vita quotidiana e mantenere l’integrità del sistema neuromuscolare. Se si aggiungono slanci, oscillazioni o strappi questa reazione riflessa si accentua, compromettendo la distensibilità del muscolo coinvolto e limitando l’aumento dell’escursione articolare. Questo riflesso noto come riflesso miotatico evita che un’articolazione raggiunga il proprio limite. I muscoli infatti non sono i soli a venire allungati, ma l’intera struttura articolare viene allenata. L’ampiezza di movimento delle articolazioni dipende da un complesso equilibrio tra stabilità e mobilità. I legamenti, la fascia, le capsule articolari e i tendini possono essere danneggiati durante gli esercizi di allungamento quando una di queste strutture viene allungata fino a superare la propria soglia di resistenza in modo brusco.

In generale, per mantenere un buon livello di mobilità articolare, in una popolazione adulta sana, lo stretching dovrebbe essere eseguito dalle due alle tre volte a settimana, in sessioni di circa quindici minuti. Se si vuole invece migliorare la mobilità e non solo mantenerla, è necessario allenarsi per cinque/sei volte alla settimana per un tempo compreso tra i quindici e i trenta minuti. Per ogni esercizio vanno eseguite fra le tre e le sei serie mantenendole per dieci/trenta secondi, per le persone anziane invece è preferibile mantenere l’allungamento per trenta/sessanta secondi affinché ci sia un miglioramento della mobilità. È consigliato allungare quasi tutti i muscoli tutti i giorni, piuttosto che suddividerli in più giornate. All’allungamento di un muscolo seguirà l’allungamento di quello antagonista (ad es. all’allungamento del quadricipite dovrebbe seguire dunque quello degli ischio crurali) (Garber et al., 2011).

A differenza di altre attività fisiche, lo stretching non necessita generalmente di macchinari, né di indumenti o strumenti particolari. È sufficiente disporre di un

abbigliamento sportivo e, se il pavimento è duro, di un materassino. L'ambiente dovrebbe essere caldo, non solo per quanto riguarda la temperatura, ma anche da un punto di vista emozionale e psicologico. Si rivela inoltre utile ai fini del rilassamento accompagnare la seduta di allungamento con un sottofondo musicale lento o rilassante. Per quanto riguarda l'abbigliamento, è bene indossare indumenti leggeri, traspiranti e non troppo stretti. Le scarpe non sono determinanti, infatti la maggior parte degli esercizi può essere svolta a piedi nudi o indossando un paio di calzini. Tuttavia è importante sottolineare che quando si fa stretching il corpo sia sufficientemente coperto e caldo. Difatti, l'aumento della temperatura corporea ed in particolar modo di quella dei muscoli coinvolti contribuisce ad aumentare la viscosità dei tessuti, che divengono più distendibili, deformabili ed allungabili (*compliance*). Bisognerebbe evitare di indossare tessuti sintetici poiché aumentano la sudorazione ma al tempo stesso intralciano la naturale regolazione termica (Smith, 1994).

### **1.1.5 Principali applicazioni dell'esercizio di stretching**

Dopo un'attenta analisi della letteratura emerge che lo stretching possa essere utilizzato per:

1. Migliorare la performance
2. Aumentare e/o mantenere un buon livello di flessibilità e mobilità articolare, utile per migliorare la salute
3. Prevenire gli infortuni
4. Migliorare e mantenere la flessibilità muscolare e la mobilità articolare, soprattutto durante l'invecchiamento quando i tessuti si irrigidiscono e perdono elasticità.

#### **1.1.5.1 Stretching e performance**

Lo stretching viene generalmente considerato una componente essenziale della routine di riscaldamento pre-esercizio o pre-gara. Tradizionalmente, il riscaldamento consiste in una componente aerobica sub-massimale, in un periodo di stretching volto ad aumentare il ROM dell'articolazione (Power et al, 2004) e in una parte di prove di abilità in cui gli atleti eseguono movimenti simili o specifici

per l'esercizio per cui si stanno preparando. L'aumento del ROM ottenuto attraverso lo stretching viene attribuito a variazioni nella lunghezza e rigidità dell'unità muscolo-tendinea (MTU) dell'arto interessato (Alter, 1996). Oltre all'aumento del ROM, tra i benefici proposti dallo stretching possiamo trovare un miglioramento delle prestazioni. Questo miglioramento è dovuto alla maggiore capacità di allungarsi durante uno sport e alla ridotta resistenza di un muscolo meno rigido al movimento previsto (Young, 2007). Tuttavia la relazione tra stretching e performance è molto specifica. Nel senso che non tutte le forme di stretching se inserite nel riscaldamento, o comunque fatte pre-esercizio, comportano un miglioramento della performance, anzi avviene spesso il contrario. Generalmente lo stretching statico ha effetti negativi sulla performance di salto, forza massima e potenza, di contro lo stretching dinamico sembrerebbe non comportare un peggioramento della performance o in alcuni casi data la maggior specificità, potrebbe comportare un miglioramento (Behm et al, 2011). Un esempio del miglioramento delle prestazioni è dato anche dallo studio condotto da Worrell et al, (1994), che riportava un miglioramento nella coppia di picco eccentrica a 60°/sec ( $p < 0,05$  +8,5%) e 120°/sec ( $p < 0,5$  +13,5%) e concentrica a 120°/sec ( $p < 0,05$  + 11,2%) dei muscoli posteriori della coscia in seguito a quattro allungamenti statici di 15-20 secondi ciascuno. Nonostante ciò, dalla letteratura, emergono altrettanti studi sugli effetti negativi dello stretching nella routine di riscaldamento sulla performance successiva (Behm, 2001). Un esempio è lo studio condotto da Fowles et al, (2000) dove sono stati testati tredici allungamenti statici dei flessori plantari (PF) per centotrentacinque secondi e successivamente uno stretching di circa trenta minuti dei PF. La conseguenza è stata una diminuzione del 28% della forza di contrazione volontaria massima (MVC) dei PF, immediatamente dopo lo stretching e una compromissione del 9% dopo sessanta minuti. Lo stretching statico potrebbe non influenzare o forse aumentare le prestazioni con contrazioni SSC dinamiche che comportano un maggior immagazzinamento dell'energia elastica. Inoltre una durata totale di stretching per muscolo di <30s, potrebbe non avere un impatto negativo sulle prestazioni successive, soprattutto se la popolazione è allenata. Tuttavia bisognerebbe essere cauti nell'aumentare la durata dello stretching statico quando non sono necessarie prestazioni di forza rapide, esplosive o reattive. Per

questi tipi di movimenti, il sistema neuromuscolare dovrebbe essere innescato con attività che eccitano il sistema. In particolare lo stretching dinamico fornisce una risposta positiva al miglioramento delle prestazioni del sistema neuromuscolare. Il riscaldamento ottimale dovrebbe quindi essere composto da un'attività aerobica di intensità submassimale seguita da uno stretching dinamico e quindi completata da attività dinamiche specifiche per lo sport (Behm et al, 2011). In conclusione possiamo dire che lo stretching per il miglioramento della performance successiva in un riscaldamento, possa essere incluso per applicazioni specifiche di flessibilità sportiva, quindi in base alla attività praticata dall'atleta (Beedle, Mam, 2007).

### **1.1.5.2 Stretching e salute**

Per quanto riguarda lo stretching in relazione alla salute, un aspetto da tenere in considerazione è la sua importanza nel migliorare la funzione vascolare sistemica e locale (Bisconti et al, 2020). La funzione vascolare è la capacità di una arteria di dilatarsi e restringersi ed è un importante marker di salute e comorbidità cardiovascolare. Una alterazione della funzione vascolare è spesso preceduta da un aumento della rigidità arteriosa, che è inversamente proporzionale alla salute cardiovascolare. Migliorare e mantenere la funzione vascolare è dunque fondamentale per la prevenzione delle malattie cardiovascolari (Green et al, 2017). Diversi studi hanno riportato che lo stretching statico passivo acuto (PS), possa avere un effetto positivo sulla funzione vascolare, sulla rigidità arteriosa e sulla struttura arteriosa (Cortez-Cooper et al, 2008). Il PS provoca due risposte opposte, in primo luogo una vasocostrizione con ridotto flusso sanguigno ( $\bar{Q}$ ) nell'arteria di alimentazione del muscolo allungato, innescato da un aumento sistemico del tono neurale simpatico (Cui et al, 2006) e in secondo luogo una vasodilatazione con conseguente aumento del  $\bar{Q}$  dell'arteria di alimentazione del muscolo allungato, dovuto al rilascio di sostanze vasoattive endogene (Venturelli et al, 2017). L'allenamento PS, eseguito in modo continuo e ripetitivo, può agire dunque come un "allenamento vascolare", che porta al rimodellamento endoteliale, cioè cambiamenti nella struttura e rigidità vascolare, migliorando così la funzione vascolare in modo simile all'allenamento dei muscoli scheletrici (Green et al, 2017). Gli adattamenti indotti dal PS, possono dunque avere implicazioni pratiche

per il mantenimento e il miglioramento della salute cardiovascolare nelle persone con mobilità ridotta. Un esempio del concetto appena discusso è lo studio condotto da Bisconti et al, (2020). In questo caso trentanove partecipanti sono stati assegnati ad un gruppo PS bilaterale (N=14), ad un gruppo PS monolaterale (N=13) oppure ad un gruppo di controllo (N=12), per verificare gli adattamenti vascolari indotti dall'allenamento PS a lungo termine, sulla funzione vascolare e sulla rigidità delle arterie coinvolte (femorale e poplitea) e non coinvolte (brachiale). L'allenamento PS di dodici settimane interessava i muscoli estensori del ginocchio e flessori plantari, mediante un movimento passivo di un singolo arto e dilatazione flusso-mediata (FMD). Ogni sessione di allungamento durava quaranta minuti e comprendeva due esercizi per i muscoli estensori del ginocchio e due per i flessori plantari, divisi in quarantacinque secondi di allungamento e quindici secondi di recupero in posizione di riposo. I risultati hanno dimostrato, in entrambi i gruppi di allenamento PS, aumenti del 30%, 25% e 8% ( $P < 0,05$ ) del flusso sanguigno della femorale poplitea e dell'arteria brachiale, suggerendo dunque un miglioramento della funzione vascolare e una diminuzione della rigidità arteriosa, nelle arterie coinvolte e non coinvolte con l'allenamento PS. I miglioramenti ottenuti, tuttavia, hanno avuto una durata breve, poiché sono tornati ai valori base entro sei settimane dalla cessazione dell'allenamento PS. In conclusione, possiamo affermare che tutti gli individui dovrebbero includere lo stretching nelle loro attività generali di fitness e benessere, per i benefici alla salute e funzionali ad esso associati (Behm, Chaouachi, 2011).

### **1.1.5.3 Stretching ed infortuni**

Nella pratica standard di tutti i livelli di sport, o nell'attività fisica ricreativa, allenatori, fisioterapisti e medici raccomandano lo stretching per prevenire lesioni che potrebbero andarsi a creare (Thacker et al, 2004). Il riscaldamento unito allo stretching aumenta la flessibilità di articolazioni come caviglia e ginocchio e l'unione di queste due modalità di avviamento all'esercizio, si dimostra inoltre molto efficace nella prevenzione di infortuni a carico di queste articolazioni (Hewett et al, 1999). La mancanza di flessibilità può dunque essere associata ad una maggiore probabilità di incorrere in lesioni. Un esempio è lo studio condotto da

McHugh et al, (1999). Gli autori hanno esaminato se la rigidità passiva di un gruppo muscolare che si esercita in modo eccentrico, influenzi i successivi sintomi di danno muscolare. Venti soggetti, tra cui undici uomini e nove donne, sono stati testati per valutare la rigidità passiva dei muscoli posteriori della coscia, attraverso un allungamento di venti secondi a gamba tesa. I soggetti sono poi stati classificati come rigidi (N=7), normali (N=6) e conformi (N=7). Successivamente hanno eseguito sei serie di dieci esercizi eccentrici isocinetici e sub-massimali per i muscoli posteriori della coscia. Sono stati poi valutati i sintomi del danno muscolare tra cui cambiamenti della forza isometrica e dolore muscolare nei tre giorni successivi. I risultati hanno dimostrato che i sintomi erano significativamente maggiori nei soggetti rigidi rispetto ai soggetti normali e conformi, nei giorni successivi all'esercizio eccentrico. Dalla revisione condotta da Behm et al (2016) si evince inoltre che interventi di stretching di durata totale più lunghi possono avere un potenziale maggiore per ridurre il rischio di lesioni muscolari e che lo stretching pre-attività può essere utile per la prevenzione degli infortuni negli sport con una componente di corsa sprint, ma non nelle attività di corsa basate sulla resistenza. In conclusione si può affermare che esiste un'associazione tra flessibilità e lesioni muscolari e che la rigidità muscolare e il suo correlato clinico, sono fattori di rischio per i sintomi più gravi di danno muscolare.

#### **1.1.5.4 Stretching ed invecchiamento**

I cambiamenti nel muscolo scheletrico derivati dal processo di invecchiamento riguardano soprattutto la diminuzione della massa muscolare, della lunghezza dei fasci che compongono il muscolo, un aumento del grasso intramuscolare e modificazioni di qualità e quantità del tessuto connettivo (minor idratazione e minor presenza di fibre elastiche). Tuttavia è stato dimostrato che lo stretching può migliorare la lunghezza muscolo-tendinea, il ROM, l'equilibrio e la funzionalità negli individui anziani (Gallon et al, 2011). In particolare gli studi indicano che lo stretching nelle persone anziane porta ad un miglioramento del dolore muscoloscheletrico, ad un aumento della flessibilità ed ad un miglioramento della lunghezza e della flessibilità muscolo-tendinea. Un esempio a sostegno di questa tesi è lo studio condotto da Gallon et al, (2011). Diciassette donne anziane ( $67 \pm 9$

anni) sono state valutate per osservare gli effetti di un programma di intervento di stretching su lunghezza muscolo-tendinea e flessibilità dei muscoli posteriori della coscia. Le donne sono state divise in due gruppi in modo randomizzato: un gruppo di controllo (CG, N=9) e un gruppo sottoposto a stretching (SG, N=8). Il secondo gruppo ha eseguito uno stretching attivo dei muscoli posteriori della coscia, per quattro ripetizioni da un minuto ciascuno, tre volte a settimana, per una durata totale di otto settimane. Successivamente, entrambi i gruppi, sono stati valutati attraverso un metodo fotogrammetrico, per verificare la lunghezza muscolo-tendinea dei flessori d'anca uni e bi-articolari e la flessibilità dei muscoli posteriori della coscia. I risultati hanno dimostrato che la flessibilità del tendine del ginocchio era aumentata del 30% nel gruppo SG rispetto al pre-allenamento ( $76,5 \pm 13,0^\circ$  vs  $59,5 \pm 9,0^\circ$ ,  $P=0,0002$ ) e del 9,2% rispetto al gruppo CG ( $76,5 \pm 13,0^\circ$  vs  $64,0 \pm 12,0^\circ$ ,  $P=0,0018$ ). Le lunghezze muscolo-tendinee dei muscoli flessori bi-articolari dell'anca erano invece diminuite nel gruppo CG rispetto ai valori del pre-test ( $124 \pm 6,8^\circ$  vs  $118,3 \pm 7,6^\circ$ ,  $P=0,031$ ), dimostrando come lo stretching statico attivo, nelle persone anziane, porta ad un aumento della flessibilità.

È stato dunque dimostrato come lo stretching sia associato ad un miglioramento significativo del ROM dei flessori uni e bi-articolari dell'anca, tuttavia in questo studio, come in altri, il protocollo di lavoro veniva eseguito per almeno quattro settimane. Pertanto, riguardo alla regolarità degli esercizi di stretching, l'ACSM raccomanda dalle due alle tre volte a settimana per mantenere il livello di flessibilità e cinque volte a settimana per guadagni più significativi (Garber et al, 2011). In conclusione si può asserire che l'esercizio fisico sia necessario ed essenziale per migliorare e mantenere la salute nella popolazione anziana, con attività che includono sia esercizi aerobici e di forza, ma anche di flessibilità (Zotz et al, 2014).

## **1.2 Origini dello stretching**

Considerare corpo e mente un tutt'uno indivisibile è sempre stata una caratteristica delle discipline orientali, ed è proprio in quest'ultime che sembrerebbe avere avuto origine la tecnica dello stretching.

Nonostante le fonti sulla storia dello stretching siano incerte, è grazie al contributo del ricercatore David Behm (*The Science and Physiology of Flexibility and*



*Stretching*, 2018), che possiamo avere un racconto più dettagliato di come questa tecnica si sia sviluppata nel corso del tempo.

Nei testi storici le prime testimonianze di stretching risalgono all'antica Cina, in particolare alla dinastia Zhou (1222-255 a.C.). In questo caso gli atleti eseguivano una sorta di "stretching finale" allo scopo di scaldare i muscoli, il corpo e diminuire la rigidità di muscoli e tendini. Queste forme di allungamento erano comunemente usate nelle arti marziali, in quando richiedevano range di movimento estremi (ROM) con lo scopo di eseguire acrobazie e manovre di fuga. Un esempio di queste arti marziali era il Kung Fu dove l'enfasi su un lavoro di flessibilità era utile per avere un maggior successo nei combattimenti. Successivamente in Cina, anche a causa dell'influenza dello Yoga pre-classico indiano, l'allungamento non era più concentrato nell'esecuzione delle arti marziali, ma bensì sulla mente e sullo spirito con nessuna enfasi sugli esercizi di controllo fisico. Fu solo con l'avvento dello yoga classico, durante la dinastia Han, che furono inseriti esercizi di respirazione e esercizi posturali per le attività del Tao Yin. Questi esercizi e posizioni erano inoltre usati per curare malattie specifiche (168 a.C.).

Tuttavia le prime forme di stretching iniziarono a prendere piede con lo sviluppo dell'Hatha Yoga. Il primo, in questo periodo, a considerare lo stretching un esercizio fondamentale nel prevenire le malattie fu Hua Tuo (104-208 d.C.). Hua Tuo enfatizzò la combinazione di respirazione, piegamento, allungamento e un insieme di posture che etichettò come "*Frolics of the Five Animals*" (Figura 2). Queste posture erano utili in quanto coinvolgevano una componente dinamica lenta per raggiungere il massimo ROM e una componente statica per mantenere quella posizione.

A partire dal I secolo questo tipo di stretching dinamico si diffuse in Persia, dove guerrieri e lottatori usavano attrezzi a forma di birilli, definiti *meels* (Figura 1), per incrementare la forza e la potenza (con quelli più pesanti) e per aumentare il ROM (con quelli più leggeri) attraverso schemi di oscillazione intorno alla spalla. Successivamente, questi tipi di movimenti che permettevano un aumento di flessibilità, rapidità e resistenza muscolare, vennero utilizzati dai cavalieri medievali in preparazione al combattimento, alle competizioni e alle battaglie.



FIGURA 1

Intorno alla metà del diciannovesimo secolo, il pedagogista svedese Ling (1776-1839), introdusse esercizi basati sulla ginnastica svedese per gli uomini e le donne d'Europa e del Nord America. Questi esercizi, che si differenziavano in base al genere, prevedevano per gli uomini movimenti dinamici a bassa intensità o leggeri per la preparazione sportiva o la guerra, mentre per le donne movimenti aggraziati di braccia, gambe, collo e testa. Lo scopo principale di questi esercizi era quello di aumentare la flessibilità, nonché quello di mantenere o migliorare il movimento intorno alle articolazioni interessate. Con Ling si passò progressivamente da una ginnastica di tipo militare alla valorizzazione delle capacità igieniche e terapeutiche dell'attività motoria, gli esercizi dovevano infatti essere utili dal punto di vista anatomico-fisiologico e facili da eseguire, con una particolare attenzione alla ginnastica del tronco e al movimento a corpo libero.



FIGURA 2

La fine del XIX secolo vide l'emergere di una serie di nuovi sport di squadra. Con l'avvento di questi nuovi sport aumentò la consapevolezza, negli atleti, dell'importanza di un adeguato riscaldamento che includesse movimenti leggeri e dinamici per allungarsi e per preparare al meglio il corpo alla competizione. Tuttavia con lo scoppio della prima guerra mondiale, l'attenzione si spostò

maggiormente sull'addestramento dei soldati, per assicurarsi che fossero pronti all'azione militare e la preparazione agli sport di squadra fu messa da parte. Alla fine degli anni cinquanta il canadese dottor William Orban (1922-2003) sviluppò il programma 5BX (*5 Basic Exercise*), un programma che prevedeva esercizi di ginnastica eseguibili in tutti i luoghi e senza l'utilizzo di particolari attrezzature. Nonostante il programma fosse inizialmente concepito solo per il personale militare maschile, questo si diffuse in tutta la popolazione. Fu allora che Orban ideò anche il XBX, un programma che prevedeva dieci esercizi base per le donne. Lo scopo di questi programmi era quello di mantenere i muscoli e le articolazioni "morbide e flessibili". La maggior parte degli esercizi prevedeva uno stretching di tipo balistico come quello per toccare le dita dei piedi (prevedeva un dondolio per toccare le dita dei piedi e poi uno slancio indietro tornando in posizione eretta). Tuttavia, con il passare del tempo, lo stretching balistico fu accantonato perché considerato pericoloso, in quanto faceva attivare nel muscolo il riflesso da stiramento. Al suo posto subentrò lo stretching dinamico che si basava sulla conquista dell'elasticità di muscoli e tendini. In questo caso il muscolo agonista, contraendosi rapidamente, tendeva ad allungare il muscolo antagonista.

Durante la metà degli anni sessanta anche questa tipologia di stretching fu messa da parte perché si pensò che contrazioni muscolari riflesse mentre si allungavano i muscoli potessero provocare lesioni. Fu così che lo stretching statico divenne l'attività predominante all'interno del riscaldamento pre-attività per aumentare il ROM, in quanto il raggiungimento tramite un movimento lento della posizione di allungamento e il mantenimento di questo per un periodo prolungato, riduceva al minimo l'attività riflessiva dei fusi neuromuscolari, che venivano attivati da tassi di allungamento più elevati.

In concomitanza a questo cambiamento, divenne popolare anche un'altra forma di stretching, ideata intorno al 1946 dal neurofisiologo Herman Kabat: il PNF (*Proprioceptive Neuromuscular Facilitation*). Questa era una proposta molto alternativa, in quanto non prevedeva più solo la parte di allungamento, ma richiudeva, all'interno del suo processo, anche una parte di contrazione isometrica del muscolo, volta ad aumentare il ROM. Una modalità sviluppata successivamente di questa tecnica fu il CRAC (*Contract Relax Antagonist*

*Contract*). Questa variabile induceva una serie di meccanismi inibitori con lo scopo di rilassare il muscolo, consentendo all'individuo di raggiungere un ROM maggiore rispetto allo stretching statico. Alla fine degli anni novanta e all'inizio degli anni duemila, anche lo stretching statico non fu esente da critiche. Iniziarono ad apparire infatti diversi studi scientifici che indicavano come lo stretching statico portasse ad un peggioramento delle prestazioni successive anziché ad un miglioramento. Fu così che all'inizio del ventunesimo secolo lo stretching dinamico sostituì quello statico come principale componente di flessibilità nel riscaldamento. Solo recentemente, grazie ad una revisione ad opera della *Canadian Society for Exercise Physiology* del 2016, è stato suggerito che i peggioramenti indotti dallo stretching statico mancano di una certa validità scientifica, in quanto molti di questi studi non impiegavano un precedente riscaldamento in stile aerobico e allungavano il muscolo per durate molto più lunghe di quelle normalmente utilizzate.

In conclusione si può affermare che la tipologia di stretching da utilizzare per migliorare il ROM o per una routine di riscaldamento è in uno stato di continuo cambiamento e evoluzione. Tuttavia dalle ricerche emerse negli ultimi anni si può giungere a diverse conclusioni: in primo luogo che ognuna delle forme di stretching (stretching statico, attivo o passivo, dinamico, balistico e PNF) migliora il ROM articolare nelle diverse fasce d'età. In secondo luogo che lo stretching statico eseguito nel pre-gara peggiora la prestazione seguente (nelle condizioni di forza, potenza e sprint), al contrario lo stretching dinamico e balistico nel pre-gara migliorano in alcuni casi, o nella maggior parte dei casi non peggiorano, la performance, quindi sono particolarmente raccomandati nel riscaldamento (Behm et al, 2011). In terzo luogo praticare stretching prima o dopo un'attività non riduce il rischio di infortunio da tutte le cause, ma se praticato prima sembrerebbe ridurre di circa il 54% il rischio di infortuni muscolari in acuto (Behm et al, 2016). Infine si deduce, dagli studi precedenti, che gli effetti dei differenti tipi di stretching sull'aumento del ROM articolare o sulla riduzione del rischio di infortuni, dipendono essenzialmente dalla combinazione di quattro fattori principali: la frequenza, la durata, la tipologia e l'intensità.

