



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

**SCUOLA DI SCIENZE MEDICHE E FARMACEUTICHE
DIPARTIMENTO DI MEDICINA SPERIMENTALE (DIMES)**

*Corso di laurea magistrale in Scienze e tecniche
dello sport (LM-68)*

**Effetti di differenti protocolli di stretching
statico e dinamico sulla performance del tiro
nella pallanuoto**

Relatrice:

Prof.ssa Vittoria Ferrando

Correlatore:

Prof. Marco Panasci

Candidato:

Federico Calleri di Sala

Anno accademico 2025 - 2026

INDICE

INTRODUZIONE.....	2
<i>La flessibilità</i>	<i>2</i>
<i>La mobilità articolare.....</i>	<i>3</i>
<i>L' elasticità</i>	<i>3</i>
<i>Fisiologia dello stretching</i>	<i>4</i>
<i>Fuso neuromuscolare</i>	<i>5</i>
<i>Organo tendineo del Golgi</i>	<i>8</i>
<i>Differenza stretching statico e dinamico</i>	<i>10</i>
<i>Stretching statico</i>	<i>11</i>
<i>Stretching dinamico</i>	<i>11</i>
<i>Stretching e performance negli sport di lancio</i>	<i>12</i>
<i>Stretching statico e dinamico nella pallanuoto</i>	<i>14</i>
<i>La biomeccanica del tiro nella pallanuoto</i>	<i>15</i>
MATERIALI E METODI.....	18
<i>Partecipanti</i>	<i>18</i>
<i>Disegno sperimentale</i>	<i>19</i>
<i>Protocollo sperimentale.....</i>	<i>20</i>
<i>Valutazioni della performance di tiro</i>	<i>25</i>
<i>Analisi statistica</i>	<i>26</i>
DISCUSSIONE.....	31
CONCLUSIONE	34
BIBLIOGRAFIA	35

INTRODUZIONE

Lo stretching è stato definito da Taylor et al (1990) come una serie di esercizi volti all'allungamento dei muscoli e dei tessuti connettivi, con l'obiettivo di aumentare la flessibilità e l'ampiezza di movimento articolare (ROM). Con il termine stretching quindi ci si riferisce ad una serie di esercizi che muovono le articolazioni, insieme ai relativi muscoli, tendini e legamenti, nel loro range di movimento (Bushman & American College of Sports Medicine, 2017). Perciò lo stretching non agisce soltanto sul muscolo, ma su tutte le componenti dell'apparato locomotore influenzandole in maniera diversa a seconda delle diverse risposte biomeccaniche che i differenti tessuti biologici forniscono alla trazione (Paoli et al., 2013).

Lo stretching può essere effettuato in diverse modalità sulla base di quattro parametri principali che sono correlati con l'aumento della flessibilità di un'articolazione: l'intensità, la durata, la frequenza (che può essere distinta in frequenza per sessione e frequenza per settimana) e la posizione di stretching. 6 Le tecniche più comunemente utilizzate sono: lo stretching statico (che si divide in attivo e passivo), il dinamico, il ballistico e la facilitazione neuromuscolare propriocettiva (PNF) (Thomas et al., 2018).

In ambito sportivo viene comunemente impiegato come parte del riscaldamento o come componente di programmi di adattamento funzionale, ma il suo ruolo fisiologico e i benefici per la performance rimangono ancora oggetto di studio e dibattito scientifico.

La flessibilità

Il termine "flessibilità" si riferisce alla proprietà intrinseca dei tessuti corporei che determina il range di movimento raggiungibile senza lesioni in un'articolazione o in un gruppo di articolazioni" (Holt et al., 1995).

La flessibilità è determinata da diversi fattori intrinseci, ossia elementi direttamente implicati nell'esecuzione del movimento. Tra questi rientrano le caratteristiche strutturali dell'articolazione come la tipologia articolare, la conformazione delle ossa, la cartilagine e la capsula articolare nonché le proprietà elastiche dell'unità muscolo-tendinea, dei legamenti, della fascia e della cute. Un ruolo fondamentale è svolto anche dai fattori neurali, in particolare dall'attività riflessa mediata dai circuiti spinali, che regolano la capacità del muscolo di contrarsi o di rilassarsi (Holt et al., 1995; Thomas et al., 2018).

Accanto a questi aspetti, la flessibilità è influenzata anche da fattori estrinseci, variabili e soggettivi, quali l'età, il livello di attività fisica o di sedentarietà, lo stile di vita, eventuali infortuni pregressi, il sesso biologico, la predisposizione genetica, la temperatura ambientale e muscolare, oltre alla tolleranza individuale allo stiramento.

Di conseguenza, la flessibilità può presentare notevoli differenze sia tra individui diversi sia tra le varie articolazioni dello stesso corpo, poiché ciascuna articolazione, in base alla propria struttura anatomica, possiede specifiche possibilità di movimento (Holt et al., 1995; Thomas et al., 2018; Bushman & American College of Sports Medicine, 2017).

Nell'ambito sportivo, la flessibilità riveste un ruolo di primo piano, poiché contribuisce alla capacità dell'atleta di eseguire movimenti tecnici con efficienza e precisione. Una adeguata flessibilità articolare permette di raggiungere ampi range di movimento senza eccessivi compensi, favorendo l'economia di movimento e il controllo motorio durante l'esecuzione di gesti sportivi specifici.

La mobilità articolare

Un concetto strettamente correlato alla flessibilità muscolare è quello di mobilità articolare, poiché quest'ultima è influenzata in modo determinante dal livello di estensibilità dei muscoli che agisce su una specifica articolazione e che ne rendono possibile il movimento. La mobilità articolare può essere definita come la capacità di un'articolazione di muoversi lungo l'intero range di movimento disponibile, raggiungendo la massima ampiezza consentita dalle sue strutture anatomiche e funzionali (Alter, 2004).

L'elasticità

L'elasticità è la proprietà di un materiale di resistere alla deformazione causata da una forza e di ritornare rapidamente alla sua forma normale. La proprietà meccanica che definisce l'elasticità di un materiale è nota come stiffness (rigidità), definita come rapporto tra forza ed allungamento.

Fisiologia dello stretching

Da un punto di vista fisiologico è noto che i sarcomeri, l'unità funzionale del muscolo scheletrico, modificano la loro lunghezza durante lo stiramento o la contrazione muscolare modificando la lunghezza totale del muscolo stesso (Figura 1).

Durante lo stiramento muscolare, la banda A si manteneva sempre costante, mentre la banda I e la zona H si estendevano. Nello specifico lo stretching muscolare è caratterizzato da una prima fase in cui l'allungamento del sarcomero avviene principalmente ad opera dei filamenti di actina e miosina e da una seconda fase in cui risultano essere i filamenti di titina i principali responsabili. È noto che all'interno del sarcomero i filamenti di miosina occupano una posizione centrale all'interno delle due linee Z e che tale posizione viene mantenuta anche quando il sarcomero è allungato, come ad esempio durante lo stretching, grazie alla presenza dei filamenti di titina che vanno dalla linea Z alla linea M. Tuttavia, soltanto la porzione di titina che si trova in prossimità della linea Z, a differenza di quella compresa nella banda A, è caratterizzata da un comportamento elastico e quindi subisce variazioni di lunghezza durante l'allungamento o la contrazione muscolare (Battaglia et al., 2008) (Figura 2).

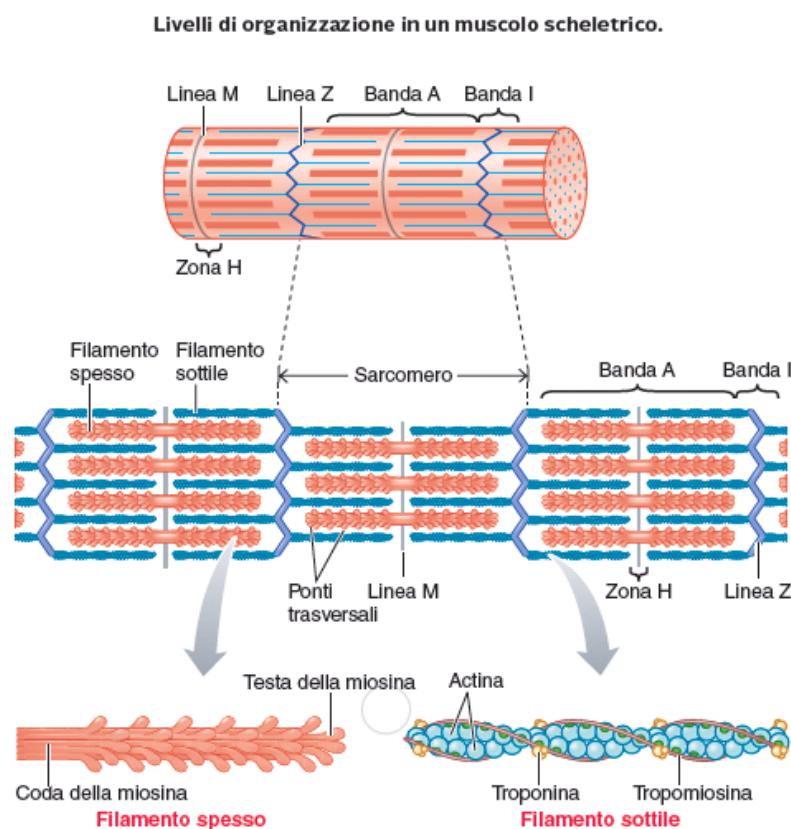


Figura 1. Organizzazione di un sarcomero

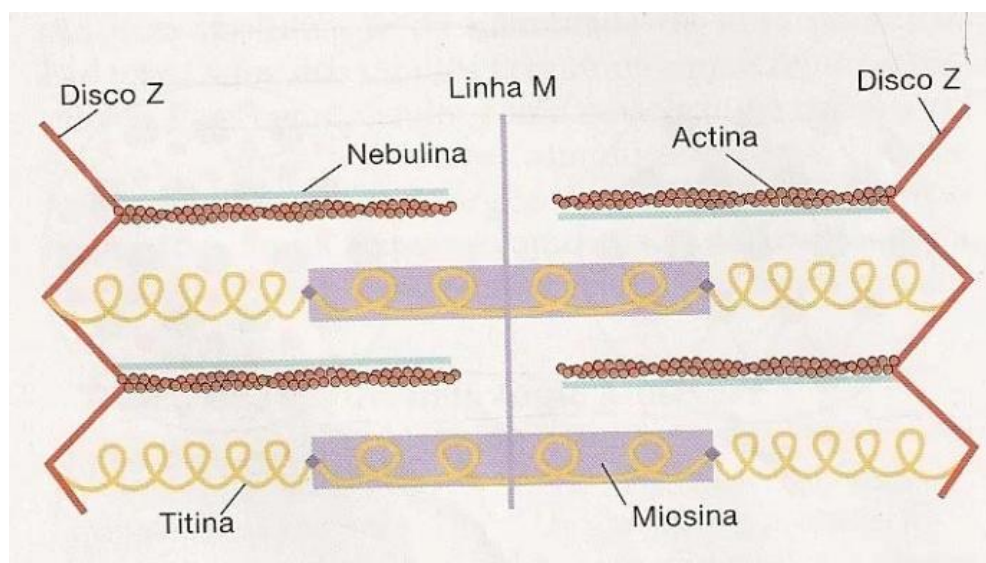


Figura 2. Schema dettagliato di un sarcomero con i suoi componenti

Come evidenziato dalla revisione di Battaglia et al. (2008), diversi studi presenti in letteratura hanno messo in luce che le componenti contrattili del muscolo, ovvero i sarcomeri, non costituiscono il principale fattore limitante dell'allungamento muscolare. È stato infatti osservato che, in condizioni in vitro, il sarcomero può essere esteso fino al 150% della propria lunghezza a riposo, mentre in vivo anche in soggetti caratterizzati da elevata estensibilità l'allungamento muscolare raggiunge valori massimi intorno al 140%.