### 1.3 Tipologie di stretching

Per allungarsi efficacemente è necessario conoscere diversi metodi, in modo tale da poter scegliere il più adatto al proprio livello e agli obiettivi che ci si è posti. Generalmente la classificazione prevede una semplice divisione in due tipi di allungamento: il metodo statico ed il metodo dinamico. Questa distinzione è la più conosciuta ma è molto generica e di conseguenza un po' troppo semplicistica, perché trascurava dei metodi di allungamento validi e aventi origine dalle ricerche di importanti studiosi come Holt, Kabat, Anderson e Jan Ekstrand.

La classificazione allora si allarga comprendendo quattro diverse tecniche o metodiche principali di stretching.

#### 1.3.1 Stretching Statico

Lo stretching statico consiste nel portare l'articolazione vicino al suo limite di mobilità per poi mantenere la posizione per alcuni secondi (Figura 3). Si tratta di uno degli allungamenti più efficaci e può essere suddiviso in due categorie:

- Stretching statico attivo, quando l'allungamento viene eseguito mediante contrazione del muscolo allungato o del muscolo antagonista. Non è il più efficace, dal momento che per alcune parti del corpo non è facile mantenere la giusta tensione e questo è il motivo per cui spesso è preferibile l'allungamento passivo statico.
- Stretching statico passivo, quando una macchina, uno strumento (ad es. elastico o asciugamano) o un'altra persona aiuta a raggiungere e mantenere la posizione di allungamento.

Per eseguire lo stretching statico bisogna seguire alcuni passaggi affinché la sua realizzazione sia corretta. Raggiungere la condizione di allungamento in modo progressivo, fermarsi prima di raggiungere la soglia del dolore, mantenere la posizione per circa venti secondi e riposare per venti/trenta secondi. La sequenza va poi ripetuta per tre/quattro volte.



FIGURA 3

### 1.3.2 Stretching Dinamico

Lo stretching dinamico, come suggerisce il nome, prevede l'effettuare un movimento ampio, ma costantemente controllato (Figura 4). Questo sistema è consigliato in programmi sportivi in cui sono previsti movimenti ad elevata velocità (come le arti marziali e la danza), poiché agisce sull'elasticità di muscoli e tendini. Il muscolo agonista, contraendosi rapidamente, tende ad allungare il muscolo antagonista (quello che si vuole allungare); si effettuano dunque dei movimenti ripetuti ed in sequenza in forma dinamica ma comunque in modo controllato.



FIGURA 4

Le leggi fondamentali dello stretching dinamico sono: procedere a un riscaldamento generale (cardiovascolare) e settoriale (rotazione delle articolazioni), iniziare con slanci lenti e sciolti e gradatamente aumentare l'ampiezza oppure la velocità di esecuzione, non slanciare in modo incontrollato, controllare il movimento e terminare gli slanci quando si manifestano i primi segni di fatica in una diminuzione

di ampiezza e velocità; non allenarsi quando i muscoli sono affaticati, infatti i muscoli stanchi sono meno flessibili, meno veloci e più soggetti a traumi.

### **1.3.3 Stretching balistico**

Lo stretching esplosivo o balistico viene spesso considerato una variante dello stretching dinamico. Si basa sull'utilizzo della forza di inerzia prodotta da un movimento rapido a "slancio" o "rimbalzo" per portare l'articolazione oltre il suo normale range di movimento, massimizzando così l'escursione articolare. Nonostante sia una tecnica efficace per il miglioramento del ROM articolare, è una tipologia di stretching sicuramente poco indicata per i principianti o per alcune tipologie di popolazioni (ad es. anziani, atleti nel recupero post-infortunio) in quanto l'esecuzione di movimenti rapidi ed intensi alla massima escursione articolare sollecita significativamente i muscoli e le articolazioni coinvolte, esponendo maggiormente al rischio di lesioni muscolo-tendinee indotte dall'attivazione dei riflessi miotatici.

### **1.3.4 Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF)**

Il PNF chiamato talvolta anche isometrico, si deve agli autori statunitensi Kabat, Levine e Bobath (è infatti conosciuto anche come Metodo Kabat). Poiché si tratta di un metodo relativamente meno intuitivo e pertanto più complicato, è raccomandato principalmente a persone esperte e non ai principianti.

Nella sua metodica più semplice, denominata *contract-relax* (CR), i passaggi fondamentali sono i seguenti: iniziare con un leggero allungamento fino a raggiungere una sensazione di fastidio, contrarre in modo isometrico il muscolo in allungamento per sei/otto secondi (fase *contract*), rilassare la contrazione per cinque secondi ma senza cambiare posizione (fase *relax*), aumentare il grado di allungamento e mantenere la nuova posizione per circa dieci secondi ed infine contrarre il muscolo e ripetere la sequenza altre due volte (Figura 5) (Ferber et al, 2002). È molto simile alla Tecnica di Michell (Fryer, 2011), dove, partendo da una posizione di allungamento muscolare, vengono eseguite delle contrazioni isometriche, seguite da una fase di rilassamento. Al termine di ogni contrazione si incrementa l'allungamento nel tentativo di raggiungere un nuovo limite.



FIGURA 5

L'evoluzione della metodica CR è denominata CRAC. Il CRAC deriva dalle parole inglesi *Contract Relax Antagonist Contract* che in italiano significano Contrazione, Rilassamento e Contrazione dei muscoli Antagonisti. La parte iniziale è quella descritta nella metodica CR, però si differenzia nella fase finale dell'allungamento. Prevede infatti l'intervento attivo dei muscoli antagonisti a quelli che si stanno allungando. Anche in questo caso è necessaria la presenza di un compagno che collabori nella contrazione isometrica iniziale dei muscoli che si vogliono allungare e che dia un ulteriore aiuto, nella fase finale di allungamento, alla contrazione dei muscoli antagonisti. In questo modo vi è una contrazione e un rilassamento del muscolo agonista quando viene contratto con forza l'antagonista.

### 1.3.5 Stretching globale attivo

Lo stretching globale attivo si basa sul principio che solo gli stiramenti "globali" sono realmente efficaci. Esso viene definito globale perché metodologicamente si prefigge l'allungamento globale delle catene mio fasciali, con l'aiuto di contrazioni isometriche eccentriche eseguite dal soggetto attivo, con lo scopo di prevenire e migliorare le lesioni, diminuire la rigidità e il dolore muscolare ristabilendo la forza e la flessibilità dei gruppi muscolari irrigiditi (Figura 6). Gli stiramenti vengono effettuati mediante posizioni che allungano tutta una catena muscolare, portando così a una rieducazione della postura. È una forma di stretching che consiste nella rieducazione posturale per la prevenzione e il trattamento delle alterazioni



dell'equilibrio tonico dei muscoli e dell'equilibrio neurovegetativo, riconducibili alla pratica sportiva.



FIGURA 6

Lo stretching globale attivo trae i suoi principi dalla Rieducazione Posturale Globale ideata da Philippe E. Souchart (1980).

L'importanza di questo sistema è che non agisce sul singolo muscolo ma sull'intera catena muscolare sottoposta ad allungamento. Secondo la teoria del suo creatore, quando eseguiamo un esercizio di stretching classico su un muscolo otteniamo una parte di allungamento delle fibre interessate e una parte di allungamento che viene presa da altri gruppi muscolari. Questo sistema fa comprendere che ogni volta che si mette in funzione un determinato muscolo si crea un movimento nell'intera struttura e da ciò si capisce che la struttura dell'uomo è organizzata in catene muscolari. Uno dei principi fondamentali, sfruttati dallo stretching globale attivo, è la globalità, che prevede, l'interessamento di tutti i segmenti del corpo nello stesso momento attraverso la realizzazione di particolari posizioni che evolvono in maniera dolce e progressiva, con l'interessamento della respirazione, verso una posizione finale di massimo allungamento. La respirazione deve essere lenta e ritmica, con maggiore enfasi della fase espiratoria per eliminare qualsiasi compenso corporeo. Per compenso si intende un meccanismo automatico antalgico attuato dal nostro corpo per evitare sensazioni dolorose derivate dall'allungamento delle strutture mio fasciali, le quali si accorciano in un'altra zona. L'espirazione lenta e prolungata, nelle posture, permette di ottenere un allungamento indiretto della catena inspiratoria (diaframma, muscoli inspiratori e relative fasce)(Almeida et al, 2018). Un'altra caratteristica necessaria è costituita dalla partecipazione attiva dei

distretti muscolari interessati dallo stiramento attraverso la contrazione dinamico-eccentrica, ricercandone così il rilasciamento riflesso. Generalmente, vengono utilizzate diverse posture, ognuna con la specificità di agire su una serie determinata di catene muscolari. Ciò realizza un riequilibrio delle tensioni e permette una maggiore economia del sistema con un aumento quindi della performance atletica. Sembra, inoltre, offrire una valida prevenzione contro le patologie da sovraccarico muscolo-tendinee.

### **1.3.6 Altre forme di stretching**

#### **1.3.6.1 Lo stretching a coppie**

Una particolarità dello stretching statico passivo è che questo può essere eseguito a coppie. Una parte fondamentale da comprendere nello stretching a coppie è quella relativa alle conoscenze e all'esperienza del compagno con cui si intraprende questa pratica. Per tale motivo, è utile seguire alcune linee guida per prevenire eventuali traumi e per ottimizzare il lavoro e i risultati:

- È necessario che i compagni che intraprendono questa pratica conoscano la forma fisica e i limiti reciproci, condividano le proprie impressioni e che comunichino tra loro.
- I componenti della coppia dovrebbero, preferibilmente, avere altezza, peso e struttura fisica simili e condividere obiettivi analoghi affinché si possano ottenere risultati migliori.
- È necessario, prima di iniziare l'allenamento, stabilire un gesto tra i due compagni (può essere battere la mano sul pavimento) per fermare l'allungamento o per avvisare di non andare oltre un determinato punto.
- Prima di iniziare il programma di allenamento, i due compagni devono decidere quali esercizi svolgere e indicare il tempo cui si dedicheranno ad ognuno di essi.

- Nello stretching di coppia ogni movimento deve essere eseguito lentamente, affinché non si inneschi una contrazione difensiva nel compagno che impedirà il raggiungimento del giusto allungamento.
- Come nello stretching individuale, anche in quello di coppia la respirazione deve avvenire in modo corretto e naturale e non deve essere forzata.
- È necessario che la comunicazione tra i due compagni sia ridotta al minimo, se non quella necessaria, affinché entrambi gli atleti possano mantenere la concentrazione.
- Ultimo aspetto fondamentale è quello di avere fiducia nel compagno, se questa non sarà presente si resterà tesi durante l'allungamento e non si riuscirà a fare progressi (Esquerdo, 2012).

### **1.3.6.2 Lo stretching in gravidanza**

Quando un operatore lavora in un centro fitness, tuttavia, non si ritroverà solo a lavorare con persone sane a cui dovrà proporre una delle tipologie di stretching sopra elencate, ma potrà anche avere a che fare con popolazioni particolari, che necessiteranno dunque di un maggior riguardo e di maggior attenzione, come ad esempio, donne in gravidanza o persone disabili o con limitazioni, è giusto quindi che sia preparato a tale eventualità.

La maggior parte delle donne può eseguire, durante quasi tutto il periodo di gravidanza, esercizi di stretching purché il medico ne dia l'autorizzazione. Tutte le organizzazioni internazionali raccomandano l'esercizio durante la gravidanza, a condizione che non ci siano complicanze durante il periodo gestionale (*American College of Obstetricians and Gynecologist*, 2002). Tuttavia, nonostante queste raccomandazioni, la maggior parte delle donne in gravidanza non fa esercizio e questo non è del tutto appropriato. L'esercizio durante la gestazione influisce positivamente sia sulla donna incinta che sul feto. I principali benefici per la donna incinta includono un miglioramento delle condizioni fisiche, un recupero più rapido dopo il parto, una prevenzione delle condizioni di salute come GDM (*Gestional*

*Diabetes Mellitus*), ipertensione e pre-eclampsia indotte dalla gravidanza (Blaise et al, 2015). Per quanto riguarda il feto, poiché l'esercizio fisico regolare riduce il grasso corporeo, questa migliora il trasferimento di ossigeno e riduce la diffusione dell'anidride carbonica attraverso la placenta avendo così un impatto positivo sullo sviluppo del feto (*American College of Obstetricians and Gynecologist*, 2002). Tuttavia, durante la gravidanza, non ci si può allungare nello stesso modo, ma è necessario seguire alcune regole:

- In primo luogo bisogna diminuire l'ampiezza del movimento, ridurre il numero di serie e aumentare il riposo tra una serie e l'altra, diminuendo di fatto la durata dell'allenamento giornaliero.
- Si devono evitare esercizi che esercitano una pressione sul ventre ed evitare di trattenere il respiro durante l'esecuzione degli stessi.
- Dopo il terzo o quarto mese evitare esercizi in posizione prona ed evitare di spingersi al limite della mobilità articolare, in quanto i cambiamenti ormonali possono rendere instabili le articolazioni (Artal et al, 2003)
- Negli ultimi mesi di gravidanza evitare di esercizi di difficile esecuzione tecnica o pericolosi e tenere sotto controllo la propria temperatura corporea e quella dell'ambiente in cui ci si allena.
- Per evitare problemi di ipotensione, che potrebbero causare uno svenimento, è fondamentale rialzarsi lentamente dopo aver eseguito un esercizio a terra.

I muscoli del tratto addominale-lombare sono quelli maggiormente sottoposti a stress durante il periodo della gravidanza; gli addominali a causa dell'estensione dovuta all'aumento del diametro interno, i lombari poiché devono supportare il peso aggiuntivo che grava sulla spina dorsale. Per questo, nel periodo gestionale e nel periodo post-parto, una donna dovrebbe dare priorità al rinforzo dei muscoli del gruppo addominale-lombare (Savvaki et al, 2018).

### **1.3.6.3 Lo stretching per le disabilità**

Nonostante vi sia ancora scetticismo tra alcuni ricercatori e clini sull'effettiva utilità dell'esercizio fisico per la prevenzione ed il trattamento di malattie e/o disabilità, è importante sottolineare come la partecipazione regolare all'attività fisica o all'esercizio fisico possa aiutare nella prevenzione e nel trattamento di questi campi (Carlson et al, 1999). In primo luogo bisogna capire, nelle persone disabili o con limitazioni, se i fattori che limitano il movimento siano naturali o patologici. Alla prima categoria appartengono i muscoli, i tendini, le ossa e gli organi interni. Solitamente con il termine "disabilità" si intende l'impedimento o la difficoltà a svolgere attività considerate quotidiane e ordinarie, a causa dell'alterazione di alcune funzioni fisiche o intellettuali. In questo caso gli esercizi di stretching sono comunque possibili, ma è necessario riadattarli in base alle condizioni del soggetto. In caso di impedimenti di origine psicologica gli esercizi di stretching non differiscono da quelli di un normale allenamento, ma è necessaria la presenza di un familiare che possa vigilare sulla salute fisica e mentale del disabile. Nel caso di difficoltà sensoriali quali cecità o ipovisione, sordità o muteness gli esercizi di stretching sono comunque eseguibili. In caso di malattie, lo stretching presenta minori difficoltà rispetto ad altre attività fisiche in quanto lo sforzo cardiovascolare e respiratorio è minore e dunque come pratica si adatta facilmente a differenti condizioni fisiche (Moore et al, 2016). Un ulteriore beneficio dello stretching in caso di soggetti che presentano disabilità, è che esso diventa un ottimo supporto dal punto di vista psicologico e sociale. La persona si sente infatti maggiormente autosufficiente e in grado di stabilire relazioni interpersonali con i compagni di allenamento (Singh, 2002).

### **1.3.7 Tipologie di stretching a confronto in programmi di flessibilità, forza e resistenza**

Dopo una attenta analisi degli studi scientifici è emerso che, negli ultimi tempi, c'è stato un passaggio all'interno di una routine di riscaldamento, dallo stretching statico (SS) o dallo stretching di facilitazione neuromuscolare propriocettiva (PNF), allo stretching dinamico (DS). Nonostante inizialmente lo stretching statico fosse la tecnica più utilizzata, dovuto al fatto di essere teoricamente più facile e sicuro da

applicare rispetto agli altri, venne sostituito in quanto riduceva la forza e la produzione di potenza con un effetto dannoso sulle prestazioni muscolari durante il salto, lo sprint e la resistenza alla forza (Behm et al, 2016). L'obiettivo è dunque quello di confrontare gli effetti di SS, DS e PNF sulle prestazioni e sul range di movimento (ROM).

### **1.3.7.1 Stretching e flessibilità**

Per quanto concerne il ROM, i diversi tipi di stretching SS, DS e PNF, possiedono diverse caratteristiche di carico che influenzano i meccanismi specifici responsabili degli aumenti acuti del ROM. Gli aumenti acuti dopo lo stretching statico, vengono attribuiti alla capacità di tollerare il carico prima della conclusione dell'allungamento e a cambiamenti nelle proprietà meccaniche, come una ridotta rigidità muscolare (Morse et al, 2008). Gli aumenti acuti dopo PNF del ROM vengono invece attribuiti in parte all'inibizione autogena (PNF CR) ed in parte all'inibizione reciproca, o ad una combinazione tra essi (PNF CRAC); in particolare l'intensa fase di contrazione isometrica aumenta l'attività afferente del muscolo Ib. Questa attività riduce al minimo o rimuove l'influenza dell'attività riflessiva di tipo Ia indotta dall'allungamento, consentendo ulteriori aumenti del ROM (Hindle et al, 2012). Tuttavia poiché il PNF include nella sua esecuzione una fase di stretching statico, SS e PNF condividono meccanismi comuni alla base di aumenti acuti del ROM, quali una maggiore tolleranza all'allungamento, una ridotta rigidità e una riduzione della rigidità tendinea (Mitchell et al, 2007). Gli aumenti acuti dopo lo stretching dinamico del ROM vengono attribuiti ad un carico e rilassamento ciclico ripetuto della muscolatura per diversi minuti. L'allungamento ripetitivo della muscolatura è fondamentale nell'aumento della temperatura delle fibre muscolari, nella diminuzione della viscosità, nell'aumento dell'estensibilità e nella riduzione della rigidità muscolare passiva con aumento del ROM (Iterda et al, 2013). Nonostante sia SS che DS che PNF possano aumentare significativamente il ROM, esistono diversi studi che riportano maggiori miglioramenti del ROM, all'interno di una singola sessione, dopo PNF rispetto allo stretching statico (O'Hara et al, 2011), tuttavia è stato anche dimostrato che non vi era alcuna differenza tra un protocollo di stretching statico e uno di PNF nel miglioramento del ROM, fornendo

invece aumenti simili. Un esempio è lo studio condotto da Maddigan et al, 2012. Lo scopo della ricerca era quello di confrontare lo stretching PNF assistito e lo stretching statico nel miglioramento del ROM dell'articolazione dell'anca. I partecipanti di questo studio erano tredici adulti ricreativamente attivi, sottoposti a cinque diversi interventi di allungamento in ordine casuale. Le condizioni di allungamento includevano un PNF isometrico assistito dal partner e un protocollo di stretching statico. Per la tecnica PNF assistita il soggetto teneva la posizione di allungamento per sei secondi, dopodiché eseguiva una contrazione isometrica di sei secondi. L'intera procedura veniva ripetuta quattro volte con un periodo di recupero di dieci secondi tra le serie. Per il protocollo di allungamento statico, al partecipante veniva chiesto di allungare la gamba per cinque secondi. Successivamente il soggetto tornava alla posizione di partenza per uno/due secondi e ripeteva la procedura per un totale di quattro volte. I risultati hanno mostrato un miglioramento del ROM ( $P < 0,05$ ) del 2,7% e del 5,4% rispettivamente. In conclusione si può affermare che non c'era alcuna differenza significativa tra i protocolli di stretching, ma che entrambi portavano ad un miglioramento significativo del ROM.

Per quanto riguarda il rapporto tra lo stretching dinamico e quello statico nel miglioramento del ROM, nella letteratura sono presenti risultati contrastanti, in quanto alcuni studi suggeriscono che lo stretching dinamico porti aumenti di flessibilità simili o superiori di quello statico (Amiri-Khorasami et al, 2011), mentre altri riportano che lo stretching statico era più efficace di quello dinamico all'interno di una singola sessione di allungamento (Bacurau et al, 2009). Per quanto concerne il rapporto tra lo stretching dinamico e il PNF, non sono presenti ancora studi che confrontino queste due tipologie di stretching in relazione al ROM.

In conclusione possiamo affermare che non è possibile classificare i diversi metodi di stretching sulla loro efficacia nell'aumentare la flessibilità, ma che tutte e tre le tipologie portano ad un effettivo aumento del ROM articolare. Anche se è stato dimostrato che, nel lungo periodo, i protocolli di stretching statico mostrano guadagni significativi ( $P < 0,05$ ) rispetto ai protocolli dinamici o PNF (Thomas et al, 2018).

### 1.3.7.2 Stretching e forza

Lo stretching statico è solitamente usato in ambienti clinici e atletici con l'obiettivo di aumentare il ROM articolare e ridurre il rischio di lesioni. Tuttavia, diverse ricerche, hanno riportato effetti negativi dello stretching statico sulla massima prestazione muscolare, che possono avere implicazioni per le prestazioni atletiche (Kay, Blazevich, 2012). Diversi articoli riportano che una causa delle riduzioni delle prestazioni nello stretching statico sia la relazione dose-risposta  $\geq$  di sessanta secondi, mentre durate più brevi hanno uno scarso effetto (Behm, Chaouachi, 2011).

Lo stretching dinamico, molte volte, è considerato preferibile allo stretching statico nella preparazione all'attività fisica, per tre diverse ragioni. In primo luogo per la stretta somiglianza tra lo stretching dinamico e gli schemi di movimento dell'esercizio. In secondo luogo lo stretching dinamico eleva la temperatura corporea interna, aumentando la velocità di conduzione nervosa, la compliance muscolare, il ciclo enzimatico e accelerando la produzione di energia. In terzo luogo le attività dinamiche al posto di diminuire la spinta centrale, come accade nello stretching statico prolungato, la aumentano (Fletcher, Jones, 2004). Nonostante queste accezioni positive, lo stretching dinamico non porta miglioramenti sostanziali nelle prestazioni di forza, in quanto il miglioramento medio ponderato delle prestazioni associate allo stretching dinamico è solo dell'1,3% (Behm et al, 2016).

Nonostante sia molto efficace nell'aumentare il ROM, lo stretching PNF viene usato raramente nelle routine di pre-attività o pre-esercizio, in quanto è necessaria la presenza di un partner che offre assistenza, e questo può essere scomodo e perché le contrazioni muscolari eseguite a lunghezze muscolari elevate possono provocare un maggior danno muscolare al citoscheletro e dunque portare ad un aumento del rischio di lesioni da stiramento muscolare (Butterfield, Herzog, 2006). Tuttavia, pochi studi hanno osservato gli effetti del PNF nelle prestazioni di forza, nonostante, all'interno del suo protocollo, esso preveda una fase di stretching statico e quindi possa influenzare in qualche modo le prestazioni successive.



In base a quello che è stato precedentemente descritto, è possibile fare una comparazione tra le diverse tipologie di stretching, cercando di capire quale di esse sia più adatta ad un programma di forza. Tuttavia questo confronto può essere fatto solamente tra lo stretching statico e quello dinamico, a causa della mancanza di studi che riportino una relazione tra il PNF e gli altri due tipologie di stretching, nelle prestazioni di forza. Dagli studi mostrati in precedenza, si può evincere che lo stretching dinamico porti a minori riduzioni nella prestazione di forza rispetto allo stretching statico. Un esempio è lo studio condotto da Sekir et al, 2010. Lo scopo era quello di valutare gli effetti acuti dello stretching statico e dinamico sulla forza isocinetica dei flessori e degli estensori della gamba nelle atlete d'élite. Dieci atlete hanno completato un protocollo di intervento in ordine randomizzato diviso in non stretching (A), stretching statico (B) e stretching dinamico (C). I muscoli allungati erano principalmente i quadricipiti e i muscoli posteriori della coscia. Prima e dopo l'intervento di stretching veniva misurata a 60 e 180°/s, l'attività isocinetica e l'elettromiografia (EMG) eccentrica e concentrica di entrambi i gruppi muscolari. A parità di velocità si è assistito ad una diminuzione significativa della forza, in entrambi i gruppi muscolari, dopo lo stretching statico ( $P < 0,01-0,001$ ), al contrario si è osservato un aumento dopo lo stretching dinamico per questi parametri di forza ( $P < 0,05-0,001$ ). I risultati suggeriscono dunque che lo stretching dinamico, a differenza di quello statico, può essere efficace nel migliorare le prestazioni muscolari durante la routine di riscaldamento pre-gara.