Alla luce di tali evidenze, la limitazione all'allungamento sembrerebbe attribuibile soprattutto al tessuto connettivo che avvolge il muscolo nei suoi diversi livelli strutturali endomisio, perimisio ed epimisio, che rappresentano il principale responsabile della resistenza opposta allo stiramento muscolare.

Fuso neuromuscolare

Le risposte biomeccaniche dell'unità muscolo-tendinea durante l'allungamento non dipendono esclusivamente dalle proprietà meccaniche dei tessuti, ma sono fortemente influenzate anche da meccanismi di controllo neurale. Il muscolo scheletrico è infatti dotato di due principali recettori sensoriali: i fusi neuromuscolari e gli organi tendinei del Golgi, entrambi sensibili allo stiramento ma deputati alla trasmissione di informazioni differenti.

I fusi neuromuscolari sono recettori specializzati nel rilevare le variazioni di lunghezza del muscolo. Sono localizzati all'interno della porzione carnosa del muscolo scheletrico e costituiti da fibre muscolari modificate, denominate fibre intrafusali, racchiuse in una capsula connettivale fusiforme e disposte in parallelo rispetto alle fibre extrafusali, connesse alle estremità all'endomysio. A differenza delle fibre extrafusali, che presentano elementi contrattili lungo tutta la loro estensione, le fibre intrafusali possiedono una regione centrale non contrattile e due porzioni polari contenenti elementi contrattili (Sherwood & Bodega, 2012).

Si distinguono due tipologie di fibre intrafusali: le fibre a sacco nucleare, caratterizzate da un rigonfiamento equatoriale contenente numerosi nuclei, e le fibre a catena nucleare, più sottili e con nuclei disposti in fila nella porzione centrale (Figura 3). Queste due tipologie differiscono anche per l'innervazione afferente. Le afferenze primarie, dotate di terminazioni anulospirali, si connettono alla regione equatoriale di entrambe le fibre e sono in grado di segnalare sia variazioni rapide di lunghezza (allungamenti fasici) sia stiramenti mantenuti nel tempo (allungamenti tonici). Le afferenze secondarie, con terminazioni a fiorame, sono prevalentemente associate alle fibre a catena nucleare e rispondono principalmente agli allungamenti tonici.

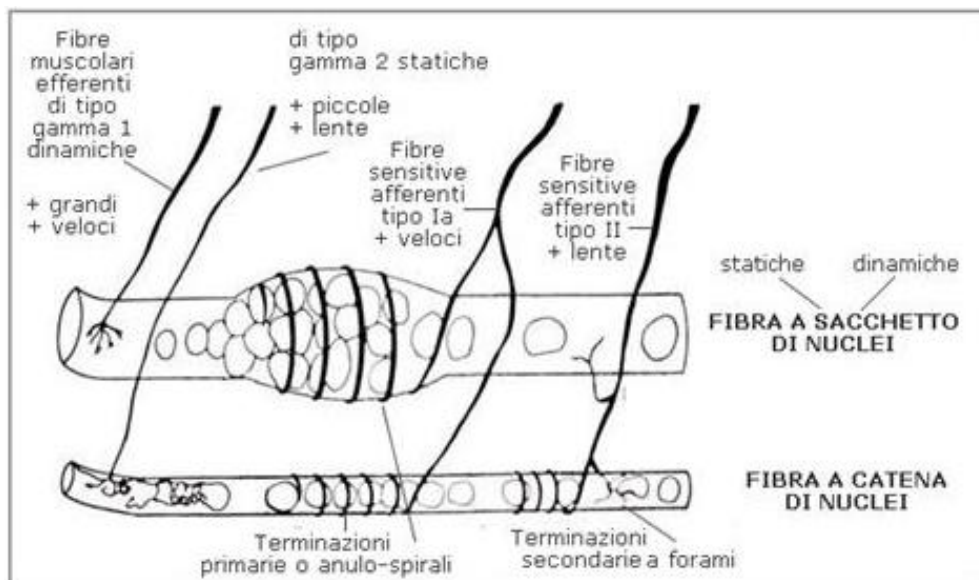


Figura 3. Fibre intrafusali del fuso neuromuscolare

Le informazioni provenienti dai fusi neuromuscolari partecipano alla regolazione del tono muscolare e all'attivazione del riflesso miotatico da stiramento (Paoli et al., 2013). Tale riflesso rappresenta una risposta contrattile automatica che si manifesta in seguito a un improvviso e inatteso incremento della lunghezza muscolare, con funzione protettiva. L'attivazione del neurone afferente primario, attraverso un circuito monosinaptico, stimola i motoneuroni α del muscolo stirato, determinandone la contrazione e contrastando così l'allungamento. Parallelamente, vengono facilitati i muscoli sinergici e inibiti quelli antagonisti tramite specifici interneuroni spinali. L'attivazione delle afferenze secondarie, invece, tende a favorire la contrazione dei muscoli flessori dell'articolazione interessata (Figura 4).

Le fibre intrafusali ricevono inoltre innervazione dai motoneuroni γ , le cui terminazioni raggiungono le regioni polari contrattili. La loro attivazione induce la contrazione di tali porzioni, provocando l'allungamento della regione equatoriale e quindi l'attivazione delle terminazioni afferenti anche in assenza di un reale cambiamento della lunghezza globale del muscolo. In questo modo, i motoneuroni γ modulano la sensibilità del fuso neuromuscolare, regolando la soglia di attivazione e rendendolo più reattivo agli stimoli (Paoli et al., 2013).

Per quanto concerne lo stretching, la letteratura suggerisce che una pratica regolare possa determinare un adattamento neurale, innalzando la soglia alla quale viene evocato il riflesso miotatico. Ciò consentirebbe al muscolo di tollerare livelli di allungamento maggiori prima dell'attivazione della risposta riflessa, mantenendo uno stato di rilassamento anche a lunghezze superiori rispetto a quelle inizialmente sopportate. Questo fenomeno sarebbe attribuibile alla capacità del sistema nervoso centrale di modulare l'intensità dello stimolo necessaria per innescare il riflesso da stiramento (Bisciotti, 2005).

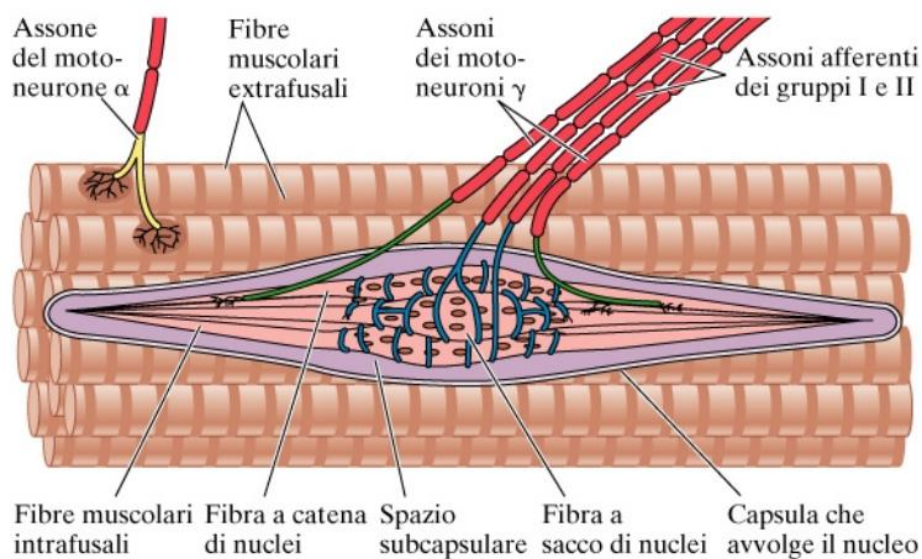


Figura 4. Schema fuso neuromuscolare e muscolo

Organo tendineo del Golgi

Gli organi tendinei di Golgi si trovano nei tendini, sono formati da piccoli fascetti di fibre collagene circondati da una sottile capsula connettivale e riccamente innervati da fibre sensitive (Paoli et al., 2013). Questi recettori disposti in serie rispetto alle fibre muscolari hanno la funzione di rispondere alle variazioni di tensione del tendine causate dalla contrazione muscolare o da fortissimi stiramenti passivi (Figura 5). Proprio per questo motivo gli organi tendinei di Golgi risultano più sensibili alle tensioni generate dalla contrazione muscolare piuttosto che dall'allungamento passivo. Pertanto, assumono un ruolo importante in tutte quelle tecniche di stretching che prevedono la contrazione del muscolo da allungare (ad esempio PNF). Affinché gli organi tendinei del Golgi vengano efficacemente attivati, è necessario che la tensione muscolo-tendinea raggiunga livelli elevati; solo in queste condizioni essi intervengono per ridurre l'eccessivo carico tensionale attraverso il cosiddetto riflesso miotatico inverso (Bisciotti, 2005). L'attivazione di tali recettori determina un'inibizione dei motoneuroni α e γ che innervano il muscolo agonista e i suoi sinergici (meccanismo definito inibizione autogena) e parallelamente, facilita l'attività dei motoneuroni α e γ diretti ai muscoli antagonisti (Paoli et al., 2013). La funzione principale degli organi tendinei del Golgi è quindi quella di proteggere il complesso muscolo-tendineo da possibili danni derivanti da tensioni eccessive. In questo compito

cooperano con altri sistemi recettoriali, quali i meccanocettori articolari e cutanei, contribuendo alla regolazione complessiva della risposta neuromuscolare (Bisciotti, 2005).

Il riflesso miotatico inverso assume pertanto un ruolo rilevante nell'ambito dello stretching, in particolare quando l'allungamento viene mantenuto sotto condizioni di elevata tensione nel distretto muscolare coinvolto, favorendo una riduzione riflessa della contrazione e consentendo un maggiore rilassamento muscolare.