Ad avvalorare questa tesi è stato lo studio condotto nel 2009 da Bacurau e colleghi. Lo scopo era quello di confrontare l'effetto acuto di un protocollo di stretching dinamico o statico sulla forza massima degli arti inferiori. Quattordici donne fisicamente attive ( $169,3 \pm 8,2$  cm,  $64,9 \pm 5,9$  Kg,  $23,1 \pm 3,6$  anni) hanno eseguito tre sessioni sperimentali: una sessione di controllo (1RM di leg press a 45°), una sessione dinamica (venti minuti di allungamento dinamico e 1RM di leg press a 45°) e una sessione statica (venti minuti di allungamento statico e 1RM di leg press a 45°). Nell'allungamento statico i soggetti eseguivano 6 esercizi di allungamento di quadricipiti ed hamstrings (3 serie, 30'' durata, 30'' recupero, 20 min in totale). Nell'allungamento dinamico i soggetti dovevano invece oscillare con un ritmo di un secondo per un minuto. I risultati hanno dimostrato come la forza massima

(1RM) sia diminuita dopo lo stretching statico (da  $213,2 \pm 36,1$  a  $184,6 \pm 28,9$  Kg), ma non sia stata influenzata dallo stretching dinamico ( $208,4 \pm 34,8$  Kg). Di conseguenza, lo stretching statico non è raccomandato prima di eventi atletici o attività fisiche che richiedono alti livelli di forza. D'altra parte, lo stretching dinamico può essere più appropriato perché sembra meno probabile che riduca la forza massima.

In conclusione possiamo affermare che lo stretching dinamico porta a minori riduzioni della forza, tuttavia i miglioramenti non sono così sostanziali da sostenere che non causi deficit di forza nelle prestazioni successive.

### **1.3.7.3 Stretching e resistenza**

Per quanto concerne la resistenza (o endurance), i corridori di solito eseguono un riscaldamento prima di un esercizio di resistenza, poiché è considerato essenziale per ottenere prestazioni ottimali. Lo stretching è spesso integrato nelle routine di riscaldamento dei corridori, ma la sua efficacia nel migliorare le risposte fisiologiche e metaboliche e i parametri di prestazione della corsa è ancora dibattuta. Nello studio condotto da Wilson et al, (2010) l'obiettivo era quello di studiare gli effetti dello stretching statico sul costo energetico e sulle prestazioni di resistenza in corridori maschili allenati. Sono stati assunti dieci atleti di endurance di genere maschile (età:  $25 \pm 7$  anni;  $\dot{V}O_{2MAX}$ :  $63,8 \pm 2,8$  ml/Kg/min). I partecipanti si presentavano in laboratorio in tre giorni separati. Il primo giorno veniva misurato l' $\dot{V}O_2$  max, mentre il secondo e terzo giorno si eseguiva una corsa di sessanta minuti sul tapis roulant e in modo casuale un protocollo di stretching e non stretching. Lo stretching consisteva in sedici minuti di stretching statico utilizzando cinque esercizi per i principali gruppi muscolari della parte inferiore del corpo (quadricipiti e muscolatura posteriore della coscia). Per ogni esercizio venivano eseguite quattro ripetizioni di trenta secondi ciascuna, con un recupero di quindici secondi tra le serie. I risultati hanno dimostrato che le prestazioni erano maggiori nella condizione di non allungamento ( $6,0 \pm 1,1$  Km) rispetto a quella di allungamento ( $5,8 \pm 1,0$  Km) ( $P < 0,05$ ), con un dispendio energetico maggiore durante lo stretching rispetto alla sua assenza ( $425 \pm 50$  vs  $405 \pm 50$  Kcal). I risultati

suggeriscono dunque che lo stretching statico prima di un evento di resistenza può ridurre le prestazioni e aumentare il costo energetico della corsa.

Successivamente, nel 2012, Wilson et al, replicarono lo stesso esperimento, tuttavia sostituendo la sessione di stretching statico con una di stretching dinamico. I risultati dimostrarono che il costo energetico era maggiore in seguito allo stretching dinamico rispetto alla seduta tranquilla ( $413,3 \pm 44,9$  vs  $399,3 \pm 50,4$  Kcal) ( $P < 0,05$ ), tuttavia non c'era differenza nelle prestazioni dopo l'assenza di stretching ( $6,3 \pm 1,1$  Km) rispetto alla sua presenza ( $6,1 \pm 1,3$  Km), suggerendo che lo stretching dinamico non influisce sulle prestazioni di resistenza nella corsa.

In opposizione alle ricerche condotte da Wilson sulla relazione tra stretching e resistenza, è lo studio condotto da Faelli et al, 2021. L'obiettivo era quello di valutare l'effetto dello stretching statico e dinamico durante il riscaldamento, sull'economia di corsa e la percezione dello sforzo nei corridori di resistenza. Otto corridori di resistenza maschili ( $36 \pm 11$  anni) eseguivano tre prove di corsa fino all'esaurimento, precedute da tre riscaldamenti diversi, inclusi i protocolli di stretching statico (SS), dinamico (DS) e assenza di allungamento o condizione di controllo (NS). Dopodiché venivano valutate le risposte fisiologiche e metaboliche e lo sforzo percepito (scala RPE). Nella sessione di stretching statico, il riscaldamento consisteva in dieci minuti di corsa più cinque minuti di stretching statico. Gli esercizi di stretching erano concentrati su cinque gruppi muscolari degli arti inferiori: quadricipiti, muscoli posteriori della coscia, flessori dell'anca, adduttori dell'anca e glutei. Tutti gli allungamenti venivano mantenuti per trenta secondi per gamba (lo stesso protocollo era attuato anche per lo stretching dinamico). I risultati hanno dimostrato che i valori di RPE erano più bassi nello stretching statico ( $P < 0,05$ ) e nello stretching dinamico ( $P < 0,01$ ) rispetto all'assenza di stretching. Lo studio ha dunque provato che l'inclusione di stretching statico e dinamico all'interno di una routine di riscaldamento migliora l'economia di corsa e diminuisce la percezione dello sforzo, evidenziando i benefici dello stretching sulle prestazioni di resistenza. In conclusione possiamo affermare, come detto in precedenza, che l'efficacia dello stretching nel migliorare le prestazioni di corsa e la sua economia è ancora dibattuta, infatti, nonostante i diversi studi presenti in letteratura, non è ancora chiaro quale tipologia di stretching utilizzare (statico o

dinamico) e soprattutto se queste possano portare o meno ad un effettivo miglioramento della performance.

Per quanto riguarda il PNF, nonostante i pochi studi presenti in letteratura, si evince che anche in questo caso i risultati sono contrastanti, infatti sono presenti studi che sostengono che tale metodica non aiuti a migliorare l'economia di corsa (Godges et al, 1989), mentre per altri il PNF è utile a cambiare la meccanica di corsa e dunque la sua economia (Caplan et al, 2009). Sono dunque necessari ulteriori studi per capire se tale metodologia possa effettivamente portare ad un vantaggio o ad un svantaggio nelle performance di resistenza.

#### **1.4 Basi anatomico fisiologiche dello stretching**

I muscoli sono provvisti di diversi tipi di recettori utili a regolare il loro funzionamento e a prevenire eventuali traumi. Questi recettori sono contenuti nei muscoli e nelle articolazioni e segnalano le variazioni statico-dinamiche dell'apparato locomotore. Tra di essi vi sono propriocettori specifici come i fusi neuromuscolari e gli organi muscolo-tendinei di Golgi e anche recettori che funzionano da propriocettori solo perché, essendo localizzati nelle fasce muscolari e nelle capsule articolari, sono deformati meccanicamente ed eccitati durante la contrazione di muscoli e i movimenti articolari, come i corpuscoli di Pacini e di Ruffini.

##### **1.4.1 I fusi neuromuscolari**

I fusi neuromuscolari sono recettori specializzati, di forma affusolata, lunghi da 5 a 15 mm. Compresi tra le fibre muscolari scheletriche (fibre extrafusali), sono orientati parallelamente alle stesse e attaccati con le due estremità all'endomysio. Lo stimolo efficace a eccitare i fusi è uno stiramento lungo il loro asse maggiore, perciò i fusi vengono eccitati quando i muscoli in cui sono contenuti sono soggetti ad allungamento volontario (ad es. stretching) o involontario (ad es. perdita di equilibrio).

Le zone equatoriali contengono i nuclei mentre le parti contrattili sono presenti esclusivamente nelle loro porzioni polari. Si distinguono due tipi di fibre muscolari intrafusali; ogni fuso contiene da uno a tre fibre piuttosto voluminose, di diametro

variabile tra 12 e 26  $\mu\text{m}$  e da due a otto fibre più piccole, di diametro oscillante tra 5 e 12  $\mu\text{m}$ . Le fibre più sottili sono più corte e risultano interamente contenute all'interno della capsula connettivale, inserite con le estremità nella capsula stessa. Le fibre di diametro maggiore si disimpegnano dalla capsula e vanno a inserirsi nell'endomysio delle fibre muscolari polari extrafusali. Le fibre più grosse in sede equatoriale presentano inoltre un rigonfiamento (Figura 7) (Matthews, 2015).

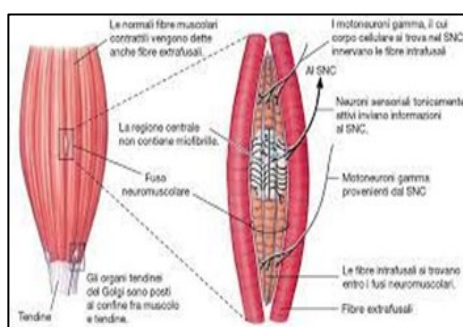


FIGURA 7

Ogni fuso è formato da una capsula connettivale che circonda da cinque a dodici piccole fibre muscolari striate specializzate dette fibre muscolari intrafusali e innervate sia da fibre afferenti che efferenti. Le fibre muscolari intrafusali differiscono da quelle muscolari vere e proprie, quindi quelle extrafusali, per tre aspetti fondamentali. Innanzitutto il loro diametro è circa cinque-dieci volte più piccolo, i loro nuclei sono accumulati nella porzione centrale della fibra, quindi quella equatoriale e le fibrille hanno un rigonfiamento molto pronunciato contenente i nuclei e sono dette fibre con sacco nucleare. Le fibre più sottili non presentano un rigonfiamento equatoriale, ma contengono una singola fila di nuclei nella loro porzione centrale e sono dette fibre con catena nucleare. I due tipi di fibre muscolari intrafusali differiscono anche per il tipo di innervazione. Esiste infatti un'innervazione afferente del fuso neuromuscolare e un'innervazione efferente del fuso neuromuscolare (Kiehn, 2016).

### 1.4.2 L'innervazione afferente

Per quanto riguarda l'innervazione afferente, i terminali dei prolungamenti dei neuroni sensitivi gangliari sono intimamente associati con le fibre muscolari intrafusali e vengono stimolati dalla deformazione meccanica delle fibre intrafusali stesse durante l'allungamento del muscolo. La maggior parte dei fusi possiede due tipi di innervazione afferente: una primaria e una secondaria. I prolungamenti centrifughi dei neuroni afferenti primari terminano come fibre anulospirali intorno alla regione equatoriale nucleata sia delle fibre con sacco nucleare che di quelle con catena nucleare. I prolungamenti periferici dei neuroni afferenti secondari terminano come fibre a fiorame nella regione vicino a quella equatoriale delle fibre con catena nucleare. I terminali anulospirali hanno una soglia molto più bassa di quelli a fiorame; infatti per attivarli è sufficiente un allungamento del muscolo di pochi millimetri. I neuroni afferenti primari segnalano le variazioni di lunghezza del muscolo con una frequenza di scarica che è direttamente proporzionale alla velocità della variazione in lunghezza del muscolo ed è detta risposta fasica; esse inoltre segnalano l'entità dell'allungamento raggiunto e mantenuto dal muscolo con una frequenza di scarica appropriata, ma sempre minore di quella tipica della risposta fasica, questa è detta risposta tonica. I neuroni afferenti secondari segnalano solo gli allungamenti tonici del muscolo. Le regioni equatoriali dei due tipi di fibre muscolari intrafusali rispondono in modo diverso allo stiramento del fuso, quelle con sacco nucleare rispondono principalmente alle variazioni rapide di lunghezza del muscolo, mentre quelle con catena nucleare rispondono principalmente a un allungamento del muscolo costante e mantenuto. Dunque risulta che i terminali anulospirali, che entrano in rapporto con entrambi i tipi di fibre muscolari intrafusali, segnalano sia gli allungamenti fascici che quelli tonici del muscolo e i terminali a fiorame, principalmente connessi con le fibre intrafusali con catena nucleare, segnalano solo gli allungamenti tonici. Il neurone afferente primario quando è eccitato dalla deformazione meccanica dei suoi terminali anulospirali, scarica, per mezzo di un riflesso monosinaptico, sui motoneuroni  $\alpha$ , deputati a innervare il muscolo in cui il fuso è contenuto, inducendo così una contrazione appena sufficiente ad annullare lo stiramento del fuso. Durante ogni contrazione muscolare è essenziale però che non solo sia attivato un determinato

muscolo, ma che venga opportunamente modificata l'attività di tutti i gruppi muscolari agenti su quella determinata articolazione: i muscoli sinergici devono sostenere l'azione del muscolo che si è contratto per primo i muscoli antagonisti devono rilasciarsi. I collaterali della fibra afferente primaria, tramite interneuroni eccitatori, attivano in moto neuroni  $\alpha$ , deputati a innervare i muscoli sinergici e tramite interneuroni inibitori, spengono l'attività dei motoneuroni  $\alpha$  che innervano i muscoli antagonisti (inibizione reciproca). I neuroni afferenti primari sono eccitati dagli allungamenti sia fasici che tonici di un muscolo. Un esempio di risposta fisico-tonica mediata dai neuroni afferenti primari è l'aggiustamento automatico di un muscolo a un aumento del carico. Nell'innervazione afferente secondaria l'eccitazione dei neuroni secondari, tramite archi riflessi che sempre contengono interneuroni eccitatori e inibitori intercalati, induce la contrazione dei muscoli flessori agenti su una determinata articolazione, indipendentemente dal tipo di muscolo in cui il fuso è contenuto. Visto che l'eccitazione dei neuroni afferenti primari determina la contrazione del muscolo in cui il fuso è contenuto, ne deriva che il muscolo estensore si contrarrà nonostante l'autoinibizione. L'eccitazione da allungamento tonico delle fibre a fiorame induce però la contrazione dei muscoli flessori, ne risulta pertanto una contemporanea contrazione dei muscoli flessori estensori agenti su una determinata articolazione. Questo meccanismo, che tende a bloccare l'articolazione, è di particolare importanza a livello dei muscoli antigravitari (Banks, 2015).

### **1.4.3 L'innervazione efferente**

Per quanto concerne l'innervazione efferente, le fibre muscolari intrafusali sono innervate dai motoneuroni  $\gamma$ , i cui terminali assonici prendono rapporto con le estremità polari contrattili delle fibre muscolari intrafusali stesse. Ogni fuso riceve da dieci a quindici fibre efferenti. L'impulso originato dai motoneuroni  $\gamma$  induce la contrazione delle porzioni polari contrattili delle fibre muscolari intrafusali. Dato che quest'ultime sono connesse con entrambe le loro estremità, o con la superficie interna della capsula fusale o con l'endomisio, l'accorciamento delle porzioni contrattili delle fibre intrafusali provoca lo stiramento della regione equatoriale nucleata delle fibre stesse. I terminali afferenti vengono pertanto attivati come

durante l'allungamento dell'intero muscolo. Esistono due tipi di neuroni  $\gamma$ , distinti in fasici e tonici. I neuroni  $\gamma$  fasici terminano con piccole placche motrici a livello delle porzioni polari. I fusi neuromuscolari ricevono fibre collaterali dei motoneuroni  $\alpha$ ; queste fibre, dette  $\beta$ , terminano con vere e proprie placche motrici a livello delle estremità extra capsulari delle fibre muscolari intrafusali con sacco nucleare. I motoneuroni  $\gamma$ , determinano la contrazione delle porzioni polari contrattili delle fibre muscolari intrafusali e pongono il fuso a un livello opportuno di scarica indipendente dalla lunghezza assoluta del muscolo. In particolare abbassano la soglia del fuso, rendendolo più sensibile. In un muscolo a riposo l'innervazione dei suoi fusi mantiene una scarica tonica di bassa frequenza dei neuroni afferenti primari. Se il segmento corporeo è posto passivamente in una posizione tale per cui il muscolo risulta accorciato, la scarica fusale tonica primaria cessa, il che si riflette in una netta diminuzione del tono muscolare e conseguentemente della capacità contrattile del muscolo. Subito dopo però, la scarica fusale tonica riprende con una frequenza pari a quella originale di riposo e si restaura un adeguato tono muscolare e una normale attività contrattile del muscolo. Questo fenomeno è dovuto a un aumento della scarica dei motoneuroni  $\gamma$ , che ristabilisce la primitiva frequenza della scarica fusale primaria tonica indipendentemente dall'accorciamento passivo del muscolo. Viceversa avviene in caso di allungamento passivo del muscolo (Banks, 1994).

I segnali raccolti dai fusi neuromuscolari intervengono dunque nel mantenimento del tono muscolare (anche nei muscoli in completo riposo un certo numero di fibrocellule è mantenute in contrazione da scariche asincrone di piccoli pools di neuroni motori somatici  $\alpha$ ) e nei riflessi miotattici (l'ipotonia o l'allungamento di un muscolo determinano in via riflessa l'aumento del tono o la contrazione del muscolo stesso) (Kroger, 2021).

#### **1.4.4 Organi tendinei del Golgi**

Tra i propriocettori specifici, oltre ai fusi neuromuscolari, sono presenti anche gli organi tendinei di Golgi. Questi recettori sono localizzati in prossimità dei punti di giunzione tra tendini e muscoli. Sono organuli lunghi circa 0,5 mm e larghi 0,1, formati da piccoli fascetti di fibre di collagene circondati da una capsula



connettivale sottile. La capsula è formata da numerosi avvolgimenti formati da lembi citoplasmatici di tenociti ed è sostenuta esternamente da uno strato di fibre di collagene. Un prolungamento centrifugo di una cellula gangliare sensitiva attraversa la capsula e si ramifica tra i fascetti tendinei intracapsulari (Figura 8).

Gli organi muscolo-tendinei sono eccitati da fortissimi stiramenti passivi del muscolo, avendo una soglia molto più elevata di quella dei fusi neuromuscolari e una posizione del tutto diversa da quest'ultimi, ma anche da contrazioni molto forti, come spiega l'inibizione autogena. L'inibizione autogena è la capacità di un muscolo di rilassarsi mentre avviene una contrazione. In questo caso, sia lo stiramento che il rilassamento avvengono nello stesso muscolo. A causa dell'inibizione autogena, si verifica una riduzione dell'eccitabilità del muscolo contratto, gli organi tendinei di Golgi rilevano la tensione in eccesso del muscolo e rilasciano potenziali d'azione inibitori sui motoneuroni alfa innervanti il muscolo, che di tutta risposta, si rilassa. Questo è un meccanismo protettivo per preservare il muscolo da tensioni estreme e anche per evitare danni muscolari.

Gli organi muscolo-tendinei, tramite neuroni sensitivi gangliari, inviano al cervello in modo continuo informazioni sulle forze attivamente operanti all'interno dei muscoli, mediando archi riflessi sensitivo-motori di estrema importanza. L'eccitazione dell'organo muscolo-tendineo inibisce i motoneuroni  $\alpha$  e  $\gamma$  innervanti il muscolo in cui esso è contenuto e i muscoli sinergisti di quest'ultimo e attiva i motoneuroni  $\alpha$  e  $\gamma$  innervanti i muscoli antagonisti. Durante la contrazione muscolare volontaria, l'effetto inibitore degli organi muscolo-tendinei è in qualche modo compensato o annullato. Durante la contrazione fásica di un muscolo vengono inibiti gli interneuroni dei circuiti riflessi di inibizione autogena e quando cessa la contrazione muscolare volontaria il circuito di inibizione autogena si riattiva e ciò spiega l'immediato rilasciamento che fa seguito alla contrazione fásica di un muscolo (Moore, 1984).

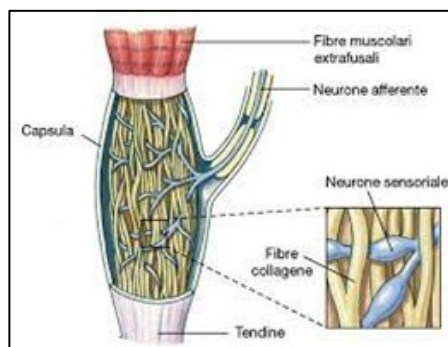


FIGURA 8

### 1.4.5 Rapporto tra fusi neuromuscolari, GTOs e stretching

Come affermato più volte in precedenza, lo stretching è una pratica utile nell'aumentare il ROM articolare, tuttavia è necessario sapere quali siano i rapporti che intercorrono tra fusi neuromuscolari, organi tendinei di Golgi e stretching volti al miglioramento del ROM. Una prima fondamentale distinzione è che lo stretching statico e il PNF inibiscono l'eccitabilità riflessa dei motoneuroni del muscolo soggetto ad allungamento, mentre lo stretching dinamico e quello balistico aumentano l'attività riflessa dei motoneuroni del muscolo soggetto ad allungamento. In particolare lo stretching statico, essendo eseguito con movimenti lenti, con manovre a bassa ampiezza e per un tempo relativamente lungo, non aumenta l'attività riflessa dei muscoli allungati, contrariamente allo stretching balistico, ma riduce la sua eccitabilità spinale. Inoltre si ha una riduzione del riflesso tendineo durante la manovra di allungamento, causata da una diminuzione della sensibilità del fuso, che si traduce in una riduzione dell'attività tonica riflessa. Manovre di grande ampiezza, come avviene nello stretching dinamico, inducono invece meccanismi inibitori postsinaptici spinali, che determinano una minore eccitazione sia dei neuroni corticali che dei motoneuroni alfa, con una conseguente riduzione della rigidità muscolare e un aumento della compliance del muscolo. Questi aspetti promuovono guadagni di ROM attraverso una combinazione di adattamenti neurali e meccanici. Negli ultimi anni il PNF è stato preferito come tecnica di stretching rispetto a quello statico o balistico, a causa della sua capacità di inibire ulteriormente il sistema nervoso. Una contrazione prima di uno stramento

statico consente un ulteriore aumento del ROM, rispetto allo stiramento senza una contrazione iniziale. Tuttavia la diminuzione dell'eccitabilità riflessa spinale, dura circa cinque secondi e ritorna immediatamente al suo livello di eccitabilità iniziale. Questa caratteristica suggerisce il PNF come metodologia per migliorare notevolmente il ROM (Guissard, Duchateau, 2006). Entrando più nello specifico, nello stretching statico le fibre intrafusali rilevano l'allungamento, questo comporta un aumento della frequenza di scarica lungo le fibre afferenti che, raggiunto il motoneurone alfa, innescano il riflesso miotatico e la conseguente contrazione del muscolo e inibizione reciproca dell'antagonista. Raggiunto il massimo ROM disponibile, diminuisce l'attività sinaptica eccitatoria dei fusi e l'intensità del riflesso miotatico, con un conseguente aumento del ROM. Nel PNF la contrazione agonista comporta un aumento della tensione al livello della giunzione muscolo tendinea, un maggiore allungamento degli organi tendinei di Golgi e un aumento della frequenza di scarica lungo le fibre afferenti Ib, mentre la contrazione antagonista comporta l'attivazione degli interneuroni Ia inibitori, che provoca il rilascio di potenziali postsinaptici inibitori. Questo comporta un maggior rilassamento e dunque un aumento del ROM (Behm et al, 2016). In conclusione si può affermare che l'allungamento muscolare è una strategia utile nell'aumentare il ROM in quanto riduce l'attività riflessa spinale e modula l'eccitabilità sinaptica a livello fisiologico (Thomas et al, 2018).