ORGANO TENDINEO DEL GOLGI

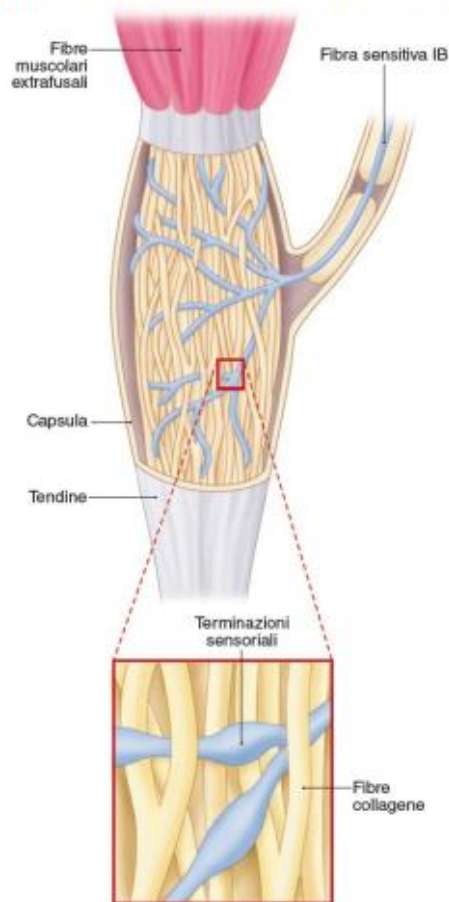


Figura 5. Organo tendineo del Golgi

Differenza stretching statico e dinamico

L'inserimento dello stretching all'interno del riscaldamento pre-gara rappresenta una pratica consolidata nella preparazione atletica, finalizzata al miglioramento della mobilità articolare, alla percezione soggettiva di "prontezza" muscolare e alla predisposizione al gesto tecnico. Tuttavia, negli ultimi due decenni, l'efficacia dello stretching statico immediatamente prima di prestazioni che richiedono elevata produzione di forza e potenza è stata oggetto di un ampio dibattito scientifico. Evidenze provenienti da revisioni sistematiche e meta-analisi hanno mostrato come lo stretching statico, in particolare quando mantenuto per durate superiori ai 60–90 secondi, possa determinare una riduzione acuta della forza massimale, della potenza e della performance esplosiva (Kay & Blazevich, 2012; Behm & Chaouachi, 2011; Simic et al., 2013). Tali effetti appaiono dose-dipendenti, con decrementi progressivamente più marcati all'aumentare del tempo di mantenimento dell'allungamento.

I meccanismi fisiologici alla base di tali evidenze sono stati approfonditi in ambito neuromuscolare. È stato dimostrato che lo stretching statico prolungato riduce la rigidità del complesso muscolo-tendineo, con conseguente diminuzione dell'efficienza nella trasmissione della forza dal muscolo allo scheletro (Kubo et al., 2002). Parallelamente, sono state osservate alterazioni nell'attivazione dei motoneuroni alfa e una riduzione della sensibilità del riflesso da stiramento, con un temporaneo decremento della capacità di reclutamento neuromuscolare (Avela et al., 1999). In un gesto sportivo caratterizzato da una rapida e coordinata trasmissione della forza lungo l'intera catena cinetica, queste alterazioni potrebbero tradursi in una riduzione della performance meccanica.

Al contrario, lo stretching dinamico sembra indurre effetti fisiologici differenti. I movimenti dinamici controllati, eseguiti nel range di movimento funzionale, sono associati a un aumento della temperatura muscolare, dell'attivazione neuromuscolare e readiness prestativa (stato di preparazione neuromuscolare e psicofisica favorevole alla prestazione), con effetti positivi su sprint, salto e gesti esplosivi (Fletcher e Jones, 2004; Samson et al., 2012; Behm et al., 2016). Questo tipo di stimolazione può favorire un incremento della rapidità di sviluppo della forza e della coordinazione tra i gruppi muscolari coinvolti, elementi centrali per la produzione di movimenti rapidi ed efficaci.

Stretching statico

Lo stretching statico rappresenta una modalità di allungamento muscolare caratterizzata dal mantenimento di una posizione di elongazione per un determinato intervallo di tempo, generalmente compreso tra 15 e 60 secondi. L'esercizio viene eseguito portando lentamente il muscolo al limite della sua escursione articolare tollerabile, evitando movimenti oscillatori o balistici. Questa tecnica è tradizionalmente utilizzata sia in ambito sportivo sia riabilitativo con l'obiettivo di incrementare il range of motion (ROM) e ridurre la rigidità muscolo-tendinea. Dal punto di vista fisiologico, l'aumento del ROM osservato dopo stretching statico sembra essere attribuibile principalmente a modificazioni della tolleranza allo stiramento piuttosto che a cambiamenti strutturali permanenti del tessuto muscolare (Kendall, 2017). L'effetto acuto è spesso correlato a una riduzione temporanea della stiffness muscolo-tendinea e a un adattamento neuromuscolare che consente al soggetto di tollerare un maggiore allungamento prima di percepire dolore o discomfort. Numerose evidenze hanno analizzato l'impatto dello stretching statico sulla performance muscolare. Diversi studi hanno riportato che sessioni prolungate di stretching statico eseguite immediatamente prima di attività esplosive o di forza possono determinare una diminuzione temporanea della produzione di forza, della potenza e della velocità di contrazione (Page et al., 2012). Questo fenomeno è stato spiegato attraverso una combinazione di fattori neurali (ridotta attivazione motoria) e meccanici (alterazione delle proprietà elastiche della unità muscolo-tendinea). Tuttavia, nel lungo termine, programmi strutturati di stretching statico hanno dimostrato di favorire miglioramenti significativi della flessibilità articolare senza effetti negativi persistenti sulla performance (Kendall, 2017). Per tale motivo, lo stretching statico trova particolare indicazione nelle fasi di defaticamento, nei programmi di recupero funzionale e nei protocolli finalizzati al miglioramento cronico della mobilità articolare.

Lo stretching statico si configura come una tecnica efficace per l'aumento della flessibilità, con effetti acuti potenzialmente inibitori sulla performance esplosiva se inserito prima dell'attività ad alta intensità, ma con benefici consolidati nei programmi a lungo termine.

Stretching dinamico

Lo stretching dinamico consiste nell'esecuzione di movimenti attivi e controllati che portano un'articolazione attraverso l'intero arco di movimento disponibile. A differenza dello stretching statico, questa modalità non prevede il mantenimento prolungato della posizione

di allungamento, ma si basa su movimenti ripetuti e progressivi che simulano i gesti specifici dell'attività sportiva. Dal punto di vista neuromuscolare, lo stretching dinamico determina un aumento della temperatura muscolare, della velocità di conduzione nervosa e dell'attivazione del sistema nervoso centrale. Tali adattamenti contribuiscono a migliorare la preparazione funzionale del muscolo prima della performance (Kendall, 2017). Inoltre, il movimento attivo favorisce una maggiore coordinazione intermuscolare e un potenziamento della risposta propriocettiva. Diversi studi hanno evidenziato che, a differenza dello stretching statico, lo stretching dinamico non comporta una riduzione della forza o della potenza immediatamente successive all'esecuzione; al contrario, può determinare miglioramenti nella prestazione di sprint, salto e produzione di forza esplosiva (Page et al., 2012). Questo effetto è probabilmente legato all'aumento dell'attivazione neuromuscolare e al miglioramento della stiffness funzionale necessaria per movimenti rapidi ed esplosivi. Per quanto riguarda la flessibilità, lo stretching dinamico è in grado di produrre incrementi acuti del ROM, sebbene tali aumenti siano generalmente attribuibili a una maggiore attivazione neuromuscolare e a una modulazione temporanea delle proprietà viscoelastiche del muscolo piuttosto che a cambiamenti strutturali duraturi (Kendall., 2017).

Lo stretching dinamico risulta particolarmente indicato nella fase di riscaldamento pre-gara o pre-allenamento, specialmente in discipline che richiedono rapidità, potenza e coordinazione. Il suo utilizzo consente di preparare il sistema muscolo-scheletrico alla performance senza compromettere la capacità di generare forza.

Stretching e performance negli sport di lancio

Gli sport da lancio e i gesti overhead, come il tiro nella pallamano, il lancio nel baseball, il servizio nel tennis e la schiacciata nella pallavolo, richiedono elevati livelli di forza esplosiva, coordinazione neuromuscolare e velocità di esecuzione. In questo contesto, il tipo di stretching inserito nel warm-up può influenzare significativamente la performance immediata, in particolare la velocità del gesto tecnico.

Lo stretching statico è tradizionalmente utilizzato per aumentare la mobilità articolare e ridurre la rigidità muscolare. Tuttavia, numerose evidenze hanno dimostrato che l'esecuzione di stretching statico immediatamente prima di attività esplosive può determinare una riduzione transitoria della capacità di produzione di forza e potenza (Page, 2012). Negli sport da lancio, tale riduzione potrebbe teoricamente compromettere la velocità del gesto

overhead. Tuttavia, i risultati della letteratura non sono completamente concordi. In giocatori di baseball, uno studio che ha valutato gli effetti di uno stretching statico della spalla di lancio sulla velocità e sull'accuratezza del pitching, si è osservato che il protocollo non determinava variazioni significative della velocità della palla rispetto alla condizione di controllo (Haag et al., 2010). Risultati analoghi sono stati riportati da Williams et al., che hanno confrontato stretching statico, stretching PNF e assenza di stretching in lanciatori di baseball. Gli autori non hanno rilevato modificazioni significative della velocità media o massima di lancio dopo lo stretching statico dei rotatori interni della spalla, suggerendo che la complessità biomeccanica del gesto di lancio possa rendere meno evidenti gli effetti negativi osservati in altri compiti motori esplosivi (Williams et al., 2013). Nel tennis, la letteratura suggerisce che la flessibilità della spalla rappresenti un fattore importante per la velocità del servizio, infatti, si sono osservate correlazioni positive tra alcuni parametri di mobilità della spalla e la velocità della battuta, evidenziando come un adeguato ROM possa contribuire all'efficacia del gesto tecnico (Cohen et al., 1994). Tuttavia, tale studio non ha analizzato gli effetti acuti dello stretching pre-performance.

Nel complesso, le evidenze disponibili indicano che lo stretching statico può migliorare la mobilità articolare ma non sembra aumentare la velocità di lancio quando eseguito immediatamente prima della prestazione, mentre protocolli prolungati potrebbero ridurre temporaneamente alcune componenti neuromuscolari della performance.

Lo stretching dinamico, consistendo nell'esecuzione di movimenti attivi e controllati che attraversano l'intero range di movimento articolare, favorisce l'aumento della temperatura muscolare, il reclutamento delle unità motorie e l'attivazione del sistema nervoso centrale, risultando particolarmente indicata nella preparazione ad attività esplosive (Page, 2012).

Le evidenze più solide provengono dal tennis. In uno studio randomizzato condotto su giovani tennisti d'élite, in cui hanno confrontato differenti modalità di warm-up, si osservò che l'inserimento di esercizi dinamici produceva un incremento della velocità del servizio compreso tra l'1% e il 3% rispetto al warm-up tradizionale. Gli autori hanno attribuito tale miglioramento all'aumentata attivazione neuromuscolare e alla migliore preparazione funzionale della spalla al gesto overhead (Gelen et al., 2012).

Anche negli sport di lancio come la pallamano, i protocolli di warm-up utilizzati prima della valutazione della velocità di tiro comprendono frequentemente esercizi dinamici e movimenti specifici del gesto sportivo. Studi recenti mostrano come il mantenimento di

elevati livelli di attivazione dei rotatori interni della spalla e della catena cinetica contribuisca significativamente alla velocità del tiro (Moreno-Pérez et al., 2022). La superiorità del warm-up dinamico rispetto allo stretching statico è stata confermata anche da revisioni sistematiche dedicate agli sport overhead. Le strategie che combinano mobilità dinamica, esercizi specifici e attivazione neuromuscolare risultano generalmente associate a migliori prestazioni di lancio rispetto ai protocolli basati esclusivamente sullo stretching statico (Petrzela et al., 2023).