## **CAPITOLO 2: La tecnica di allungamento PNF**

### **2.1 Che cos'è il PNF**

Il PNF è l'acronimo delle parole inglesi "Proprioceptive Neuromuscular Facilitation" traducibili in Italiano come "Facilitazione Proprioceettiva Neuromuscolare".

Nella sua forma più semplice, questa tecnica di stretching è caratterizzata da quattro momenti principali: nel primo si raggiunge il massimo allungamento del muscolo in modo graduale e lento, nel secondo si esegue una contrazione isometrica del muscolo soggetto ad allungamento per circa quindici/venti secondi, nel terzo il muscolo viene rilasciato per circa cinque secondi, mentre nell'ultimo si il muscolo viene nuovamente allungato per almeno trenta secondi.

Questa tipologia di stretching è comunemente impiegata in protocolli di recupero ed in terapie di riabilitazione. Inoltre, nella maggior parte dei casi richiede l'intervento di una seconda persona. Le parti cruciali di questo protocollo sono il secondo e il quarto punto. Infatti, la contrazione muscolare isometrica del muscolo allungato induce uno stimolo molto intenso, mentre il successivo allungamento provoca un rilasciamento che permette un'ulteriore distensibilità del muscolo. Gli stimoli indotti da questi due momenti principali inducono, con il passare delle sedute, adattamenti che portano al miglioramento della flessibilità muscolare (Sharman et al, 2006).

### **2.2 Origini del PNF**

La tecnica del PNF venne sviluppata intorno al 1946 dal neurofisiologo Herman Kabat. Tuttavia già all'inizio del 1900, le scoperte di Sir Charles Sherrington che per primo definì i concetti di facilitazione e inibizione neuromuscolare, contribuirono proprio allo sviluppo della tecnica di allungamento PNF da parte di Kabat.

Per spiegare questi concetti, Sherrington partì dalla reazione di allungamento e dalla reazione di accorciamento del muscolo estensore del ginocchio. La reazione di allungamento avviene quando il muscolo tonico è allungato e assume, a causa del

suo arco propriocettivo, una nuova lunghezza tonica che è circa quella a cui è stato allungato. Viceversa, nella reazione di accorciamento, quando nella preparazione tonica dell'estensore del ginocchio il muscolo si accorcia, passivamente o per contrazione attiva del muscolo stesso, il muscolo mantiene circa la lunghezza accorciata che gli è stata data. Tuttavia questi sono termini degli anni 30', nel linguaggio contemporaneo e scientifico si fa invece riferimento al riflesso da stiramento e al riflesso da stiramento inverso. Successivamente Sherrington, partendo da questi due concetti, studiò le differenze che stavano alla base della soppressione degli impulsi nervosi afferenti rispetto alla sua integrità nel muscolo. In particolare il muscolo, quando era deafferenziato a causa della rottura delle fibre afferenti, reagiva in modo diverso a quando aveva il nervo afferente integro. Tra queste differenze c'era che il muscolo era privo di tono e non lasciava traccia né di reazione di allungamento né di reazione di accorciamento, che la contrazione riflessa, eccitata da qualsiasi fonte, invece di essere prolungata cessava immediatamente al ritiro dello stimolo e il muscolo cadeva subito in un completo rilassamento, infine, nel muscolo deafferenziato una contrazione riflessa non poteva essere interrotta da un allungamento forzato del muscolo contraente, come nel caso dei muscoli ancora in possesso delle fibre nervose afferenti. Ciò indica, che una funzione dei riflessi propriocettivi era quella di produrre una reazione compensatoria che interrompesse un riflesso e ripristinasse la condizione esistente prima che il riflesso si instaurasse. Studiando il riflesso propriocettivo, Sherrington scoprì che questo produceva quattro reazioni, due che reagivano sul muscolo stesso e due sul muscolo antagonista. Per una coppia di questi riflessi lo stimolo adeguato era l'accorciamento, passivo o attivo del muscolo; questo stimolo induceva l'accorciamento della lunghezza tonica del muscolo stesso e il rilassamento riflesso del muscolo antagonista. Per l'altra coppia lo stimolo adeguato era l'allungamento del muscolo tonico, questo provocava l'allungamento riflesso del muscolo stesso e la contrazione riflessa del muscolo antagonista (Sherrington, 1909).

Basandosi sulle evidenze emerse da questi studi pionieristici che Kabat, qualche anno dopo, ideò la tecnica del PNF (Kabat, 1947).

Inizialmente, le tecniche PNF erano utilizzate per aiutare la riabilitazione dei clienti con spasticità e paralisi facilitando l'allungamento muscolare attraverso

meccanismi inibitori e migliorando la forza muscolare attraverso un aumento dei meccanismi eccitatori che influenzavano il muscolo bersaglio (Knott, 1952).

Un esempio è lo studio condotto da Kabat et al, (1954), dove si chiariva l'efficacia della terapia di facilitazione propriocettiva per il trattamento di persone affette da paralisi. Kabat parte dalla convinzione che bisogna riconoscere che la terapia è necessaria in una persona affetta da paralisi, non solo per guarirla ma anche per impedirgli di peggiorare. La prolungata inattività forzata, infatti, si traduce in un grave declino della funzionalità della persona. I meccanismi del sistema nervoso centrale, come quelli motori, si deteriorano con il disuso, con conseguente diminuzione del controllo e del coordinamento, ed aumento del tremore e della faticabilità.

L'attività del sistema neuromuscolare è dunque essenziale per prevenire o superare gli effetti indesiderati dell'inattività. Uno degli obiettivi del programma riabilitativo deve essere non solo quello di prevenire o eliminare gli effetti del disuso, ma anche quello di garantire che il deterioramento da inattività non si verifichi in futuro dopo che il paziente ha interrotto il trattamento. L'attività del meccanismo neuromuscolare è un importante procedura terapeutica nel ripristino della funzionalità nella paralisi. Oltre a produrre ipertrofia nei muscoli, l'attività neuromuscolare migliora la resistenza, il controllo volontario e la coordinazione diminuendo la resistenza sinaptica, inoltre porta ad un miglioramento della circolazione, della gamma di movimento articolare e della salute generale. Entrando nello specifico della paralisi, Kabat sostiene che nelle persone affette da lesioni neuronali, gli assoni che collegano le cellule ai muscoli siano intatti, la carenza è nel percorso della trasmissione del segnale al midollo spinale. L'attività terapeutica del meccanismo neuromuscolare consiste nel creare percorsi sostitutivi, riducendo la resistenza sinaptica ed eccitando i neuroni dormienti.

Nel caso invece di lesione al motoneurone si produce spasticità. La spasticità si basa su allungamenti iperattivi e riflessi posturali che non vengono più controllati degli impulsi del cervello. In questo caso l'attività neuromuscolare agisce attraverso una gamma di movimento attiva degli antagonisti e la reciproca inibizione degli agonisti, man mano che si verifica un rilassamento dei muscoli spastici più si

verifica un miglioramento maggiore. Per Kabat il trattamento terapeutico, sia nel caso di soggetti affetti da paralisi che nel caso di soggetti affetti da spasticità, doveva essere ripetuto, in modo attivo, durante tutto l'arco della giornata. Il movimento passivo infatti non verifica alcuna contrazione delle unità motorie, mentre il movimento attivo ripetuto eccita, non solo le cellule che hanno una bassa soglia di eccitazione, ma tutte le unità motorie. Il metodo per aumentare l'eccitazione del motoneurone è l'applicazione della resistenza. Applicando la massima resistenza aumenta infatti il potenziale d'azione e anche il numero di scariche emesse dalle unità motorie. Partendo dunque da questo concetto, Kabat spiega l'importanza della fase di contrazione nella tecnica del PNF, la resistenza offerta infatti stimola la propriocettività afferente del sistema nervoso centrale, aumentando l'eccitazione nei centri motori e dunque nelle unità motorie aggiuntive. Kabat conclude sottolineando che le tecniche di facilitazione propriocettiva neuromuscolare possono non solo essere utili nel ripristinare la forza e la resistenza nei muscoli paralizzati, ma anche per accelerare l'allenamento delle capacità motorie, inoltre tale tecnica può essere utilizzata non solo nella riabilitazione delle persone con paralisi ma anche in condizioni non paralitiche per aumentare il range di movimento, la potenza e la resistenza dei muscoli e la riduzione del dolore. Successivamente si ebbe un uso più terapeutico del PNF, per clienti con condizioni diverse da quelle di origine neurologica (Voss et al, 1953).

Tuttora il PNF viene ampiamente impiegato in ambito riabilitativo. Un esempio è lo studio condotto da Daniel (2017), il cui scopo era quello di valutare gli effetti della terapia ad ultrasuoni (UT), UT con taping, allenamento di facilitazione neuromuscolare propriocettiva (PNF) e allenamento PNF con taping nel trattamento e riabilitazione di lesioni da distorsione alla caviglia. Cinquanta soggetti con distorsione alla caviglia sono stati suddivisi in cinque gruppi composti da dieci soggetti ciascuno. Il primo gruppo era sottoposto a UT, il secondo a UT con taping, il terzo ad allenamento PNF, il quarto ad allenamento PNF più taping, mentre il quinto veniva considerato come il gruppo di controllo e non riceveva alcun trattamento specializzato. Ogni trattamento aveva la durata di quindici giorni consecutivi e tutti i soggetti venivano testati prima del trattamento e al completamento di questo. Per quanto riguarda l'allenamento PNF, si eseguiva un

allungamento statico dei muscoli flessori plantari della caviglia per trenta secondi, dopodiché si eseguiva una contrazione isometrica di cinque secondi e successivamente un'ulteriore allungamento di trenta secondi. Le ripetizioni totali erano quattro con un recupero di trenta secondi tra di esse. La media pre-test sul gonfiore della lesione da distorsione alla caviglia del gruppo UT era 66,3, del gruppo ultrasuoni più taping era 66,75, del gruppo PNF era 65,75, del gruppo PNF più taping era 66,35 e del gruppo di controllo era 65,75. La media post-test del gruppo UT era 64,2, del gruppo UT più taping era 64,2, del gruppo PNF era 65,5, del gruppo PNF più taping era 64,2 e del gruppo di controllo era 64,55. I risultati hanno dunque dimostrato che l'allungamento PNF e l'allungamento PNF più taping si sono rivelati più vantaggiosi nel trattamento e nella riabilitazione di lesioni da distorsione alla caviglia.

Come si è visto, anche al giorno d'oggi il PNF viene utilizzata come tecnica in un programma terapeutico o riabilitativo, tuttavia è usata anche in programmi di forza, di resistenza e di flessibilità, con effetti più o meno positivi.

### **2.3 PNF, flessibilità e ROM articolare**

Arrivati a questo punto, è fondamentale capire quale tecnica di stretching (PNF o stretching statico) comporti maggiori benefici sulla flessibilità dei soggetti. Come anticipato nel capitolo precedente, esistono diverse tecniche di stretching, tra cui quello statico, dinamico, balistico e il PNF.

Avendo lo stretching PNF, all'interno del suo protocollo di esecuzione, una fase di stretching statico, è fondamentale capire quale delle due tecniche incida di più sulla flessibilità dei soggetti e dunque sul conseguente aumento del ROM.

Nello studio condotto da O'Hora et al (2011), lo scopo era quello di valutare l'efficacia dello stretching statico e del PNF sulla lunghezza dei muscoli posteriori della coscia dopo una singola sessione. Quarantacinque soggetti sani (21-35 anni), sono stati assegnati in modo casuale a uno dei due gruppi di stretching (statico vs PNF) o ad un gruppo di controllo. Prima ed in seguito ad ogni seduta di stretching, è stato determinato il ROM del tendine del ginocchio attraverso un range di estensione passiva del ginocchio. Nel protocollo di stretching statico, è stato



mantenuto un allungamento fino al punto di discomfort (POD), in modo costante per trenta secondi. Nel protocollo PNF è stato utilizzato lo stesso metodo del gruppo di stretching statico per ottenere l'estensione completa del ginocchio, in un secondo momento i soggetti dovevano contrarre i muscoli posteriori della coscia flettendo il ginocchio contro una resistenza, applicata da un operatore. La contrazione veniva mantenuta per un totale di sei secondi e dopo aver esteso passivamente il ginocchio, è stato misurato il ROM del tendine. È stato riscontrato un aumento significativo dell'estensione del ginocchio per entrambi i gruppi di intervento dopo un singolo allungamento (gruppo SS=+7,53°, P< 0,01 e gruppo PNF=+11,80°, P<0,01). Entrambi gli interventi hanno inoltre determinato un aumento significativamente maggiore rispetto al gruppo di controllo dell'estensione del ginocchio (P< 0,01). Tuttavia il gruppo PNF ha dimostrato guadagni maggiori nell'estensione del ginocchio rispetto al gruppo di stretching statico (differenza media di 4,27°, P<0,01). I risultati hanno dimostrato dunque che in una singola sessione di stretching l'allungamento PNF è stato più efficace rispetto allo SS, per i muscoli posteriori della coscia, portando dunque alla conclusione che il PNF porta ad una maggiore flessibilità rispetto allo stretching statico.

Nella revisione ad opera di Lempke et al del 2018, la domanda sperimentale era focalizzata nel scoprire se il PNF era più efficace dello stretching statico per aumentare l'estensibilità dei muscoli posteriori della coscia attraverso un aumento del ROM dell'anca o un aumento dell'angolo di estensione del ginocchio (KEA) in una popolazione fisicamente attiva. Tutti e cinque gli studi analizzati erano studi di controllo randomizzati che esaminavano la mobilità del gruppo dei muscoli posteriori della coscia. Gli studi misuravano il ROM dei muscoli posteriori della coscia in vari modi. Tre studi misuravano la KEA attiva, uno studio misurava la KEA passiva e uno studio misurava il ROM dell'anca. In particolare, tre studi utilizzavano tecniche di stretching PNF hold-relax, uno studio utilizzava tecniche di stretching PNF contract-relax e l'ultimo studio utilizzava una tecnica di stretching PNF hold-relax auto-rilassata monitorata da un ricercatore. Gli studi esaminavano partecipanti di età compresa tra i diciannove e i settantanove anni e tre studi utilizzavano un esercizio di riscaldamento. Quattro studi misuravano l'estensibilità per estensione del ginocchio mentre uno utilizzava il ROM dell'anca

come misura. Tre studi includevano un gruppo di controllo oltre ad uno di PNF e ad uno di stretching statico. Dei cinque studi, uno studio riscontrava miglioramenti maggiori utilizzando il PNF rispetto allo stretching statico per aumentare la flessione dell'anca e i restanti quattro non riscontravano differenze significative tra il PNF e lo stretching statico nell'aumento dell'estensibilità muscolare, KEA attivo o ROM dell'anca. In conclusione si è dimostrato che il PNF non era più efficace nell'aumentare l'estensibilità dei muscoli posteriori della coscia rispetto allo stretching statico, sottolineando come siano necessarie ulteriori ricerche per giungere ad una risposta definitiva. Possiamo dunque affermare che lo stretching PNF porta ad un effettivo aumento del ROM articolare ( $P < 0,05$ ), anche se i protocolli di stretching statico mostrano guadagni maggiori rispetto a quelli dinamici o PNF, nel lungo periodo (Figura 9) (Thomas et al, 2018).

Stretch type	N° of records	Mean ROM $\pm$ SD Variation	95% CI	ES
Active	13	18.16 $\pm$ 4.82	13.34 - 22.98	0.91
Ballistic	4	11.68 $\pm$ 1.20	10.47 - 12.88	0.99
Passive	20	17.4 $\pm$ 4.87	12.53 - 22.27	0.86
PNF	10	15.27 $\pm$ 5.81	9.46 - 21.08	0.88
Static	41	19.47 $\pm$ 5.79	13.68 - 25.26	0.75

FIGURA 9. Tabella tratta da Thomas et al, 2018.

### 2.3.1 PNF e forza

Diversi autori hanno suggerito che lo stretching prima dell'esercizio può compromettere temporaneamente la capacità di un muscolo di produrre forza. È possibile che questo effetto a breve termine dello stretching sulla produzione di forza muscolare possa influenzare l'esecuzione di vari esercizi di potenziamento riabilitativo. Ancora più importante, lo stretching pre-esercizio può influenzare negativamente i risultati ottenuti dalle valutazioni di forza muscolare e, a sua volta, influenzare le decisioni del medico in merito alla progressione della riabilitazione o al ritorno al gioco.

Sono state sviluppate due ipotesi primarie per spiegare questo deficit di forza indotto dallo stretching: fattori meccanici, come i cambiamenti nella rigidità muscolare e fattori neuromuscolari, come le strategie di controllo motorio alterate.

Nello studio condotto da Marek et al (2005) lo scopo era quello di esaminare gli effetti a breve termine dello stretching statico e del PNF su, potenza media (MP), range di movimento attivo (AROM), range di movimento passivo (PROM), attività elettromiografica (EMG) ed ampiezza meccanomiografica (MMG) dei muscoli del vasto laterale e retto femorale durante estensioni isocinetiche concentriche massime delle gambe a 60 e 300° s in dieci donne (età  $23 \pm 3$  anni) e nove uomini (età  $21 \pm 3$  anni) sani. Gli allungamenti PNF utilizzavano una tecnica modificata in cui i soggetti mantenevano la massima tensione isometrica degli estensori delle gambe contro una resistenza manuale (applicata dallo sperimentatore) per cinque secondi, seguita da un allungamento passivo di trenta secondi. Quattro ripetizioni di ogni esercizio di stretching (statico o PNF) venivano mantenute per trenta secondi in un punto di disagio ma non di dolore. I risultati hanno dimostrato che lo stretching di facilitazione neuromuscolare statica e propriocettiva aveva ridotto MP ( $p = .041$ ) e ampiezza EMG ( $p = .013$ ) da pre-allungamento al post-stretching a 60 e 300° s ( $p < .05$ ). L'AROM ( $p < .001$ ) e il PROM ( $p = .001$ ) erano aumentati a causa dello stretching di facilitazione neuromuscolare statica e propriocettiva. In conclusione si può affermare che lo stretching di facilitazione neuromuscolare statica e propriocettiva ha causato deficit simili in termini di forza, potenza e attivazione muscolare sia a velocità lenta (60° s) che veloce (300° s). Le dimensioni dell'effetto, tuttavia, corrispondenti a questi cambiamenti indotti dallo stretching erano piccole, il che suggerisce la necessità per i professionisti di considerare un rapporto rischio-beneficio quando incorporano lo stretching di facilitazione neuromuscolare statico o propriocettivo. Ad avvalorare questa tesi è lo studio condotto da Bradley et al (2007), il cui scopo era quello di valutare gli effetti dello stretching statico e di facilitazione neuromuscolare propriocettiva sulle prestazioni di potenza nel salto verticale in diciotto studenti universitari maschi. Ogni tipologia di stretching aveva una durata di dieci minuti e prevedeva l'allungamento dei principali muscoli coinvolti nel salto verticale, quali i quadricipiti, i muscoli posteriori della coscia e i flessori plantari, gli allungamenti venivano poi ripetuti per un totale di quattro volte

per entrambe le gambe.. Nel protocollo PNF il muscolo agonista veniva passivamente allungato fino al punto di disagio, dopodiché il soggetto eseguiva una contrazione isometrica volontaria massima di cinque secondi del gruppo muscolare antagonista. Infine il ricercatore allungava passivamente i muscoli agonisti del soggetto per trenta secondi, con un recupero di trenta secondi tra le serie. I risultati hanno dimostrato che lo stretching statico e il PNF, non avevano influenzato l'altezza del salto nel periodo pre-stretching, tuttavia questa era diminuita nel periodo post-stretching, sia per quanto riguarda l'allungamento statico (4,0%  $P < 0,05$ ), sia per quanto riguarda il PNF (5,1%  $P < 0,01$ ). Le prestazioni nel salto verticale erano dunque diminuite di circa il 5% dopo lo stretching statico e il PNF, in quanto questi diminuivano la rigidità nell'unità muscolo-tendinea compromettendo la produzione di forza nei muscoli. In conclusione si può affermare che, nonostante il PNF sia una tecnica che porta grandi benefici nell'aumento del ROM articolare, questo non si può altrettanto dire per i programmi di forza, arrivando dunque alla conclusione che tale tecnica non dovrebbe essere utilizzata all'interno di una routine che preveda successivamente una prestazione di forza.

### **2.3.2 PNF e resistenza**

Per quanto concerne la resistenza, è importante capire quali siano gli effetti del PNF sull'economia di corsa. Nonostante i pochi studi presenti in letteratura, si evince che i risultati sono contrastanti, infatti sono presenti studi che sostengono che tale metodica non aiuti a migliorare l'economia di corsa, mentre per altri il PNF è utile a cambiare la meccanica di corsa e dunque la sua economia. Nello studio di Godges et al (1989) lo scopo era quello di confrontare due tecniche di stretching per determinare quale era più efficace per migliorare l'economia dell'andatura, la gamma di movimento dell'anca e per valutare l'effetto di queste tecniche sulla deambulazione. Sette maschi dai diciotto ai ventidue anni sono stati reclutati come soggetti.

Il ciclo di stretching statico veniva ripetuto tre volte risultando un tempo di allungamento totale di sei minuti intervallato da due periodi di due minuti senza allungamento e portando quindi la procedura di stretching statico per una singola

coscia ad un tempo totale di dieci minuti. La procedura STM/PNF per i flessori d'anca, coinvolgeva un minuto di PNF utilizzando l'unilateralità degli arti inferiori attraverso uno schema generale di estensione/abduzione/rotazione interna. Questo era seguito da otto minuti di STM applicato ai flessori d'anca e poi un altro minuto di PNF.

I risultati hanno dimostrato che le procedure di stretching statico avevano portato a miglioramenti significativi del ROM in estensione d'anca ( $p < 0,01$ ) e flessione d'anca ( $p < 0,01$ ). L'STM/PNF aveva portato ad un miglioramento del ROM in estensione d'anca ( $p < 0,01$ ) e flessione d'anca ( $p < 0,05$ ). C'era stato inoltre un significativo miglioramento dell'economia dell'andatura al 40% del VO2 max ( $p < 0,05$ ) al 60% del VO2 max ( $p < 0,05$ ) e all'80% del VO2 max ( $p < 0,01$ ) seguendo la procedura di stretching statico. La procedura PNF aveva invece migliorato l'economia di corsa solo a un carico di lavoro al 60% del VO2 max ( $p < 0,05$ ). I risultati suggeriscono dunque che un singolo allenamento di stretching statico o STM/PNF era più efficace per migliorare il ROM dell'anca, ma lo stretching statico era più efficace nel migliorare l'economia dell'andatura.

Nello studio condotto da Caplan et al (2009) lo scopo era quello di determinare l'influenza di due metodi di allungamento (facilitazione neuromuscolare statica e propriocettiva) sulla corsa ad alta velocità. Diciotto giocatori di rugby sono stati valutati per la massima velocità di sprint e sono stati assegnati in modo casuale a due gruppi di allenamento elasticizzato: PNF o statico. Ogni gruppo allenava i muscoli posteriori della coscia per cinque settimane e veniva poi valutato in flessione d'anca (HF), estensione del ginocchio (KE), lunghezza del passo (SL), tasso di falcata (SR) e tempo di contatto (t c).

Per entrambi i metodi di stretching venivano eseguite tre ripetizioni di ogni allungamento, mantenendolo per dieci secondi e con un riposo di dieci secondi tra gli allungamenti.

I risultati hanno dimostrato come l'allenamento di allungamento portava a guadagni ( $p < 0,05$ ) in HF per i gruppi di allungamento statico (4,9%) e PNF (7,6%). Sono state riscontrate riduzioni nei gruppi KE ( $p < 0,05$ ) per SS (1,0%) e PNF (1,6%). Sono stati invece riscontrati aumenti di SL ( $p < 0,05$ ) per SS (7,1%) e PNF (9,1%)

e una concomitante riduzione di SR ( $p < 0,05$ ) per SS (1,9%) e PNF (4,3%). Non sono stati osservati cambiamenti in tc in entrambi i gruppi. In conclusione, si può affermare, che sia l'allenamento SS che quello PNF avevano migliorato l'HF ROM e la meccanica di corsa durante la corsa da alta velocità. Questi risultati suggeriscono dunque che l'allenamento di allungamento intrapreso alla fine dell'allenamento regolare è efficace nel cambiare la meccanica delle corsa.