Pertanto, la letteratura suggerisce che lo stretching dinamico rappresenti la modalità più efficace per preparare l'atleta agli sport da lancio, poiché consente di migliorare o mantenere la velocità del gesto tecnico senza compromettere la capacità di generare forza esplosiva. Tale evidenza assume particolare rilevanza anche nella pallanuoto, dove la velocità del tiro costituisce uno dei principali determinanti della performance offensiva.

Stretching statico e dinamico nella pallanuoto

La pallanuoto è uno sport overhead ad alta richiesta neuromuscolare in cui il gesto del tiro combina elevata velocità angolare di rotazione omerale, forza esplosiva e stabilità scapolo-toracica. Il movimento di tiro presenta analogie biomeccaniche con il lancio nel baseball e la schiacciata nella pallavolo, con importanti adattamenti funzionali della spalla dominante, tra cui aumento della rotazione esterna (ER) e possibile riduzione della rotazione interna (IR), configurando talvolta il cosiddetto *GIRD* (Glenohumeral Internal Rotation Deficit) (Borsa et al., 2008).

Negli atleti overhead si osserva frequentemente un incremento della ER associato a una riduzione della IR, fenomeno interpretato come adattamento sia capsulare sia osseo. Tale adattamento può essere funzionale alla performance ma, se eccessivo, può alterare la cinematica scapolo-omerale e aumentare il rischio di sovraccarico posteriore della spalla (Borsa et al., 2008). In questo contesto, lo stretching statico della capsula posteriore e dei rotatori interni (es. sleeper stretch, cross-body stretch) ha mostrato efficacia nel migliorare il ROM in rotazione interna negli atleti overhead (McClure et al., 2007). Il recupero della IR è particolarmente rilevante nel pallanuotista, dove la fase di cocking del tiro richiede ampia ER ma anche adeguato bilanciamento capsulare per evitare stress anteriori. Tuttavia, l'esecuzione di stretching statico immediatamente prima della prestazione può ridurre temporaneamente la produzione di forza e la stiffness funzionale dell'unità muscolo-

tendinea (Phil et al., 2012). Nel tiro di pallanuoto, dove la trasmissione efficace dell'energia dalla catena cinetica inferiore alla spalla è fondamentale, una riduzione della stiffness può compromettere la velocità di palla.

Lo stretching dinamico, al contrario, favorisce un aumento della temperatura muscolare, della conduzione nervosa e dell'attivazione delle unità motorie ad alta soglia. Negli sport di lancio, protocolli dinamici hanno dimostrato di preservare o migliorare la produzione di potenza e la stabilità dinamica della spalla rispetto allo stretching statico isolato (Page et al., 2012).

Nel pallanuotista, il warm-up dinamico risulta particolarmente indicato per migliorare l'attivazione dei rotatori esterni (fondamentali per la decelerazione del braccio), ottimizzare la coordinazione scapolo-omerale, mantenere la stiffness funzionale necessaria alla trasmissione dell'energia nel gesto di tiro, preparare la muscolatura stabilizzatrice in condizioni di instabilità tipiche dell'ambiente acquatico. La peculiarità della pallanuoto è che il gesto avviene in assenza di una base d'appoggio stabile; pertanto, la stabilità della spalla dipende in misura ancora maggiore dall'attivazione neuromuscolare rispetto agli sport terrestri. In questo scenario, lo stretching dinamico sembra più coerente con le esigenze prestative immediate.

La biomeccanica del tiro nella pallanuoto

Il tiro nella pallanuoto è un gesto tecnico complesso che richiede non solo la massima produzione di potenza, ma anche un elevato controllo motorio fine per garantire la precisione esecutiva. In questo senso, assume particolare rilevanza il principio dello speed-accuracy trade-off, descritto da Fitts (1954) e successivamente approfondito da Schmidt et al. (1979), secondo il quale l'aumento della velocità di esecuzione di un movimento è generalmente associato a una riduzione della precisione. Un'eventuale facilitazione neuromuscolare indotta dallo stretching dinamico potrebbe pertanto migliorare la velocità del tiro, ma influenzare negativamente il controllo fine necessario per l'accuratezza.

Dal punto di vista biomeccanico, il tiro nella pallanuoto è assimilabile ai gesti di lancio overhead studiati in altri sport, come la pallamano. È stato evidenziato che la velocità della palla dipende in maniera determinante dall'integrazione coordinata tra arti inferiori, tronco e arto superiore all'interno di una catena cinetica efficiente (Van Den Tillaar and Ettema, 2004;

Saeterbakken et al., 2011). Qualsiasi intervento che modifichi temporaneamente le proprietà meccaniche e neuromuscolari di uno di questi segmenti corporei potrebbe quindi influenzare direttamente la prestazione tecnica.

La biomeccanica del lancio è stata analizzata accuratamente e le si possono dividere in schematicamente in 4 fasi fondamentali: wind up (preparazione), cocking (caricamento), acceleration (accelerazione), follow-through (decelerazione e accompagnamento).

Wind up: fase preparatoria che implica rotazione, più o meno, di tutto corpo che anticipa il lancio (Figura 6).

Caricamento: fase in cui i muscoli si preparano al gesto vero e proprio. È diviso in early cocking (primo caricamento) e late cocking (secondo caricamento). Nell'early cocking la spalla è abdotta ed extrarotata, il muscolo deltoide è il principale motore responsabile dell'elevazione del braccio e il corpo inizia a muoversi in avanti. Nel late cocking mentre il corpo si muove rapidamente in avanti la spalla raggiunge approssimativamente una posizione di 90° di abduzione, 30° di estensione e da 90° a 120° di extrarotazione con gomito flessa a 90°. La spalla in questo range di movimento subisce significative forze e momenti (Figura 6).