### **2.3.3 Indicazioni PNF**

In quanto tecnica di allungamento più complessa rispetto al comune stretching statico o dinamico, il PNF necessita di istruzioni ben precise. Qui di seguito sono riportate alcune delle principali linee guida raccomandate per il suo corretto ed efficace svolgimento (Rowlands et al, 2003).

- Non eseguire più di quattro ripetizioni per gruppo muscolare; è raccomandato infatti iniziare con due ripetizioni per gruppo muscolare.
- Il recupero tra ogni seduta deve essere tra le trenta-quarantotto ore, quindi questa metodica non deve essere utilizzata più di due/tre volte alla settimana.
- È necessario far precedere la seduta di PNF da un adeguato riscaldamento, come se si preparasse un allenamento con i pesi.

È necessario però far precedere l'utilizzo di questa tecnica da un periodo (che va da uno a tre mesi) di esercizi di potenziamento dinamici con movimenti a range articolari ampi, con un elevato numero di ripetizioni a basso carico. Questo è un prerequisito indispensabile al fine di applicare il PNF senza incorrere in infortuni. In secondo luogo è necessario essere seguiti, almeno le prime volte, da personale qualificato per il rischio di infortuni nel caso si effettuassero tensioni muscolari in maniera scorretta. In terzo luogo, dal punto di vista pratico, non è facile l'applicazione del protocollo per tutti i distretti muscolari, esiste infatti una certa difficoltà nel creare resistenze esterne adeguate per ogni gruppo muscolare (Rowlands et al, 2003).

La metodica del PNF è tuttavia applicabile in ambiti abbastanza ristretti, in particolare può essere utile a soggetti che, per motivi gravi (interventi chirurgici, immobilizzazione per periodi medio-lunghi) hanno compromesso l'estensibilità di alcuni gruppi muscolari, atleti in cui è richiesta un'estensibilità superiore alla norma, come praticanti di sport di combattimento o come nell'aerobica; in questo caso dopo un periodo preparatorio di potenziamento con esercizi dinamici e dopo aver appreso correttamente le regole di questo protocollo, è possibile effettuare gli esercizi anche da soli, a esclusione di quelli per cui è necessario l'aiuto di un compagno e nel body building e in altri sport in cui la preparazione specifica può compromettere (con un eccessivo accorciamento del ventre muscolare) l'estensibilità muscolare. In questi casi è consigliabile l'utilizzo del PNF nella fase di preparazione generale, cioè lontano dalle competizioni. Nella ginnastica (artistica e ritmica), in cui viene richiesta un'elevata estensibilità muscolare, non è necessario invece l'utilizzo del PNF; questo perché la specializzazione già in età giovanile (fase particolarmente sensibile all'incremento dell'estensibilità) permette un'adequata sollecitazione già con gli esercizi dinamici e statici (Nelson et al, 2005).

## **2.4 Basi anatomiche del PNF**

Il PNF, come tecnica di stretching, presenta due momenti fondamentali per la sua esecuzione: l'allungamento e la contrazione.

### **2.4.1 Funzione fusi neuromuscolari e organi tendinei di Golgi**

Come descritto nel capitolo 1 i muscoli sono provvisti di diversi tipi di recettori utili a regolare il loro funzionamento e a prevenire eventuali traumi. Tra di essi vi sono propriocettori specifici come i fusi neuromuscolari e gli organi muscolo-tendinei di Golgi.

I fusi neuromuscolari sono dei recettori meccanici, la cui funzione è di segnalare quando il muscolo si allunga troppo correndo il rischio di danneggiarsi. Controllati dal sistema nervoso attraverso terminazioni nervose afferenti e efferenti, la loro attivazione provoca una contrazione del muscolo antagonista, bloccando così di fatto il movimento. L'innervazione del fuso neuromuscolare è indispensabile per

l'attuazione di una contrazione efficace e nei riflessi miotattici (l'ipotonia o l'allungamento di un muscolo determinano in via riflessa l'aumento del tono o la contrazione del muscolo stesso) (Kiehn, 2016).

Gli organi tendinei di Golgi si attivano quando la tensione sviluppata dal muscolo scheletrico è particolarmente elevata reagendo con una decontrazione dei muscoli interessati. Quando il muscolo si contrae, i tendini agiscono da componente elastica stirandosi durante la fase isometrica della contrazione. La contrazione sottopone a una certa trazione le fibre di collagene nell'organo di Golgi, determinando una pressione sulle terminazioni sensoriali dei neuroni afferenti e causando la loro attivazione. L'attivazione dell'organo tendineo di Golgi eccita gli interneuroni inibitori nel midollo spinale, che a loro volta inibiscono i motoneuroni alfa che innervano il muscolo, causando una diminuzione della contrazione muscolare o una sua cessazione. Nella maggior parte dei casi, quando la forza di contrazione aumenta, questo riflesso rallenta la contrazione muscolare, mentre in altri casi gli organi tendinei di Golgi agiscono impedendo l'eccessiva contrazione che potrebbe danneggiare il muscolo.

La reazione che scaturisce quando i muscoli si contraggono, a causa dell'azione riflessa dell'allungamento, produce tensione nel punto in cui il muscolo è connesso al tendine, dove si trova l'organo muscolo-tendineo di Golgi, il quale registra il cambiamento di tensione e invia segnali al sistema nervoso centrale attraverso il sistema nervoso periferico. Quando supera una determinata soglia, questa tensione scatena la reazione dell'allungamento che inibisce i muscoli, portandoli dalla contrazione al rilassamento. Questa funzione alla base dell'organo muscolo-tendineo di Golgi aiuta a proteggere muscoli, tendini e legamenti dal rischio di contrarre lesioni (Moore, 1984).

#### **2.4.2 Struttura del muscolo**

Come spiegato in precedenza il secondo aspetto fondamentale del PNF è la contrazione, tuttavia per spiegare il funzionamento di questo aspetto è necessario comprendere la struttura anatomica del muscolo. In ciascun muscolo scheletrico sono presenti tre strati concentrici di tessuto connettivo: un epimisio esterno, un perimisio intermedio e un endomisio interno. A ciascuna estremità del muscolo, le



fibre di collagene di epimisio, perimisio e endomisio convergono in un tendine fibroso che permette l'attacco del muscolo alle ossa, alla cute o ad altri muscoli. Le fibre dei tendini sono a loro volta strettamente connesse con il periostio e la matrice delle ossa cui sono connessi; pertanto, ogni contrazione muscolare esercita una trazione sul rispettivo tendine e di conseguenza sull'osso su cui questo si inserisce. I muscoli scheletrici vengono spesso definiti muscoli volontari poiché la loro contrazione può essere controllata volontariamente dal sistema nervoso. La comunicazione chimica tra il terminale sinaptico di un neurone e una fibra muscolare scheletrica avviene in un sito definito giunzione neuromuscolare. Ogni fibra muscolare ha una sola giunzione neuromuscolare, solitamente ubicata circa a metà della sua lunghezza, a livello della quale il terminale sinaptico di un neurone è connesso alla placca motrice della fibra muscolare scheletrica. La contrazione muscolare richiede una enorme quantità di energia e una estesa rete vascolare fornisce l'ossigeno e i nutrienti necessari alla produzione di ATP nei muscoli scheletrici attivi. Raggiunto l'endomisio, le arterie danno vita ad una estesa rete di capillari che circonda ciascuna fibra muscolare. I capillari non hanno un decorso rettilineo, ma si avvolgono a spirale intorno alle fibre, ciò permette loro di adeguarsi alle variazioni di lunghezza della fibra muscolare (Lieber, 2002).

### **2.4.3 Struttura del sarcomero**

La membrana cellulare di una fibra muscolare scheletrica viene definita sarcolemma e il citoplasma sarcoplasma. Il sarcoplasma di una fibra muscolare scheletrica contiene da centinaia a migliaia di miofibrille, che, avendo la capacità di accorciarsi attivamente, rappresentano le formazioni responsabili della contrazione muscolare. Poiché le miofibrille sono ancorate al sarcolemma con entrambe le estremità, la loro contrazione provoca l'accorciamento dell'intera cellula. Intorno ad ogni miofibrilla vi è un rivestimento costituito da membrane del reticolo sarcoplasmatico, questo sistema di membrane è strettamente associato ai tubuli trasversi e svolge pertanto un ruolo fondamentale nel controllo della contrazione delle singole miofibrille. Le miofibrille sono costituite da fasci di miofilamenti che a loro volta sono formati da diversi tipi di proteine. Ciascuna proteina svolge una specifica funzione durante la contrazione e il rilasciamento di una fibra

muscolare. La miosina e l'actina sono le proteine contrattili, la tropomiosina e la troponina presenti nei miofilamenti sono proteine regolatrici, mentre la titina e la nebulina sono proteine accessorie. I filamenti spessi e i filamenti sottili che costituiscono una miofibrilla sono organizzati in sarcomeri. La disposizione dei filamenti spessi e sottili conferisce al sarcomero un aspetto striato, a bande. Poiché tutte le miofibrille sono disposte parallelamente all'asse maggiore della fibra muscolare e i sarcomeri sono posti uno di fianco all'altro, l'intera fibra muscolare ha un aspetto striato, dove le diverse bande corrispondono alle bande dei singoli sarcomeri (Figura 10). Ciascuna miofibrilla è costituita da una successione lineare di circa 10.000 sarcomeri, le più piccole unità funzionali delle fibre muscolari, in cui le interazioni tra i filamenti spessi e sottili sono responsabili della contrazione della fibra muscolare scheletrica. Un filamento sottile contiene anche le proteine associate tropomiosina e troponina. Le molecole di tropomiosina formano una catena che copre i siti attivi, prevenendo le interazioni actina-miosina. La troponina stabilizza invece la tropomiosina. Prima dell'inizio di ogni contrazione le molecole di troponina cambiano posizione, spostano le molecole di tropomiosina ed espongono i siti attivi.(Raig e Padron, 2004).

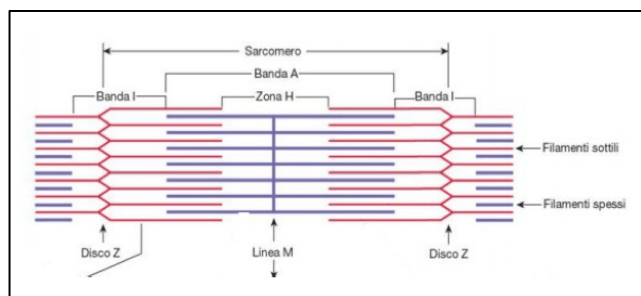


FIGURA 10

#### 2.4.4 Come avviene la contrazione

Una fibra muscolare che si contrae esercita una tensione e si accorcia, la contrazione è dunque il risultato delle interazioni tra filamenti sottili e spessi di ciascun sarcomero. Il processo di contrazione viene spiegato attraverso la teoria dello scivolamento dei filamenti. In primo luogo a livello della giunzione neuromuscolare

l'acetilcolina rilasciata dal terminale sinaptico si lega al recettore posto sul sarcolemma, ne consegue una variazione del potenziale transmembrana della fibra muscolare, che genera un potenziale d'azione che si propaga lungo i tubuli T. In secondo luogo il reticolo sarcoplasmatico rilascia gli ioni calcio accumulati, aumentando la concentrazione di calcio del sarcoplasma all'interno del sarcomero, gli ioni calcio si legano dunque alla troponina, provocando una variazione dell'orientamento del complesso troponina-tropomiosina che espone i siti attivi sul filamento di actina, dopodiché si formano dei legami a ponte tra miosina e actina. Quando la concentrazione degli ioni calcio ritorna ai livelli normali, il complesso troponina-tropomiosina ritorna in posizione originaria, coprendo i siti attivi e impedendo la formazione di ulteriori legami. In assenza di questi legami non si può verificare un ulteriore scivolamento dei filamenti e termina così la contrazione, si verifica dunque il rilasciamento muscolare, con la fibra che ritorna passivamente alla sua lunghezza a riposo (Eisenberg, 1985).

## **2.5 PNF nella riabilitazione**

Il PNF, oltre ad essere un'efficace tecnica nel miglioramento del ROM, viene spesso utilizzata nei più svariati campi riabilitativi, come nel caso di persone affette da ictus, persone colpite da sclerosi multipla e persone affette da paralisi o spasticità. Già intorno agli anni cinquanta le tecniche PNF venivano utilizzate nella riabilitazione di soggetti con spasticità e paralisi (Kabat, 1954), mentre alla fine di quel decennio, l'attenzione si spostò maggiormente sull'uso terapeutico del PNF, per clienti con condizioni diverse da quelle di origine neurologica, ne sono un esempio gli studi condotti da Knott et al (1961) e da Voss et al (1955), riguardo il trattamento delle lesioni da colpo di frusta e il trattamento delle lesioni alla spalla rispettivamente.

### **2.5.1 PNF e disturbi muscolo-scheletrici**

Come si evince dagli studi citati in precedenza in origine, il PNF serviva soprattutto nel trattamento di disturbi muscolo-scheletrici (DMS). I DMS descrivono le condizioni che colpiscono il sistema muscolo-scheletrico, che include i nervi, i tendini, i muscoli e le strutture di supporto del corpo e i sintomi fisici che derivano

da traumi e sforzi ripetuti (Tate, 2009). I disturbi muscolo-scheletrici si verificano quando muscoli e tendini sono allungati o sovrautilizzati oltre le loro capacità.

I fattori di rischio che possono aggravare l'apparato muscolo-scheletrico includono principalmente movimenti ripetitivi ma anche posture scomode o troppo statiche. Il PNF si rivela un'efficace tecnica nel trattamento di questi disturbi come dimostra lo studio condotto da Jepsen e Thomsen (2008). L'obiettivo era quello di valutare l'effetto delle tecniche PNF sulla prevenzione dei sintomi dell'arto superiore e dei segni di affezioni nervose negli operatori di computer. I partecipanti venivano divisi in due gruppi, il primo partecipava ad un programma di stretching PNF per gli arti superiori, tre volte al giorno per un periodo di sei mesi, mentre il secondo fungeva da gruppo di controllo. Il protocollo di stretching prevedeva quattro differenti esercizi di stretching, per una durata totale di venti minuti. Il primo mirava ad allungare i flessori volari dell'avambraccio mentre il secondo ad allungare il muscolo pronatore. Il terzo e il quarto miravano invece a mobilizzare il nervo mediano e il nervo radiale rispettivamente. Il protocollo prevedeva tre serie di trenta secondi per ogni esercizio con un recupero di trenta secondi tra le serie. I risultati hanno dimostrato un miglioramento significativo per la spalla ( $P=0,04$ ) e anche un miglioramento complessivo significativo delle regioni di gomito, polso e mano ( $P=0,02$ ). I risultati hanno dunque illustrato che il dolore era significativamente ridotto nel gruppo di intervento e invariato nel gruppo di controllo, inoltre dopo l'intervento sono state registrate meno anomalie neurologiche in relazione all'affezione del nervo. In conclusione si può affermare che un protocollo di stretching PNF aiutava a ridurre i sintomi degli arti superiori e i segni di affezioni nervose negli operatori di computer.

A supporto delle evidenze, secondo cui, il PNF è una tecnica utile nella prevenzione e nel trattamento di lesioni muscolo-scheletriche, è lo studio condotto da Lazaros et al (2018). L'obiettivo era quello di valutare l'effetto di un programma di facilitazione propriocettiva neuromuscolare sulla mobilità della caviglia, sul dolore, sulle prestazioni funzionali e di equilibrio in soggetti con distorsione alla caviglia. Ventidue partecipanti venivano assegnati in modo casuale ad un gruppo di equilibrio ed ad uno di PNF. Entrambi i gruppi eseguivano dieci sessioni di riabilitazione per un periodo di sei settimane. Il protocollo PNF coinvolgeva i

principali muscoli della caviglia ed aveva una durata di venti minuti. Ogni esercizio prevedeva cinque serie in cui il soggetto allungava il muscolo per quindici secondi e lo contraeva per cinque, il recupero era di trenta secondi. I risultati hanno mostrato un miglioramento del ROM in dorsiflessione ( $P= 0,009$ ) e un miglioramento delle prestazioni funzionali ( $P= 0,017$ ) nell'applicazione del protocollo PNF. Questi miglioramenti ( $P= 0,017$ ) sono stati riscontrati anche otto settimane dopo l'allenamento, concludendo che tale programma era raccomandato nella pratica clinica per migliorare il ROM della caviglia e le prestazioni funzionali nei soggetti con distorsione a tale articolazione. Dagli studi appena presentati si evince dunque che il PNF, può essere considerata una pratica utile nel trattamento e nella riabilitazione di lesioni muscolo-scheletriche nei soggetti che ne vengono colpiti.

### **2.5.2 PNF e Ictus**

Come accennato in precedenza, il PNF in campo riabilitativo è utile anche in caso di persone colpite da ictus.

L'organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) definisce l'ictus come segni clinici in rapido sviluppo di disturbo focale o globale delle funzioni cerebrali, con sintomi che durano ventiquattro ore o più o portano alla morte, senza causa apparente diversa dall'origine vascolare. L'ictus è una delle principali cause di morbilità e mortalità in tutto il mondo (130/100.000 persone/anno), descritta come l'improvviso sviluppo di un deficit neurologico causato da anomalie dell'afflusso sanguigno (Rowland et al, 2006).

I problemi comuni dopo l'ictus sono funzioni motorie compromesse, tra cui equilibrio ed andatura, compromissione sensoriale, tono alterato dei muscoli del tronco, schemi di sinergia anomali, riflessi anomali, mancanza di controllo posturale, deficit percettivi e visivi, limitazioni cognitive, afasia e depressione.

I deficit neurologici che invece portano alla perdita di forza nelle gambe e all'alterazione dell'equilibrio sono fattori spesso correlati all'incapacità di camminare (Chitra e Joshi, 2017).

Nei pazienti con l'ictus, si riscontra frequentemente una perdita del controllo muscolare del tronco, la coattivazione dei muscoli inferiori del tronco e dell'anca,

fornisce stabilità al bacino, servendo allo scopo di stabilizzazione posturale e trasferendo il carico agli arti inferiori durante la stazione eretta. Il reclutamento modificato di abduttori ed estensori dell'anca sulla gamba colpita influisce sulla forza del bacino al livello della pelvi laterale ed anteriore, causando una diminuzione d'estensione d'anca durante la fase di appoggio della deambulazione nelle persone colpite da ictus (Tyson, 1999). Tali deviazioni dell'andatura sono associate spesso ad una diminuzione della velocità dell'andatura e quindi ad una diminuzione della distanza percorsa. Grazie al PNF, i pazienti che sopravvivono all'ictus, sono in grado di sperimentare un miglioramento della lunghezza del passo, della velocità dell'andatura e della cadenza con il passare del tempo (Von Schoeder et al, 1995).

Il metodo PNF essendo un approccio neurofisiologico, consente di migliorare l'andatura dei pazienti con emiplegia. Questo metodo promuove una risposta neuromuscolare più ampia che migliori la forza, la flessibilità e l'equilibrio di muscoli e tendini, stimolando i fusi neuromuscolari e gli organi muscolo-tendinei di Golgi.

In particolare il PNF facilita il movimento del tronco e degli arti inferiori e fornisce dunque maggiore stabilità al tronco, promuovendo inoltre il miglioramento dei riflessi posturali e privilegiando la contrazione muscolare eccentrica, stimolando l'attività agonista (Shimura e Kasai, 2002).

Un esempio è lo studio condotto da Sharma e Kaur (2017) il cui scopo era quello di valutare gli effetti del rafforzamento del core, combinato con il PNF, sulla compromissione del tronco, sull'equilibrio, sull'andatura e sulla capacità funzionale dei pazienti con ictus cronico. Ventitré pazienti con ictus cronico venivano reclutati e assegnati in modo casuale a due gruppi: rafforzamento del core combinato con PNF (N= 13) e PNF con esercizi di flessibilità del tronco (N= 10). L'intervento veniva somministrato ad entrambi i gruppi per sessanta minuti per sessione, cinque volte a settimana per quattro settimane. Il protocollo PNF aveva una durata totale di trenta minuti con un recupero di due minuti tra le serie. I risultati hanno mostrato una differenza per quanto riguarda l'equilibrio e la capacità funzionale, tra il gruppo rafforzamento core più PNF ( $18,76 \pm 1,78$ ) e il gruppo PNF più flessibilità del

tronco ( $16,8 \pm 1,87$ ) significativa ( $P= 0,018$ ). Gli autori hanno dunque dimostrato che l'aggiunta del programma PNF alla stabilizzazione del core, aiuta a migliorare la stabilità del core, al fine di ottenere il controllo del tronco e una mobilità controllata per migliorare l'equilibrio, l'andatura e la capacità funzionale nei pazienti affetti da ictus cronico.

In conclusione possiamo affermare che la facilitazione propriocettiva neuromuscolare pelvica aiuta a migliorare il controllo del bacino che è un punto chiave per mantenere il controllo del tronco, l'andatura e l'equilibrio, mediante la stimolazione della propriocezione muscolare e articolare. Dato che l'ictus, come abbiamo visto in precedenza, comporta principalmente la perdita del controllo muscolare del tronco, il PNF si può rivelare una tecnica efficace nel trattamento e nella riabilitazione di questa patologia, non in tutte le sue forme, ma solamente in alcune.

### **2.5.3 PNF e Paralisi**

Come affermato da Kabat intorno agli anni cinquanta, la terapia PNF è utile nei soggetti affetti da paralisi per impedire a questi di peggiorare. I pazienti affetti da paralisi sono infatti costretti ad una prolungata inattività, che si traduce in un grave declino dei meccanismi del sistema nervoso centrale e motorio con conseguente diminuzione del controllo e del coordinamento, oltre ad un deterioramento del riflesso di regolazione della pressione sanguigna, ridotta funzione dei riflessi posturali e compromissione della salute generale, sia a livello fisico che mentale.

Il PNF agisce diminuendo la resistenza sinaptica e portando ad un miglioramento della circolazione, della gamma di movimento articolare e della salute generale (Kabat et al, 1954). Nonostante la maggior parte degli studi tratti il PNF in relazione alla paralisi cerebrale, negli ultimi anni diverse ricerche si sono interrogate sulla pratica del PNF in relazione alla paralisi dei nervi e alla paralisi di Bell (una paralisi parziale dei muscoli facciali).

Al primo argomento si sono interessati Ochia et al (2017) il cui scopo dello studio era quello di valutare il ruolo delle tecniche PNF nel recupero della paralisi del nervo sciatico popliteo esterno. Lo studio era stato condotto su un paziente di

trentadue anni con una frattura del terzo inferiore del femore per la quale aveva subito un intervento chirurgico. Il programma era composto da tecniche PNF a catena cinetica chiusa e aperta, oltre ad esercizi per la rieducazione sensoriale. Il protocollo PNF prevedeva esercizi in flessione ed estensione per il quadricipite, gli ischiocrurali e i muscoli peroneo o tibiale anteriore, al fine di allenare le catene muscolari dell'arto inferiore. Le sessioni avevano una durata di dieci minuti e una frequenza di cinque sedute a settimana. I risultati hanno mostrato un aumento dell'adduzione della caviglia da 0 a 20°, della flessione dorsale da 0 a 15° e della flessione plantare da 0 a 38°; a livello del ginocchio si è invece notato un aumento della mobilità da 10 a 70°. In conclusione lo studio ha dimostrato che le tecniche PNF avevano portato ad un recupero della paralisi del nervo sciatico popliteo aumentando la forza muscolare e la mobilità articolare, nonché riducendo il tempo di recupero da sei-nove mesi a tre mesi. Questi miglioramenti hanno portato ad una riduzione della compressione sul nervo e dunque ad una maggiore risposta motoria.

La paralisi di Bell è una paralisi improvvisa dei muscoli di un lato del viso dovuta ad un malfunzionamento del settimo nervo cranico. Questo nervo muove i muscoli facciali, stimola le ghiandole salivari e lacrimali e consente ai due terzi anteriori della lingua di rilevare i sapori. Questa si manifesta principalmente con un irrigidimento dei muscoli facciali per un lungo periodo. Tra i trattamenti, oltre ai corticosteroidi, c'è anche il PNF per il rilassamento dei muscoli facciali colpiti. In particolare la tecnica PNF, attraverso la resistenza manuale, facilita o inibisce i propriocettori, inoltre è utile per migliorare i muscoli facciali inducendo forza, flessibilità e coordinazione (Palekar et al, 2019).

Nonostante questi studi dimostrino che il PNF è efficace nel trattamento della paralisi di nervi e muscoli, le ricerche sono ancora poche per avere una conferma concreta e reale in confronto al trattamento della paralisi cerebrale. Il rapporto tra tale paralisi e la tecnica PNF verrà maggiormente approfondito nel capitolo 3.



## CAPITOLO 3: PNF e Paralisi Cerebrale

### 3.1 La paralisi Cerebrale

Nel mondo sono oltre 17 milioni e in Italia 100mila, le persone colpite da paralisi cerebrale, una patologia neuromotoria dovuta ad un danno del sistema nervoso centrale. I più colpiti sono generalmente i bambini, che in Italia sono 40mila, con un'incidenza di 1 su 500 nuovi nati.

La paralisi cerebrale è una condizione neurologica statica risultante da una lesione cerebrale, che si verifica prima che lo sviluppo cerebrale sia completo. Poiché tale sviluppo continua durante i primi due anni di vita, la paralisi cerebrale può derivare da lesioni cerebrali che si verificano durante il periodo prenatale, perinatale o postnatale. In altri termini, essa è provocata dal danneggiamento di una parte più o meno grande del cervello o del cervelletto responsabile del controllo del movimento. Di conseguenza, la muscolatura scheletrica interessata allo produzione di un movimento riceve informazioni "errate" dalle aree cerebrali danneggiate.

Il 70-80% dei casi di paralisi cerebrale viene acquisito prima della nascita e da cause in gran parte sconosciute. Si stima inoltre che le complicanze alla nascita rappresentino circa il 6% dei pazienti affetti da paralisi cerebrale congenita. I fattori di rischio neonatale per tale patologia includono la nascita dopo meno di trentadue settimane di gestazione, un peso alla nascita inferiore ai 2500 grammi, ritardo della crescita intrauterina, emorragia intracranica e traumi. In circa il 10-20% dei pazienti, la paralisi cerebrale viene acquisita dopo la nascita, principalmente a causa di danni cerebrali causati da meningite batterica, encefalite virale e iperbilirubinemia, ma anche da danni più comuni quali collisioni e cadute (Reddihough, Collins, 2003).

L'osservazione dello sviluppo motorio lento, del tono muscolare anormale e della postura insolita, sono indizi iniziali comuni per la diagnosi della paralisi cerebrale. In particolare, i segni e/o sintomi precoci includono:

- **Segni neuro comportamentali:** i segni neuro comportamentali sospetti per la paralisi cerebrale includono irritabilità eccessiva, letargia, vomito frequente e scarsa attenzione visiva

- **Riflessi dello sviluppo:** il ritardo nella comparsa o l'esagerazione di un riflesso dello sviluppo, possono essere indicatori precoci di una disabilità motoria. Ad esempio i bambini con un riflesso labirintico tonico esagerato, possono avere una postura opistotonica o cadere frequentemente durante il cammino, allo stesso modo i bambini possono avere una risposta anormale alla sospensione verticale, in cui invece di assumere una posizione seduta, hanno un'estensione persistente delle gambe

- **Tono motorio e postura:** nei bambini con paralisi cerebrale il tono muscolare alle estremità o al tronco può essere aumentato o diminuito. I primi segni motori sono uno scarso controllo della testa, fisting con la mano persistente o asimmetrico e schemi motori anormali (come spinta della lingua e smorfie) (Noritz et al, 2020).

Il 70-80% dei pazienti con paralisi cerebrale ha caratteristiche cliniche spastiche. Gli arti colpiti mostrano un aumento dei riflessi tendinei profondi, tremori, ipertono muscolare, debolezza e una caratteristica andatura a forbice con camminata in punta di piedi. La paralisi cerebrale di tipo atetoide o discinetico, che colpisce dal 10 al 20% dei pazienti, è caratterizzata invece da movimenti di contorsione della mani, dei piedi, delle braccia o delle gambe, che sono esacerbati durante i periodi di forte stress e durante l'assenza di sonno. La forma più rara, la paralisi cerebrale atassica, colpisce dal 5 al 10% dei pazienti e compromette prevalentemente l'equilibrio e la coordinazione. Questi pazienti camminano con un'andatura ampia e hanno tremori intenzionali che complicano lo svolgimento delle attività quotidiane che richiedono la funzione motoria fine.

Oltre a questa classificazione, ne esiste una basata sulle spasticità correlate alla paralisi cerebrale, che comprende l'emiplegia spastica, la diplegia spastica e la tetraplegia spastica (Taylor, 2001). Il deterioramento intellettuale si verifica in circa due terzi dei pazienti con paralisi cerebrale e circa la metà dei pazienti pediatrici ha le convulsioni. I problemi di crescita sono comuni, così come le anomalie neurologiche quali vista e udito alterati e le percezioni tattili e del dolore anormali. Per definizione la paralisi cerebrale non è progressiva, pertanto, i bambini che sperimentano la perdita delle capacità acquisite in precedenza o che mostrano un rallentamento dello sviluppo e riflessi corporei insoliti dovrebbero essere valutati

per malattie metaboliche, muscolari o neuronali diverse dalla paralisi cerebrale (Bass, 1999).

Esistono diversi strumenti di valutazione per quantificare e monitorare le tappe e lo sviluppo delle abilità dei pazienti affetti da paralisi cerebrale. I più importanti sono il sistema di classificazione della gross-motor functions per la paralisi cerebrale che standardizza i movimenti e misura i cambiamenti della funzione motoria macroscopica nel tempo, la *Pediatric Evaluation of Disability Inventory* che misura sia i movimenti motori fini che quelli grossolani legati alla cura di sé e alla mobilità e la *Modified Ashworth* che valuta la spasticità muscolare (Haley et al, 1992).

La maggior parte dei bambini con paralisi cerebrale sopravvive fino all'età adulta, tuttavia tale sopravvivenza è correlata alla gravità della menomazione, al peso alla nascita e allo stato socioeconomico. Per quanto concerne la deambulazione nella paralisi cerebrale, i bambini che non raggiungono l'equilibrio della testa entro i venti mesi, conservano riflessi primitivi, non hanno reazioni posturali entro i ventiquattro mesi o non gattonano entro i cinque anni di età, la prognosi è sfavorevole. La prognosi di deambulazione è invece buona nei bambini che si siedono entro i due anni e che gattonano prima dei trenta mesi, quelli che si siedono tra i tre e quattro anni necessitano invece di ausili o tutori o hanno una deambulazione funzionale limitata. In generale, i bambini che camminano autonomamente lo fanno entro i tre anni, mentre quelli con supporto possono impiegare fino a nove anni, i bambini che non camminano entro tale età è improbabile che camminino mai, anche con il supporto. In conclusione si può affermare che l'esito funzionale nella paralisi cerebrale dipende da molteplici fattori oltre alla funzione motoria. Questi includono l'intelligenza, la funzione fisica, capacità di comunicare e fattori sociali e ambientali (Gulati, Sondhi, 2018)

L'obiettivo nella gestione della paralisi cerebrale non è quello di curare o ripristinare una condizione di "normalità", ma aumentare la funzionalità, migliorare le capacità e sostenere la salute in termini di locomozione, sviluppo cognitivo, interazione sociale e indipendenza. I migliori risultati clinici derivano da una gestione precoce e intensiva. Un trattamento ottimale nei bambini richiede un

approccio che si concentra sullo sviluppo totale e non solo sul miglioramento di un singolo sintomo.

I programmi di trattamento comprendono terapia fisica e comportamentale, trattamenti farmacologici e chirurgici, ausili meccanici e gestione delle condizioni mediche associate (Taylor, 2001).

### **3.2 Trattamenti della paralisi cerebrale**

I tipi di trattamenti per i pazienti con paralisi cerebrale dipendono dai sintomi specifici del paziente e vanno dalla terapia fisica all'uso di farmaci e alla chirurgia.

Il trattamento dello sviluppo neurologico, meglio conosciuto come il metodo Bobath (1907-1991) è una strategia comune di trattamento della paralisi cerebrale, che mira a controllare le componenti sensomotorie del tono muscolare, i riflessi, i modelli di movimento anormali, il controllo posturale, la sensazione, la percezione e la memoria, utilizzando tecniche di manipolazione specifiche. Tuttavia, sebbene i pazienti con trattamento del neuro sviluppo mostrassero un miglioramento immediato dalla gamma dinamica di movimento, non vi erano prove che il trattamento cambiasse le risposte motorie anormali, rallentasse o prevenisse le contratture o facilitasse lo sviluppo motorio delle attività motorie funzionali (Butler, Darrah, 2001).

I programmi di rafforzamento muscolare e fitness, sono interventi utili nel trattamento della paralisi cerebrale, nonostante i sostenitori del trattamento del neuro sviluppo sconsiglino l'uso dell'esercizio di forza, poiché si ritiene che aumenti la spasticità. Diversi studi hanno dunque esaminato l'efficacia dell'esercizio di forza. In particolare lo studio condotto da Fowler et al (2001) utilizzava il riflesso da stiramento misurato con il test del pendolo e rilevava che i bambini con paralisi cerebrale, non mostravano un aumento della spasticità del quadricipite femorale subito dopo esercizi di rafforzamento rispetto ai bambini senza paralisi cerebrale. Lo studio ha anche dimostrato che l'esercizio di forza poteva essere utile nel rafforzamento muscolare, quando la debolezza muscolare provocava disfunzioni. In particolare un programma di allenamento progressivo della forza di dieci settimane, per adulti che hanno avuto paralisi cerebrale con

diplegia spastica, incentrato sugli arti inferiori, portava ad miglioramento della forza muscolare, della velocità di deambulazione quando si camminava e della funzione motoria grossolana, rispetto ad un gruppo di controllo di pazienti adulti con diplegia spastica che non aveva svolto nessuna attività. A conferma di ciò è la revisione ad opera di Dodd et al (2002) in cui dieci studi riscontrano che l'allenamento aumenta la forza e possibilmente migliora l'attività motoria nelle persone con paralisi cerebrale.

Ulteriori approcci basati sulla terapia fisica sono: l'addestramento bimanuale per la paralisi cerebrale emiplegica, in cui il bambino viene addestrato ad usare le mani contemporaneamente ed insieme attraverso compiti ripetitivi; la terapia del movimento indotta da vincoli che comporta il contenimento dell'arto non affetto per incoraggiare l'uso dell'arto affetto durante i compiti terapeutici; l'allenamento funzionale (anche definito allenamento orientato al compito) che pone l'accento su attività basate sugli obiettivi fissati dal bambino, utilizzando un approccio di apprendimento motorio.

Un'ulteriore potenziale terapia fisica che può essere efficace nel trattamento della paralisi cerebrale è l'esercizio di allungamento mediante la tecnica del PNF (vedere paragrafo 3.5).

Per quanto concerne i trattamenti con i farmaci, i più comuni sono il botulino e il clonazepam. La sindrome del motoneurone superiore porta spesso a problemi comuni di disfunzione motoria, spasticità e contratture, la tossina botulinica produce una proteina che blocca il rilascio di acetilcolina al livello delle placche terminali motorie del motoneurone inferiore, diminuendo il tono e limitando la contrazione muscolare, rilassando dunque i muscoli. Questo tipo di tossina, somministrata mediante iniezioni intrasalivarie, viene utilizzata anche per ridurre il flusso salivare e correggere la salivazione pediatrica associata alla paralisi cerebrale (Baker et al, 2002). Il clonazepam intratecale nei bambini affetti da paralisi cerebrale, invece, fornisce un sostanziale sollievo dal dolore e dallo spasmo, nonché un miglioramento del sonno (Campbell et al, 2002).

Per quanto riguarda il trattamento chirurgico, il più importante è la rizotomia dorsale selettiva. Questa procedura è volta a ridurre al minimo o ad eliminare la

spasticità, nonché a migliorare la funzione grosso-motoria, tagliando selettivamente le radichette dorsali dai segmenti del midollo spinale da L1 a S2 (McLaughlin et al, 2002).

### **3.3 Aspetti muscolo-scheletrici della paralisi cerebrale**

Nella paralisi cerebrale la caratteristica chiave della patologia muscolo-scheletrica è un fallimento della crescita longitudinale del muscolo scheletrico. Le condizioni per la normale crescita muscolare, sono un regolare allungamento del muscolo rilassato in condizioni di carico fisiologico. Nei bambini con paralisi cerebrale, il muscolo scheletrico non si rilassa durante l'attività, a causa della spasticità e questi hanno dunque livelli di attività notevolmente ridotti a causa della debolezza e dello scarso equilibrio. Torsione delle ossa lunghe, instabilità articolare e alterazioni degenerative premature delle articolazioni portanti, sono effetti comuni e debilitanti nei pazienti con paralisi cerebrale (Brown, Minns, 1989).

La riduzione della spasticità è solitamente seguita da un netto miglioramento dell'ampiezza di movimento delle articolazioni e della funzione dinamica dell'andatura. I miglioramenti nell'andatura includono una maggiore velocità di deambulazione, una maggiore lunghezza del passo, una maggiore gamma di movimento dell'anca, del ginocchio e della caviglia e una riduzione del costo energetico della deambulazione (Boscarino et al, 1993).

L'obiettivo primario nella gestione della spasticità è quello di correggere le deformità muscolo-scheletriche. Per fare ciò è spesso necessario un intervento chirurgico ortopedico. La chirurgia ortopedica ha un ruolo importante nella gestione di persone con paralisi cerebrale spastica, mediante la correzione delle deformità, che in determinate circostanze possono migliorare la funzionalità e la qualità di vita (Miller, 1995). Nell'emiplegia spastica (Figura 11), la chirurgia ortopedica ha un ruolo centrale nella gestione delle deformità che colpiscono gli arti inferiori e superiori. Nell'arto superiore queste includono la flessione del gomito, la pronazione dell'avambraccio e la flessione del polso, per gli arti inferiori riguardano principalmente problemi di deambulazione. Queste deformità sono generalmente corrette mediante una combinazione di gestione della spasticità,

allungamento delle contratture muscolo-tendinee e correzione dello squilibrio dinamico, mediante trasferimenti tendinei (Miller, 1995).

Nel caso di spasticità diplegica (Figura 11) il soggetto svilupperà deformità muscolo-scheletriche che includono contratture fisse dei muscoli e deformità ossee. In questo caso il trattamento prevede l'allungamento del tendine d'Achille, l'allungamento dello psoas e dei muscoli posteriori mediali della coscia e la correzione di tutte le deformità ortopediche (Nene et al, 1993).

Nella tetraplegia spastica (Figura 11) le deformità più comuni sono lo spostamento dell'anca e deformità spinali, che avvengono in concomitanza ad epilessia e malattie respiratorie. Per prevenire lo spostamento d'anca è necessario un intervento chirurgico dei tessuti molli con un accorciamento del femore prossimale, le deformità spinali vengono invece corrette dall'intervento sull'anca (Dobson et al, 2002). In conclusione la chirurgia ortopedica si rivela utile nel trattamento di soggetti con paralisi cerebrale, compresi quelli con emiplegia, diplegia e tetraplegia spastica, migliorando la funzione e la qualità della vita (Graham, Selber, 2003).

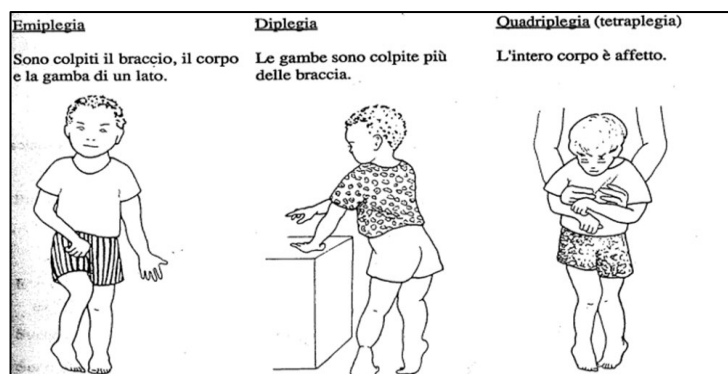


FIGURA 11

### 3.4 Patofisiologia della Paralisi Cerebrale

La paralisi cerebrale è un disturbo non progressivo, caratterizzato da disturbi della motilità volontaria o della postura, derivanti da malformazioni occorse in epoca prenatale o lesioni perinatali o postnatali del sistema nervoso centrale (Reddihough, Collins, 2003). Il sistema nervoso comprende tutto il tessuto nervoso del corpo

umano ed è suddiviso in due parti: il sistema nervoso centrale (SNC) e il sistema nervoso periferico (SNP). Il SNC è costituito dall'encefalo e dal midollo spinale ed è responsabile di integrazione, elaborazione e coordinamento delle informazioni sensitive e degli stimoli motori. È inoltre la sede delle funzioni superiori, come l'intelligenza, la memoria, l'apprendimento e le emozioni.

Nelle fasi precoci di sviluppo, il SNC si sviluppa come una massa di tessuto nervoso organizzato a formare un tubo cavo. Durante lo sviluppo la cavità centrale si riduce di dimensioni e lo spessore delle pareti e il diametro degli spazi chiusi variano da una regione all'altra. La cavità centrale che persiste nel midollo spinale è detta canale centrale, i ventricoli sono invece ampie cavità che si trovano in regioni specifiche dell'encefalo, in continuità con il canale centrale. Il liquido cerebrospinale riempie il canale centrale e i ventricoli e circonda il sistema nervoso centrale. Il sistema nervoso periferico comprende tutto il tessuto nervoso presente all'esterno del SNC e trasporta le informazioni sensitive al SNC e comandi motori dal SNC ai tessuti e agli organi periferici. In particolare il compartimento afferente trasporta informazioni provenienti dai recettori sensitivi somatici, che controllano la muscolatura scheletrica e le articolazioni (Brodal, 2004).

Nel 90% dei casi di paralisi cerebrale, eventi nocivi portano a danni del tessuto cerebrale precedentemente sano, mentre l'altro 10% è causato da uno sviluppo anormale del cervello. Il tipo e la posizione delle anomalie neurologiche e delle lesioni che portano alla paralisi cerebrale, variano a seconda della tempistica degli eventi nocivi e possono coinvolgere sia il cervello che il cervelletto. Oltre a questo, anche lesioni della sostanza bianca, quali emorragia periventricolare e intraventricolare e leucomalacia periventricolare, possono portare a paralisi cerebrale. Il danno alla sostanza bianca è spesso associato a prematurità, eventi ipossico-ischemici e infezioni fetali o materne. Alla fine del terzo trimestre, nel neonato, gli eventi nocivi possono portare a lesioni corticali, a lesioni dei gangli della base e del talamo. Lesioni ai tratti corticospinali sono invece associate alla spasticità. Per comprendere dunque quali siano le cause che portano alla paralisi cerebrale, è necessario analizzare i meccanismi che stanno alla base delle tre forme di paralisi: quella spastica, quella discinetica e quella atassica.



### 3.4.1 Paralisi Cerebrale Spastica

Le paralisi cerebrale spastiche si verificano in oltre il 70% dei casi. La spasticità è legata al coinvolgimento del motoneurone superiore e può inficiare, in modo variabile, la funzione motoria (Graham et al, 2016). I motoneuroni sono le cellule nervose che si trovano all'interno del sistema nervoso centrale, il cui compito è quello di trasferire il segnale in periferia per controllare il movimento dei muscoli. Nel sistema nervoso esistono due tipi di motoneuroni: quelli superiori, o primi motoneuroni, e quelli inferiori, o secondi motoneuroni. I motoneuroni superiori si trovano nella corteccia cerebrale e da essi parte il segnale verso quelli inferiori, che si trovano al livello del tronco encefalico e del midollo spinale, segnale che poi proseguirà verso i muscoli mediante gli assoni motori contenuti nei nervi periferici. Quando questi motoneuroni vanno incontro a degenerazione, si parla di malattie del motoneurone, che portano ad una compromissione della funzionalità normale dei muscoli, nonché al loro progressivo deterioramento. Questo comporta una perdita di massa muscolare (ipotrofia muscolare), indebolimento e compromissione dei movimenti (Charil et al, 2009).

Nella paralisi cerebrale queste disfunzioni possono comportare emiplegia, diplegia, tetraplegia o paraplegia. In particolare i riflessi osteotendinei sono accentuati negli arti affetti, i muscoli sono ipertonici e i movimenti volontari sono insufficienti o scarsamente coordinati, si sviluppano inoltre retrazioni tendinee e le articolazioni possono disallinearsi. Soprattutto nelle forme tetraplegiche, si verifica comunemente un'alterazione dei movimenti linguali e palatali, con conseguente disartria o disfagia (Graham, Selber, 2003).

La spasticità è un disturbo muscolare che comporta un aumento anomalo del tono muscolare, causato da lesioni alle cellule nervose del midollo spinale e del cervello. Un aumento di tensione nei muscoli li rende rigidi e può causare spasmi muscolari involontari. I sintomi della spasticità includono rigidità muscolare, affaticamento muscolare, spasmi muscolari isolati incontrollabili oppure una serie di spasmi involontari, riflessi tendinei esagerati, contrattura permanente dei muscoli e dolore derivante da muscoli tesi o da spasmi. In alcuni pazienti tali problematiche possono comportare cambiamenti nella postura e diminuzione delle capacità funzionali.

Nelle paralisi cerebrale, nei pazienti affetti da spasticità, si assiste alla comparsa di lievi compromissioni della motilità, fino ad arrivare alla completa perdita del controllo dei muscoli scheletrici. In questo caso si parla di monoparesi quando il deficit motorio interessa un solo arto; paraparesi se il deficit motorio interessa entrambi gli arti inferiori; tetraparesi quando il deficit motorio interessa tutti e quattro gli arti e in alcuni casi, anche i muscoli del tronco e del collo e emiparesi quando il deficit motorio riguarda solamente un lato del corpo (Sheean, 2002).

### 3.4.2 Paralisi Cerebrale Discinetica

In circa il 20% dei casi di paralisi cerebrali si hanno forme atetosiche discinetiche, che provengono da un danno ai gangli della base. Queste forme interessano le estremità degli arti e del tronco e sono caratterizzate da movimenti di torsione lenti e involontari (movimenti atetosici), attivati dall'eccitamento o dal tentativo di eseguire movimenti volontari (Figura 12). Possono essere presenti anche movimenti distali bruschi e scatto (movimenti coreici). Questi movimenti tendono ad aumentare con la tensione emotiva e scompaiono con il sonno (Graham et al, 2016).



FIGURA 12

I gangli della base sono un gruppo di nuclei subcorticali nel cervello, che si trovano alla base del telencefalo e nella parte superiore del mesencefalo. Questi sono fortemente interconnessi con la corteccia cerebrale, il talamo e il tronco encefalico

e sono alla base di diverse funzioni, quali la cognizione, l'emozione, l'apprendimento procedurale e delle abitudini e il controllo dei movimenti volontari. I gangli della base sono composti dallo striato, dorsale e ventrale, il globo pallido, il pallido ventrale, la substantia nigra e il nucleo subtalamico. Lo striato riceve input, oltre che dai gangli della base, da diverse aree del cervello ed invia l'output ad altri componenti dei gangli della base. Il secondo componente, il pallido, riceve l'input dallo striato e invia l'informazione inibitoria a diverse aree motorie. La substantia nigra produce invece il neurotrasmettitore dopamina, mentre il nucleo subtalamico riceve input principalmente dallo striato e dalla corteccia cerebrale e li proietta sul globo pallido. I gangli della base svolgono principalmente la selezione delle azioni, ovvero contribuiscono a decidere quali tra i possibili comportamenti eseguire in un dato momento. La funzione primaria dei gangli della base è quella di fare in modo che i movimenti volontari possano essere eseguiti in modo fluido, controllando e regolando le attività delle aree corticali motorie e premotorie. L'influenza inibitoria che esercitano i gangli della base sui sistemi motori e il rilascio di questa, consente inoltre al sistema motorio di attivarsi. Il cambiamento delle funzioni che avviene all'interno di queste strutture, è influenzato da segnali provenienti principalmente dalla corteccia prefrontale, importante nelle funzioni esecutive. Queste strutture sono fondamentali per i comportamenti e le funzioni cerebrali e una loro disfunzione si traduce in una vasta gamma di condizioni neurologiche, tra cui disturbi del controllo del comportamento e del movimento. Nei pazienti affetti da paralisi cerebrale, lesioni ai gangli della base, al talamo e alla relative vie extrapiramidali, sono spesso associate a discinesia (Groenewegen, 2003).

### **3.4.3 Paralisi Cerebrale Atassica**

Nella paralisi cerebrale, le forme atassiche (cioè quelle che prevedono un disordine nella coordinazione muscolare, che rende difficile eseguire i movimenti volontari) si hanno in < 5% dei casi e consistono in una alterazione del cervelletto o delle sue connessioni. Queste forme sono caratterizzate da instabilità, difficoltà nell'eseguire movimenti fini e rapidi e andatura a base allargata, causate da tremore, scarsa coordinazione e debolezza muscolare (Figura 13) (Graham et al, 2016).

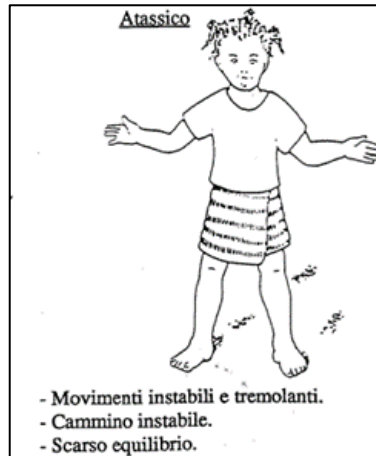


FIGURA 13

Il cervelletto è una parte del sistema nervoso centrale e più precisamente del rombencefalo, esso si presenta come una formazione ovoidale divisa in due emisferi ed è disposto nella fossa cranica posteriore. Il cervelletto è coinvolto in diverse funzioni cognitive come l'attenzione, la memorizzazione e il linguaggio, nonché nella regolazione delle risposte al piacere e alla paura, questo svolge inoltre un ruolo fondamentale nel controllo dei movimenti. Di per sé, il cervelletto non inizia il movimento, ma contribuisce al suo coordinamento, alla sua precisione e all'accurata temporizzazione (timing). Questo riceve l'input dai sistemi sensoriali del midollo spinale e da altre zone del cervello ed integra questi segnali nell'ottimizzazione dell'attività motoria. Il cervelletto, oltre al controllo del movimento, svolge un ruolo per diversi tipi di apprendimento motorio. Un danno a questa struttura produce lacune a carico del linguaggio, dell'attenzione e della memoria e deficit nell'apprendimento motorio, nonché difficoltà nel controllo del movimento fine, dell'equilibrio e della postura. Nelle persone affette da paralisi cerebrale, lesioni alla sostanza bianca e grigia presente nel cervelletto, sono spesso associate ad atassia (Glickstein, Doron, 2008).

### **3.5 Applicazione del PNF nel trattamento della Paralisi Cerebrale**

L'obiettivo di questo paragrafo è quello di riassumere le evidenze scientifiche disponibili circa l'utilizzo della tecnica o esercizio di allungamento del PNF nel trattamento della paralisi cerebrale, ed in particolare sulla forma spastica, in cui si riscontrano i maggiori problemi di deambulazione.

E' bene sottolineare che la maggior parte degli studi che trattano di questa tematica, siano relativamente recenti (2018-2021). Saranno dunque necessari ulteriori studi per capire la reale efficacia di questo metodo e se anzi, sarà possibile trovare un ulteriore campo di applicazione, oltre alla deambulazione, nella cura della paralisi cerebrale.

Nei bambini con paralisi cerebrale, i frequenti spasmi che si verificano, riducono la mobilità degli arti inferiori, della colonna vertebrale, del bacino e del tronco. Il tono muscolare anormale provoca, inoltre, una perdita selettiva del controllo dei muscoli e squilibrio tra compartimenti agonisti ed antagonisti. Ciò può comportare un'inclinazione asimmetrica del bacino e una sua rotazione durante la locomozione.

A questo proposito, un segno caratterizzante la paralisi cerebrale è proprio la mancanza o la limitazione di un'andatura indipendente. I pazienti con paralisi cerebrale spastica, hanno limitazioni nella funzione motoria, con conseguente diminuzione del controllo motorio selettivo. Il controllo motorio selettivo è essenziale per il controllo indipendente del movimento articolare e l'alterazione di questo, comporta deficit neuromuscolari nella paralisi cerebrale (Kale et al, 2021). Vari interventi si sono rivelati efficaci nel trattamento della paralisi cerebrale, come i programmi di allenamento della forza, la terapia del movimento indotto da costrizione, l'allenamento dell'equilibrio, l'allenamento orientato al compito e la facilitazione propriocettiva neuromuscolare, per migliorare l'andatura, l'equilibrio e la funzione degli arti inferiori.

In particolare il PNF migliora il controllo della postura, che si traduce in un miglioramento dell'efficienza dell'andatura. Un esempio è lo studio condotto da Radzimska et al (2012), il cui scopo era quello di valutare l'efficacia della tecnica

PNF nel migliorare il modello di andatura nelle persone affette da paralisi cerebrale. Ulteriori obiettivi erano quelli di valutare l'impatto della terapia sul movimento delle articolazioni degli arti inferiori, il miglioramento dell'attività di preparazione all'andatura e il cambiamento del modello dell'andatura. Lo studio comprendeva venti soggetti (nove ragazze e undici ragazzi) che svolgevano dieci sessioni di terapia basata sul PNF, cinque volte a settimana, della durata di quarantacinque minuti ciascuno. I risultati hanno dimostrato che i soggetti, prima della terapia, percorrevano una distanza di 20 metri in 61,9 secondi, mentre dopo il trattamento, il tempo medio era migliorato significativamente, attestandosi a 46,6 secondi. In conclusione il PNF migliorava il controllo della postura, aumentando l'efficienza e il tempo di esecuzione della locomozione. La terapia, tuttavia, non aveva influito sul miglioramento del ROM attivo nelle articolazioni degli arti inferiori, ma portava a cambiamenti del ROM passivo.

Al contrario lo studio condotto da Rajalaxmi et al (2021), il cui obiettivo era quello di valutare e confrontare gli effetti dell'allenamento orientato al compito (allenamento funzionale) e il PNF sulla mobilità e l'equilibrio nella persone con paralisi cerebrale spastica, aveva dimostrato che l'allenamento orientato al compito era più vantaggioso del PNF. Venti soggetti erano stati divisi in due gruppi, uno che riceveva la formazione orientata al compito (A) e uno il PNF (B). I risultati hanno mostrato che, dopo il trattamento, il gruppo A riportava miglioramenti maggiori in termini di mobilità ed equilibrio, rispetto al gruppo B, avvalorando la tesi sopra citata.

### **3.5.1 Le procedure del PNF**

Il PNF propone esercizi specifici in preparazione alla deambulazione, che vengono eseguiti in posizione seduta ed in piedi e sono parte integrante della rieducazione dell'andatura. La progressione delle procedure PNF nella paralisi cerebrale, infatti, segue un percorso gerarchico, dalla mobilità alla stabilità, quindi la mobilità controllata ed infine il movimento abile. Questo percorso permette al soggetto di migliorare la flessibilità, la coordinazione posturale e l'andatura. Questo è fondamentale nei pazienti affetti da paralisi cerebrale spastica, essi infatti sono caratterizzati dalla mancanza di mobilità a livello della colonna lombare, del bacino,

dell'articolazione dell'anca e mostrano un movimento pelvico asimmetrico durante la deambulazione (Dabhi, Rakholiya, 2020).

Come anticipato nei due precedenti capitoli, il PNF è una tecnica specifica per la mobilizzazione dei tessuti molli e comporta l'applicazione di un allungamento graduato e progressivo, per promuovere la sintesi del collagene e l'orientamento delle fibre, nelle prime fasi del processo di guarigione e in secondo luogo permette una maggiore risposta, dovuta ai cambiamenti del tessuto viscoelastico, nella fasi successive della guarigione. Questo comporta un aumento della flessibilità muscolare e dell'equilibrio, riportando il movimento e la funzione negli arti paretici. Tali risultati sono stati evidenziati dallo studio condotto da Rajalaxmi et al (2021), condotto su 20 soggetti affetti da paralisi cerebrale, che si sottoponevano ad un allenamento PNF per 45 minuti, 6 giorni a settimana per 12 settimane. I risultati hanno dimostrato che i soggetti presentavano un miglioramento sulla *Pediatric Balance Scale* (PBS), per quanto riguarda l'equilibrio, da 32,8 a 36,8 ( $P < 0,001$ ) e un miglioramento della mobilità nel *Timed up and go test* (TUGT), da 12,8 a 10,3 ( $P < 0,001$ ).

Il PNF viene utilizzato per stimolare il sistema neuromuscolare nel tentativo di eccitare i propriocettori, al fine di produrre un movimento desiderato. Il PNF stimola i propriocettori presenti nei muscoli e nei tendini ed aiuta a migliorare le prestazioni, la flessibilità e l'equilibrio, aumentando la coordinazione e la stimolazione della flessibilità muscolare nei pazienti affetti da paralisi cerebrale (Krishna et al, 2020). Il PNF inoltre migliora il ROM articolare aumentando la lunghezza del muscolo e l'efficienza neuromuscolare. Il meccanismo fisiologico che sta alla base dell'aumento del ROM, è dovuto all'inibizione autogena e reciproca, che permettono di allungare le strutture contratte, rilassare i muscoli ipertonici, dare inizio al movimento e migliorare il controllo del bacino. Il modo in cui le informazioni propriocettive, derivanti dal PNF, vengono utilizzate per stimolare i muscoli e i nervi, sono alla base del miglioramento dell'equilibrio e della funzione degli arti inferiori, aiutando la reazione dei fusi neuromuscolari e degli organi tendinei di Golgi, situati nei muscoli e nelle articolazioni e trasformando i semplici movimenti in schemi motori utili. Il miglioramento dunque delle capacità

di equilibrio e di deambulazione, deriva principalmente da un'aumentata stabilità delle articolazioni (Dabhi, Rakholiya, 2020).

In conclusione si può affermare che la maggior parte degli studi dimostra l'efficacia del PNF nel trattamento della paralisi cerebrale. In particolare questo migliora la postura, che si traduce in un miglioramento dell'efficienza dell'andatura (Radziminsk et al, 2012), migliora la deambulazione a livello della lunghezza del passo, cadenza e velocità dell'andatura (Krishna et al, 2020), ha un effetto positivo sul controllo motorio selettivo degli arti inferiori, nei bambini con paralisi cerebrale emiplegica (Kale et al, 2021) e contribuisce a migliorare l'equilibrio e l'andatura nei bambini con paralisi cerebrale paraplegica spastica (Krishna et al, 2019). Pochi sono gli studi che affermano che altre pratiche sono più vantaggiose (Rajalaxmi et al, 2021), anche se quest'ultimo sostiene comunque che il PNF aveva portato a miglioramenti nell'equilibrio e nella deambulazione.

### **3.5.2 Ulteriori utilizzi del PNF**

Nonostante negli ultimi anni, la pratica del PNF, sia utilizzata nel trattamento della deambulazione dei pazienti con paralisi cerebrale, i suoi primi usi erano rivolti al controllo sensomotorio orale. Oltre ai sintomi muscolo-scheletrici, i pazienti con paralisi cerebrale, presentano un'insufficiente coordinazione orofacciale, palatolinguale e del controllo della muscolatura della testa e del collo. Le difficoltà di deglutizione provocano un'eccessiva concentrazione di saliva nella parte anteriore della cavità orale e incontrollata perdita di questa. Problemi di perdita di saliva, si traducono spesso in difetti della funzione masticatoria, infezioni e disidratazione. La rieducazione neuromuscolare facciale, in questo caso, è un processo di facilitazione del movimento del viso, eliminando gli schemi indesiderati. Questo programma fornisce opportunità per il recupero del movimento e della funzione facciale. In particolare, nel PNF, il terapeuta facilita la contrazione volontaria del muscolo danneggiato, applicando uno stiramento globale e poi una resistenza. Nella pratica facciale il PNF viene eseguito in tre regioni oro facciali: la tomaia (fronte e occhi), l'intermedio (naso) e l'inferiore (bocca). In particolare il PNF migliora il controllo sensomotorio orale (Muammer et al, 2010) con una diminuzione degli episodi di perdita di saliva. Lo studio è stato condotto su 15



soggetti affetti da paralisi cerebrale spastica, che si sono sottoposti ad un trattamento PNF, per il tratto oro facciale, per 20 minuti per due volte a settimana. Il trattamento prevedeva il sorridere con e senza aprire la bocca, sollevare il labbro superiore e abbassare quello inferiore, spostare la lingua in alto, in basso, a destra e a sinistra, nonché uno stretching seguito da resistenza o assistenza a seconda dell'azione muscolare.

Oltre al PNF esistono anche metodiche alternative per ridurre il tono e le contratture nei soggetti affetti da paralisi cerebrale, un esempio è la mobilizzazione passiva. Le contratture in questi soggetti sono date dal troppo poco movimento e da squilibri muscolari, causati da fenomeni di iperattività dei muscoli spastici. In questo caso la mobilizzazione passiva agisce sui muscoli che rischiano maggiormente di accorciarsi e sulle contratture già esistenti, mantenendo l'ampiezza dei movimenti il più vicino possibile alla normalità. In questa tecnica il soggetto deve essere posto in una posizione corretta, riducendo al minimo l'irrigidimento e movimenti anomali, l'allungamento deve avvenire in modo lento per una durata di cinque minuti, due volte al giorno. Questo si rivela utile nel miglioramento e nel mantenimento della funzionalità e della mobilità di questi soggetti.

Una cosa che accomuna tutti gli studi sopracitati è che mancano delle indicazioni pratiche su come eseguire il PNF in questo tipo di popolazione speciale. In futuro saranno, dunque, necessari ulteriori studi che indaghino la corretta intensità, il corretto volume e il corretto recupero da somministrare nella pratica del PNF nel contesto riabilitativo e di recupero della paralisi cerebrale.

Con l'obiettivo di colmare in parte, le attuali limitazioni della letteratura circa questo argomento, nel quarto capitolo di questo elaborato proporrò alcuni esempi pratici, documentati da fotografie ed associati ad un'accurata descrizione, di quelli che ritengo possano essere i principali esercizi di allungamento mediante PNF applicabili a questa popolazione.

## **CAPITOLO 4: Applicazioni pratiche del PNF nella Paralisi Cerebrale**

L'obiettivo di questo capitolo è quello di fornire delle indicazioni e delle applicazioni pratiche per l'utilizzo del PNF nel trattamento della paralisi cerebrale. Dato che il maggior impiego del PNF in questo campo è quello del miglioramento della deambulazione, gli esercizi proposti riguarderanno soprattutto esercizi di allungamento per i distretti muscolari della parte inferiore del corpo.

### **4.1 Indicazioni**

Nonostante gli esercizi non abbiano particolari variazioni e controindicazioni è necessario seguire alcune linee guida nell'esecuzione del PNF nella paralisi cerebrale (Krishna et al, 2020):

- Eseguire preferibilmente gli esercizi seduti o stesi
- Non provocare dolore usando la forza, ma allungare dolcemente e lentamente
- Non muovere le articolazioni con movimenti a scatto. Questo provoca un rapido stiramento del muscolo, aumentando la rigidità dei muscoli spastici
- Non allungare i muscoli quando il soggetto ha momenti di improvvisa rigidità o sono presenti movimenti incontrollati, ma aspettare che i muscoli siano rilassati
- Prestare attenzione a non iperstirare le articolazioni
- Cercare la collaborazione del soggetto
- Posizionare il soggetto in modo corretto, riducendo qualsiasi irrigidimento o movimento anormale
- Nel caso di bambini porre gli esercizi in modo giocoso
- Nel caso di soggetti più adulti basare l'esercizio su un'esperienza positiva, portando ad una maggiore motivazione del paziente

### **4.2 Applicazioni pratiche**

Di seguito verrà fornita una spiegazione degli esercizi, soffermandosi sulla posizione del soggetto, l'esecuzione dell'esercizio e il ruolo svolto dall'operatore nell'aiuto alla pratica del PNF.

### 4.2.1 Ischiocrurali



**Posizione di partenza:** si chiede al soggetto, supino, di sollevare l'arto inferiore esteso, in modo da allungare i muscoli ischiocrurali fino al punto in cui non prova dolore.

**Posizione operatore:** l'operatore si posiziona in ginocchio di fronte al soggetto, appoggiando il tallone del soggetto sulla sua spalla.

**Esecuzione:** si chiede al soggetto di spingere il tallone verso il piano, contraendo in modo isometrico gli ischiocrurali per 5-6 secondi contro la resistenza dell'operatore. Si chiede poi al soggetto di rilasciare la contrazione, e l'operatore aumenta l'escursione articolare spingendo ulteriormente la coscia verso il tronco. Infine il soggetto contrae i muscoli flessori dell'anca (quadricipite e ileopsoas), fino a sollevare l'arto con il ginocchio esteso, intensificando l'allungamento.

**Note:** l'operatore si accerta che il soggetto mantenga le anche aderenti al piano.

#### 4.2.2 Ischiocrurali alternativo



**Posizione di partenza:** il soggetto, supino, solleva l'arto inferiore come nell'esercizio precedente mantenendo, tuttavia, l'anca e il ginocchio controlaterali flessi.

**Posizione operatore:** l'operatore si posiziona in ginocchio di fronte al soggetto, appoggiando il tallone del soggetto sulla sua spalla.

**Esecuzione:** si chiede al soggetto di spingere il tallone verso il piano, contraendo isometricamente i muscoli flessori per 5-6 secondi, mentre l'operatore oppone resistenza. Dunque il soggetto contrae il quadricipite per estendere il ginocchio.

**Note:** eseguire tale esercizio nel caso di pazienti con i muscoli flessori accorciati.

### 4.2.3 Quadricipite



**Posizione di partenza:** il soggetto è sdraiato in posizione prona con il ginocchio flesso, in modo da allungare il quadricipite fino al punto di massima escursione.

**Posizione operatore:** l'operatore si posiziona in ginocchio dietro al soggetto, mettendo la mano sulla caviglia dell'arto flesso del soggetto

**Esecuzione:** si chiede al soggetto di contrarre i muscoli flessori, intensificando l'allungamento del quadricipite. Dopodiché il soggetto contrae in modo isometrico, per 5-6 secondi, il quadricipite, rilascia e contrae nuovamente gli hamstrings intensificando l'allungamento. L'operatore può spingere il tallone verso il gluteo, in modo da superare la resistenza del contatto tra i muscoli flessori e il polpaccio.

**Note:** si consiglia di allungare precedentemente i muscoli flessori per evitare crampi, perchè contratti da posizione accorciata, prima di eseguire tale esercizio.

#### 4.2.4 Ileopsoas



**Posizione di partenza:** il soggetto è sdraiato in posizione prona con il ginocchio flesso.

**Posizione operatore:** l'operatore è in ginocchio dietro al soggetto e, con una mano stabilizza il soggetto attraverso l'osso sacro, mentre con l'altra sorregge la gamba appena sopra il ginocchio flesso

**Esecuzione:** si chiede al soggetto di avvicinare la coscia al suolo, contraendo isometricamente lo psoas per 5-6 secondi contro resistenza dell'operatore, infine il soggetto contrae gli estensori d'anca per sollevare la coscia, intensificando l'allungamento dello psoas.

**Note:** l'operatore si accerta che il soggetto non sollevi le anche dal suolo.

#### 4.2.5 Ileopsoas alternativo



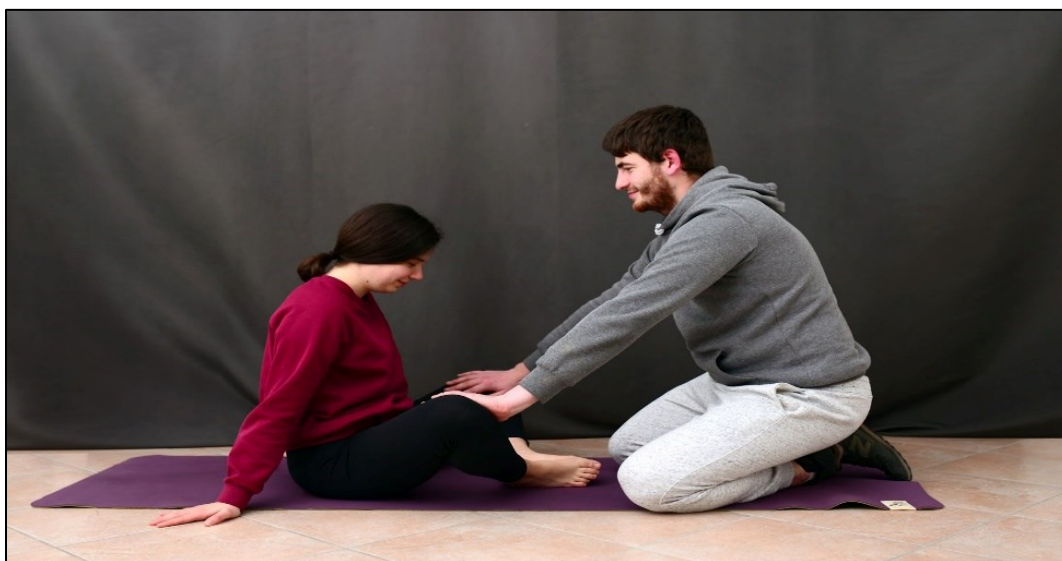
**Posizione di partenza:** il soggetto è supino con il grande trocantere del femore al limite dello step o del tavolo. Si chiede al soggetto di flettere l'anca e il ginocchio destro portandoli al petto.

**Posizione operatore:** l'operatore è inginocchiato o in piedi di fronte al soggetto, con la mano destra sopra il ginocchio sinistro, in modo da offrire resistenza alla futura contrazione.

**Esecuzione:** si chiede al soggetto di spingere il tallone sinistro verso il basso, utilizzando i glutei e gli ischiocrurali, permettendo allo psoas di allungarsi. Infine il soggetto avvicina il ginocchio sinistro alla spalla sinistra contraendo isometricamente lo psoas per 5-6 secondi.

**Note:** una volta terminata l'esecuzione sulla parte sinistra, per evitare dolori alla zona lombare, portare entrambe le ginocchia del paziente al torace e allungare successivamente la parte destra.

#### 4.2.6 Adduttori brevi



**Posizione di partenza:** il soggetto è seduto con le ginocchia flesse e le piante dei piedi che si toccano.

**Posizione operatore:** l'operatore si posiziona in ginocchio di fronte al soggetto, con le mani sulla faccia mediale delle ginocchia di questo.

**Esecuzione:** si chiede al soggetto di spingere entrambe le ginocchia, in modo da avvicinarle, contraendo isometricamente gli adduttori brevi per 5-6 secondi, contro resistenza dell'operatore. Infine il soggetto contrae gli abduttori per spingere le ginocchia verso il pavimento, intensificando l'allungamento degli adduttori.

**Note:** l'operatore, al termine dell'esercizio aiuta il soggetto a riunire le ginocchia per evitare eventuali crampi.



#### 4.2.7 Adduttori lunghi



**Posizione di partenza:** il soggetto giace supino, con le gambe distese e divaricate e le rotule rivolte verso l'alto, in modo da evitare l'allungamento degli ischiocrurali.

**Posizione operatore:** l'operatore è in piedi tra le gambe del soggetto e sistema i piedi vicino alle ginocchia di questo per opporre resistenza alla futura contrazione.

**Esecuzione:** si chiede al soggetto di contrarre isometricamente gli adduttori, riunendo le ginocchia, per 5-6 secondi mentre l'operatore oppone resistenza. Il soggetto quindi contrae gli abduttori per divaricare le gambe, intensificando l'allungamento degli adduttori.

**Note:** al termine dell'esercizio l'operatore aiuta il soggetto a riunire le ginocchia, in modo da evitare crampi.

## BIBLIOGRAFIA

American College of Obstetricians and Gynecologists. (2002). Exercise during pregnancy and the postpartum period. *Obstet. Gynecol*, 99, 171-173.

Amiri-Khorasani, M., Osman, N. A. A., & Yusof, A. (2011). Acute effect of static and dynamic stretching on hip dynamic range of motion during instep kicking in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1647-1652.

Artal, R., & O'Toole, M. (2003). Guidelines of the American College of Obstetricians and Gynecologists for exercise during pregnancy and the postpartum period. *British journal of sports medicine*, 37(1), 6-12.

Bacurau, R. F. P., Monteiro, G. A., Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., Cabral, L. F., & Aoki, M. S. (2009). Acute effect of a ballistic and a static stretching exercise bout on flexibility and maximal strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 304-308.

Baker, R., Jasinski, M., Maciag-Tymecka, I., Michalowska-Mrozek, J., Bonikowski, M., Carr, L., ... & Cosgrove, A. (2002). Botulinum toxin treatment of spasticity in diplegic cerebral palsy: a randomized, double-blind, placebo-controlled, dose-ranging study. *Developmental medicine and child neurology*, 44(10), 666-675.

Banks, R. W. (1994). The motor innervation of mammalian muscle spindles. *Progress in neurobiology*, 43(4-5), 323-362.

Banks, R. W. (2015). The innervation of the muscle spindle: a personal history. *Journal of anatomy*, 227(2), 115-135.

Bass, N. (1999). Cerebral palsy and neurodegenerative disease. *Current opinion in pediatrics*, 11(6), 504-507.

Beedle, B. B., & Mann, C. L. (2007). A comparison of two warm-ups on joint range of motion. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 776.

- Beedle, B., Rytter, S. J., Healy, R. C., & Ward, T. R. (2008). Pretesting static and dynamic stretching does not affect maximal strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 1838-1843.
- Behm, D. G. (2018). *The science and physiology of flexibility and stretching: implications and applications in sport performance and health*. Routledge.
- Behm, D. G., & Chaouachi, A. (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European journal of applied physiology*, 111(11), 2633-2651.
- Behm, D. G., & Kibele, A. (2007). Effects of differing intensities of static stretching on jump performance. *European journal of applied physiology*, 101(5), 587-594.
- Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D., & McHugh, M. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 41(1), 1-11.
- Behm, D. G., Button, D. C., & Butt, J. C. (2001). Factors affecting force loss with prolonged stretching. *Canadian Journal of applied physiology*, 26(3), 262-272.
- Bisconti, A. V., Cè, E., Longo, S., Venturelli, M., Coratella, G., Limonta, E., ... & Esposito, F. (2020). Evidence for improved systemic and local vascular function after long-term passive static stretching training of the musculoskeletal system. *The Journal of Physiology*, 598(17), 3645-3666.
- Blaize, A. N., Pearson, K. J., & Newcomer, S. (2015). Impact of maternal exercise during pregnancy on offspring chronic disease susceptibility. *Exercise and sport sciences reviews*, 43(4), 198.
- Boscarino, L. F., Ounpuu, S., Davis 3rd, R. B., Gage, J. R., & DeLuca, P. A. (1993). Effects of selective dorsal rhizotomy on gait in children with cerebral palsy. *Journal of pediatric orthopedics*, 13(2), 174-179.
- Bradley, P. S., Olsen, P. D., & Portas, M. D. (2007). The effect of static, ballistic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(1), 223-226.

- Brodal, P. (2004). *The central nervous system: structure and function*. oxford university Press.
- Brown, J. K., & Minns, R. A. (1989). Mechanisms of deformity in children with cerebral palsy. *Sem Orthop*, 4, 236-255.
- Butler, C., & Darrah, J. (2001). Effects of neurodevelopmental treatment (NDT) for cerebral palsy: an AACPD evidence report. *Developmental medicine and child neurology*, 43(11), 778-790.
- Butterfield, T. A., & Herzog, W. (2006). Effect of altering starting length and activation timing of muscle on fiber strain and muscle damage. *Journal of Applied Physiology*, 100(5), 1489-1498..
- Campbell, W. M., Ferrel, A., McLaughlin, J. F., Grant, G. A., Loeser, J. D., Graubert, C., & Bjornson, K. (2002). Long-term safety and efficacy of continuous intrathecal baclofen. *Developmental medicine and child neurology*, 44(10), 660-665.
- Caplan, N., Rogers, R., Parr, M. K., & Hayes, P. R. (2009). The effect of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretch training on running mechanics. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1175-1180.
- Carlson, J. E., Ostir, G. V., Black, S. A., Markides, K. S., Rudkin, L., & Goodwin, J. S. (1999). Disability in older adults 2: Physical activity as prevention. *Behavioral Medicine*, 24(4), 157-168.
- Charil, A., Corbo, M., Filippi, M., Kesavadas, C., Agosta, F., Munerati, E., ... & Falini, A. (2009). Structural and metabolic changes in the brain of patients with upper motor neuron disorders: a multiparametric MRI study. *Amyotrophic Lateral Sclerosis*, 10(5-6), 269-279.
- Chitra, J., & Joshi, D. D. (2017). The effect of proprioceptive neuromuscular facilitation techniques on trunk control in hemiplegic subjects: A pre post design. *Physiotherapy-The Journal of Indian Association of Physiotherapists*, 11(2), 40.

- Cortez-Cooper, M. Y., Anton, M. M., DeVan, A. E., Neidre, D. B., Cook, J. N., & Tanaka, H. (2008). The effects of strength training on central arterial compliance in middle-aged and older adults. *European Journal of Preventive Cardiology*, *15*(2), 149-155.
- Craig, R., & Padrón, R. (2004). Molecular structure of the sarcomere. *Myology*, *3*, 129-144.
- Cui, J., Blaha, C., Moradkhan, R., Gray, K. S., & Sinoway, L. I. (2006). Muscle sympathetic nerve activity responses to dynamic passive muscle stretch in humans. *The Journal of physiology*, *576*(2), 625-634.
- Dabhi, M., & Rakholiya, S. (2020). A Study to Evaluate the Effect of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Balance and Gait in Spastic Diplegic Cerebral Palsy: An Interventional Study. *EXECUTIVE EDITOR*, *11*(7), 481.
- Daniel, D. C. (2017). Effects of ultrasound therapy with taping PNF training and PNF training with taping in treatment and rehabilitation of sports injuries of high ankle sprain. *Journal of Dr. NTR University of Health Sciences*, *6*(2), 92.
- Dobson, F., Boyd, R. N., Parrott, J., Nattrass, G. R., & Graham, H. K. (2002). Hip surveillance in children with cerebral palsy: impact on the surgical management of spastic hip disease. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, *84*(5), 720-726.
- Dodd, K. J., Taylor, N. F., & Damiano, D. L. (2002). A systematic review of the effectiveness of strength-training programs for people with cerebral palsy. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *83*(8), 1157-1164.
- Eisenberg, E., & Hill, T. L. (1985). Muscle contraction and free energy transduction in biological systems. *Science*, *227*(4690), 999-1006.
- Esquerdo, O. M. (2012). *Enciclopedia dello stretching*. Cesena: Erika Editrice.
- Etnyre, B. R., & Abraham, L. D. (1986). Gains in range of ankle dorsiflexion using three popular stretching techniques. *American journal of physical medicine*, *65*(4), 189-196.

Etnyre, B. R., & Lee, E. J. (1988). Chronic and acute flexibility of men and women using three different stretching techniques. *Research quarterly for exercise and sport*, 59(3), 222-228.

Faelli, E., Panasci, M., Ferrando, V., Bisio, A., Filipas, L., Ruggeri, P., & Bove, M. (2021). The Effect of Static and Dynamic Stretching during Warm-Up on Running Economy and Perception of Effort in Recreational Endurance Runners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8386.

Ferber, R., Osternig, L. R., & Gravelle, D. C. (2002). Effect of PNF stretch techniques on knee flexor muscle EMG activity in older adults. *Journal of electromyography and kinesiology*, 12(5), 391-397.

Fletcher, I. M., & Jones, B. (2004). The effect of different warm-up stretch protocols on 20 meter sprint performance in trained rugby union players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 885-888.

Fowler, E. G., Ho, T. W., Nwigwe, A. I., & Dorey, F. J. (2001). The effect of quadriceps femoris muscle strengthening exercises on spasticity in children with cerebral palsy. *Physical therapy*, 81(6), 1215-1223.

Fowles, J. R., Sale, D. G., & MacDougall, J. D. (2000). Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *Journal of applied physiology*, 89(3), 1179-1188.

Fryer, G. (2011). Muscle energy technique: An evidence-informed approach. *International Journal of Osteopathic Medicine*, 14(1), 3-9.

Gallon, D., Rodacki, A. L. F., Hernandez, S. G., Drabovski, B., Outi, T., Bittencourt, L. R., & Gomes, A. R. S. (2011). The effects of stretching on the flexibility, muscle performance and functionality of institutionalized older women. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 44, 229-235.

Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., ... & Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and

maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise.

Glickstein, M., & Doron, K. (2008). Cerebellum: connections and functions. *The Cerebellum*, 7(4), 589-594.

Godges, J. J., MacRae, H., Longdon, C., Tinberg, C., & MacRae, P. (1989). The effects of two stretching procedures on hip range of motion and gait economy. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 10(9), 350-357.

Graham, H. K., & Selber, P. (2003). Musculoskeletal aspects of cerebral palsy. *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 85(2), 157-166.

Graham, H. K., Rosenbaum, P., Paneth, N., Dan, B., Lin, J. P., Damiano, D. L., ... & Lieber, R. L. (2016). Cerebral palsy. *Nature reviews Disease primers*, 2(1), 1-25.

Green, D. J., & Smith, K. J. (2018). Effects of exercise on vascular function, structure, and health in humans. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 8(4), a029819.

Green, D. J., Hopman, M. T., Padilla, J., Laughlin, M. H., & Thijssen, D. H. (2017). Vascular adaptation to exercise in humans: role of hemodynamic stimuli. *Physiological reviews*, 97(2), 495-528.

Groenewegen, H. J. (2003). The basal ganglia and motor control. *Neural plasticity*, 10(1-2), 107-120.

Guisard, N., & Duchateau, J. (2006). Neural aspects of muscle stretching. *Exercise and sport sciences reviews*, 34(4), 154-158.

Gulati, S., & Sondhi, V. (2018). Cerebral palsy: an overview. *The Indian Journal of Pediatrics*, 85(11), 1006-1016.

Haley, S. M., Coster, W., Ludlow, L. H., Haltiwanger, J. T., & Andrellos, P. J. (1992). *Pediatric evaluation of disability inventory (PEDI)*. Health and Disability Research Institute Boston University.

- Herda, T. J., Herda, N. D., Costa, P. B., Walter-Herda, A. A., Valdez, A. M., & Cramer, J. T. (2013). The effects of dynamic stretching on the passive properties of the muscle-tendon unit. *Journal of sports sciences, 31*(5), 479-487.
- Hewett, T. E., Lindenfeld, T. N., Riccobene, J. V., & Noyes, F. R. (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. *The American journal of sports medicine, 27*(6), 699-706.
- Hindle, K. B., Whitcomb, T. J., Briggs, W. O., & Hong, J. (2012). Proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF): Its mechanisms and effects on range of motion and muscular function. *Journal of human kinetics, 31*, 105.
- Hotta, Kazuki, et al. "Stretching exercises enhance vascular endothelial function and improve peripheral circulation in patients with acute myocardial infarction." *International heart journal 54.2* (2013): 59-63.
- Jepsen, J. R., & Thomsen, G. (2008). Prevention of upper limb symptoms and signs of nerve afflictions in computer operators: The effect of intervention by stretching. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology, 3*(1), 1-13.
- Kabat, H. (1947). Studies of neuromuscular dysfunction; treatment of chronic multiple sclerosis with neostigmine and intensive muscle re-education. *Permanente Foundation medical bulletin, 5*(1), 1-14.
- Kabat, H., & Knott, M. (1954). Proprioceptive facilitation therapy for paralysis. *South African Journal of Physiotherapy, 8*(4), 8-12.
- Kale, G., Bisen, R., & Ranade, P. (2021). Effect Of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation On Selective Motor Control Of Lower Extremity In Children With Hemiplegic Cerebral Palsy: An Experimental Pilot Study. *National Journal of Integrated Research in Medicine, 12*(1).
- Kay, A. D., & Blazevich, A. J. (2012). Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: a systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise®, 44*(1), 154-164.
- Kiehn, O. (2016). Decoding the organization of spinal circuits that control locomotion. *Nature Reviews Neuroscience, 17*(4), 224-238.



- Knott, M. (1952). Specialized neuromuscular technics in the treatment of cerebral palsy. *Physical Therapy*, 32(2), 73-75.
- Ko, Jongbum, et al. "Stretching is Superior to Brisk Walking for Reducing Blood Pressure in People With High-Normal Blood Pressure or Stage I Hypertension." *Journal of Physical Activity and Health* 18.1 (2020): 21-28.
- Krigger, K. W. (2006). Cerebral palsy: an overview. *American family physician*, 73(1), 91-100.
- Krishna, K. R., & Sinha, M. K. (2019). Goal directed physiotherapy treatment program for improving lower extremity function in a child with spastic paraplegic cerebral palsy. A case report. *SCOPUS IJPHRD CITATION SCORE*, 10(7), 37.
- Krishna, K. R., Thakur, A., Priya, P. R., HS, S., Srivastav, S., & Prabhu, S. (2020). Effect of PNF in Improving Lower Extremity Function in Adolescent with Spastic Diplegic Cerebral Palsy-A Case Report. *EXECUTIVE EDITOR*, 11(7), 434.palsy. *Humanities dimension of medicine and physiotherapy, Bydgoszcz: University of Health Sciences*, 57-74.
- Kröger, S., & Watkins, B. (2021). Muscle spindle function in healthy and diseased muscle. *Skeletal Muscle*, 11(1), 1-13.
- Kubo, K., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2002). Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *The journal of physiology*, 538(1), 219-226.
- Lacaze, D. H. D. C., Sacco, I. D. C., Rocha, L. E., Pereira, C. A. D. B., & Casarotto, R. A. (2010). Stretching and joint mobilization exercises reduce call-center operators' musculoskeletal discomfort and fatigue. *Clinics*, 65(7), 657-662.
- Lazarou, L., Kofotolis, N., Pafis, G., & Kellis, E. (2018). Effects of two proprioceptive training programs on ankle range of motion, pain, functional and balance performance in individuals with ankle sprain. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 31(3), 437-446.

- Lempke, L., Wilkinson, R., Murray, C., & Stanek, J. (2018). The effectiveness of PNF versus static stretching on increasing hip-flexion range of motion. *Journal of sport rehabilitation*, 27(3), 289-294.
- Lieber, R. L. (2002). *Skeletal muscle structure, function, and plasticity*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Lipkin, P. H., Macias, M. M., Norwood, K. W., Brei, T. J., Davidson, L. F., Davis, B. E., ... & Voigt, R. G. (2020). Promoting optimal development: identifying infants and young children with developmental disorders through developmental surveillance and screening. *Pediatrics*, 145(1).
- Maddigan, M. E., Peach, A. A., & Behm, D. G. (2012). A comparison of assisted and unassisted proprioceptive neuromuscular facilitation techniques and static stretching. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(5), 1238-1244.
- Marek, S. M., Cramer, J. T., Fincher, A. L., Massey, L. L., Dangelmaier, S. M., Purkayastha, S., ... & Culbertson, J. Y. (2005). Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *Journal of athletic training*, 40(2), 94.
- Matthews, P. B. (2015). Where anatomy led, physiology followed: a survey of our developing understanding of the muscle spindle, what it does and how it works. *Journal of anatomy*, 227(2), 104.
- McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G., Kremenic, I. J., Nicholas, S. J., & Gleim, G. W. (1999). The role of passive muscle stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *The American journal of sports medicine*, 27(5), 594-599.
- McLaughlin, J., Bjornson, K., Temkin, N., Steinbok, P., Wright, V., Reiner, A., ... & Ferrel, A. (2002). Selective dorsal rhizotomy: meta-analysis of three randomized controlled trials. *Developmental medicine and child neurology*, 44(1), 17-25.
- Miller, F. (1995). Complications in cerebral palsy treatment. *Complications in Pediatric Orthopedic Surgery*, 477-544.

- Mitchell, U. H., Myrer, J. W., Hopkins, J. T., Hunter, I., Feland, J. B., & Hilton, S. C. (2007). Acute stretch perception alteration contributes to the success of the PNF “contract-relax” stretch. *Journal of sport rehabilitation, 16*(2), 85-92.
- Momberger, T. S., Levick, J. R., & Mason, R. M. (2006). Mechanosensitive synoviocytes: a Ca<sup>2+</sup>-PKC $\alpha$ -MAP kinase pathway contributes to stretch-induced hyaluronan synthesis in vitro. *Matrix biology, 25*(5), 306-316.
- Moore, G., Durstine, J. L., Painter, P., & American College of Sports Medicine. (2016). *Acsm's exercise management for persons with chronic diseases and disabilities, 4E*. Human Kinetics.
- Moore, J. C. (1984). The Golgi tendon organ: a review and update. *American Journal of Occupational Therapy, 38*(4), 227-236.
- Morse, C. I., Degens, H., Seynnes, O. R., Maganaris, C. N., & Jones, D. A. (2008). The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit. *The Journal of physiology, 586*(1), 97-106.
- Muammer, R., Kilic, E., & Hayran, O. (2010). The effect of physiotherapy treatment on saliva decrease in children with cerebral palsy. *Physiotherapy and Occupational Therapy, 4*(4), 129.
- Nelson, A. G., Driscoll, N. M., Landin, D. K., Young, M. A., & Schexnayder, I. C. (2005). Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance. *Journal of sports sciences, 23*(5), 449-454
- Nelson, K. B., & Grether, J. K. (1999). Causes of cerebral palsy. *Current opinion in pediatrics, 11*(6), 487-491.
- Nelson, R. T., & Bandy, W. D. (2005). An update on flexibility. *Strength and conditioning journal, 27*(1), 10.
- Nene, A. V., Evans, G. A., & Patrick, J. H. (1993). Simultaneous multiple operations for spastic diplegia. Outcome and functional assessment of walking in 18 patients. *The Journal of bone and joint surgery. British volume, 75*(3), 488-494.

- Ochiană, G., Ochiană, N., & Ochiană, M. A. (2017). the role of pnf techniques in the recovery of the paralysis of external popliteal sciatic nerve. *gymnasium*, 17(1).
- O'Hora, J., Cartwright, A., Wade, C. D., Hough, A. D., & Shum, G. L. (2011). Efficacy of static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation stretch on hamstrings length after a single session. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1586-1591.
- Palekar, T. J., Khisty, A., Basu, S., & Baxi, G. (2019). Comparative Study Between Facial PNF And Kinesio Taping Along With Facial Exercises In The Treatment Of Bell's Palsy. *National Journal of Integrated Research in Medicine*, 10(2).
- Paoli, A., Neri, M., Bianco, A. (2013). *Principi di metodologia del fitness*. Cesena: Erika Editrice.
- Pearson, T. S., Rowland, L. P., & Merritt, H. H. (Eds.). (2006). *Merritt's neurology handbook*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Pollock, M. L., Gaesser, G. A., Butcher, J. D., Després, J. P., Dishman, R. K., Franklin, B. A., & Garber, C. E. (1998). ACSM position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Journals AZ> Medicine & Science*, 30, 6.
- Power, K., Behm, D., Cahill, F., Carroll, M., & Young, W. (2004). An acute bout of static stretching: effects on force and jumping performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(8), 1389-1396.
- Radziminska, A., Srokowski, G., Bulatowicz, I., Kazmierczak, U., Strojek, K., Baumgart, M., ... & Zukow, W. (2012). Assessment of the PNF method influence on gait parameters improvement in persons with cerebral
- Rajalaxmi, V., Swetha, P., Deepthi, R. N. V., Sathya, R., Omana, S., & Sivapragasam, P. (2021). Efficacy of task-oriented training vs proprioceptive neuromuscular facilitation on mobility and balance in spastic cerebral palsy. *Biomedicine*, 41(2), 297-300.

- Reddihough, D. S., & Collins, K. J. (2003). The epidemiology and causes of cerebral palsy. *Australian Journal of physiotherapy*, 49(1), 7-12.
- Rowlands, A. V., Marginson, V. F., & Lee, J. (2003). Chronic flexibility gains: effect of isometric contraction duration during proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques. *Research quarterly for exercise and sport*, 74(1), 47-51.
- Savvaki, D., Taousani, E., Goulis, D. G., Tsirou, E., Voziki, E., Douda, H., ... & Tokmakidis, S. P. (2018). Guidelines for exercise during normal pregnancy and gestational diabetes: a review of international recommendations. *Hormones*, 17(4), 521-529.
- Sekir, U., Arabaci, R., Akova, B., & Kadagan, S. M. (2010). Acute effects of static and dynamic stretching on leg flexor and extensor isokinetic strength in elite women athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(2), 268-281.
- Shah, S. R., Doshi, H., & Shah, C. (2021). Effectiveness of pelvic proprioceptive neuromuscular facilitation on trunk stability and gait parameter in stroke patients: A systemic review.
- Sharma, V., & Kaur, J. (2017). Effect of core strengthening with pelvic proprioceptive neuromuscular facilitation on trunk, balance, gait, and function in chronic stroke. *Journal of exercise rehabilitation*, 13(2), 200.
- Sharman, M. J., Cresswell, A. G., & Riek, S. (2006). Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. *Sports medicine*, 36(11), 929-939.
- Sheean, G. (2002). The pathophysiology of spasticity. *European journal of neurology*, 9, 3-9.
- Sherrington, C. S. (1909). On plastic tonus and proprioceptive reflexes. *Quarterly Journal of Experimental Physiology: Translation and Integration*, 2(2), 109-156.
- Shimura, K., & Kasai, T. (2002). Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation on the initiation of voluntary movement and motor evoked potentials in upper limb muscles. *Human movement science*, 21(1), 101-113.

- Shrier, I. (1999). Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: a critical review of the clinical and basic science literature. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 9(4), 221-227.
- Singh, M. A. F. (2002). Exercise comes of age: rationale and recommendations for a geriatric exercise prescription. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57(5), M262-M282.
- Smith, C. A. (1994). The warm-up procedure: to stretch or not to stretch. A brief review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 19(1), 12-17.
- Tate, J. (2009). Effects of Stretch Programs on Musculoskeletal Injuries.
- Taylor, F. (2001). National Institute of Neurological Disorders and Stroke (USA); Office of Science and Health Reports. *Cerebral palsy: hope through research. Bethesda: MD Institute.*
- Thacker, S. B., Gilchrist, J., Stroup, D. F., & Kimsey Jr, C. D. (2004). The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(3), 371-378.
- Thomas, E., Bianco, A., Paoli, A., & Palma, A. (2018). The relation between stretching typology and stretching duration: the effects on range of motion. *International journal of sports medicine*, 39(04), 243-254.
- Tyson, S. F. (1999). Trunk kinematics in hemiplegic gait and the effect of walking aids. *Clinical rehabilitation*, 13(4), 295-300.
- Venturelli, M., Cè, E., Limonta, E., Bisconti, A. V., Devoto, M., Rampichini, S., & Esposito, F. (2017). Central and peripheral responses to static and dynamic stretch of skeletal muscle: mechano-and metaboreflex implications. *Journal of Applied Physiology*, 122(1), 112-120.
- Von Schroeder, H. P., Coutts, R. D., Lyden, P. D., Billings, E., & Nickel, V. L. (1995). Gait parameters following stroke: a practical assessment. *Journal of rehabilitation research and development*, 32, 25-25.

Voss, D. E., Knott, M., & Kabat, H. (1953). The application of neuromuscular facilitation in the treatment of shoulder disabilities. *Physical Therapy*, 33(10), 536-541.

Wilson, J. M., Hornbuckle, L. M., Kim, J. S., Ugrinowitsch, C., Lee, S. R., Zourdos, M. C., ... & Panton, L. B. (2010). Effects of static stretching on energy cost and running endurance performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(9), 2274-2279.

Worrell, T. W., Smith, T. L., & Winegardner, J. (1994). Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 20(3), 154-159.

Young, W. B. (2007). The use of static stretching in warm-up for training and competition. *International journal of sports physiology and performance*, 2(2), 212-216.

Zotz, T. G. G., Loureiro, A. P. C., Valderramas, S. R., & Gomes, A. R. S. (2014). Stretching—An Important Strategy to Prevent Musculoskeletal Aging: A Systematic Review and Meta-analysis. *Topics in Geriatric Rehabilitation*, 30(4), 246-255

Zourdos, M. C., Wilson, J. M., Sommer, B. A., Lee, S. R., Park, Y. M., Henning, P. C., ... & Kim, J. S. (2012). Effects of dynamic stretching on energy cost and running endurance performance in trained male runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(2), 335-341.

## **SITOGRAFIA**

<https://www.nutritionalacademy.it>