Accelerazione: questa fase, dal punto di vista sportivo, è la più rapida di tutta la sequenza. Tutta l'energia accumulata precedentemente viene rilasciata e vengono attivati in maniera esplosiva tutti i muscoli che vanno a contribuire alla fase di intrarotazione a livello della spalla: sottoscapolare, grande pettorale, gran dorsale ma soprattutto il grande rotondo. Questa fase generando un grandissimo stress all'articolazione fa entrare in gioco tutti i muscoli che compongono la cuffia dei rotatori per mantenere la testa dell'omero in sede. Nella pallanuoto, l'inclinazione del tronco in questa fase è un aspetto molto importante, infatti l'atleta, flettendo il busto dalla parte del braccio in appoggio, avrà una maggiore rotazione da parte dell'arto lanciante intorno al proprio asse, che in questo caso è rappresentato dalla colonna vertebrale, imprimendo più accelerazione alla palla nella fase di rilascio. La maggior parte dei pallanuotisti di élite flette il busto lateralmente di 30 gradi al momento del rilascio. Il braccio di appoggio aumenta l'azione di remata, mentre le gambe hanno un'importanza fondamentale poiché un loro scarso lavoro, in questa fase, riduce la forza del tiro, aumentando lo stress a livello della spalla. L'accelerazione termina con il rilascio della palla (Figura 6).

Follow-through: a seguito del rilascio della palla in questa fase abbiamo, una parte di decelerazione in cui inizio a dissipare l'energia cinetica accumulata durante il movimento e un'altra parte di accompagnamento. In quest'ultima fase tutti i muscoli sono impegnati nell'azione di decelerare l'arto, la loro contrazione eccentrica funge da freno nell'intrarotazione dell'arto superiore; i muscoli maggiormente coinvolti sono gli stabilizzatori della scapola e le fibre posteriori del deltoide. L'energia prodotta dal viene dissipata in due modi: in parte come energia cinetica impressa alla palla mentre il resto viene appunto assorbito dalla muscolatura della spalla e del tronco (Figura 6).

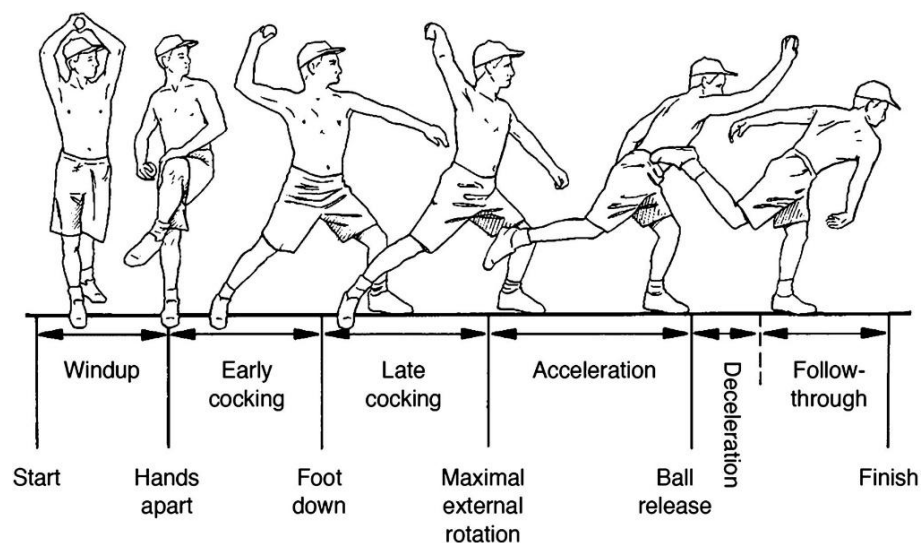


Figura 6. Schema biomeccanica del lancio

Nonostante l'ampia letteratura sugli effetti acuti dello stretching statico e dinamico sulla performance esplosiva, gli studi esistenti si sono concentrati principalmente su gesti come sprint lineari, salti verticali o test di forza massimale. Attualmente, non ci sono evidenze relative all'impatto di diverse durate di stretching su un gesto tecnico complesso che richiede la produzione simultanea di potenza e il controllo motorio fine, come il tiro nella pallanuoto. L'analisi combinata della velocità e dell'accuratezza del tiro, in relazione a protocolli di stretching statico e dinamico di diversa durata (30, 60, 90 secondi), consente pertanto di indagare, all'interno dello stesso gesto tecnico, l'interazione tra la modificazione della rigidità muscolo-tendinea, le variazioni dell'attivazione neuromuscolare e le alterazioni del controllo motorio fine, meccanismi ampiamente descritti in letteratura, ma mai analizzati congiuntamente in questo contesto applicativo.

Alla luce delle evidenze presenti in letteratura sugli effetti acuti dello stretching sulla performance neuromuscolare e sugli sport di lancio, il presente studio si propone di

confrontare gli effetti di protocolli di stretching statico e dinamico, eseguiti per differenti durate (30, 60 e 90 secondi), sulla velocità e sull'accuratezza del tiro nella pallanuoto.

Si ipotizza che lo stretching dinamico determini effetti più favorevoli sulla velocità del tiro rispetto allo stretching statico, in particolare per le durate maggiori (60 e 90 secondi), grazie al maggiore livello di attivazione neuromuscolare indotto dal protocollo. Per quanto riguarda l'accuratezza, si ipotizza che essa sia meno influenzata dal tipo di stretching, essendo maggiormente dipendente dai processi di controllo motorio e coordinazione del gesto tecnico.

MATERIALI E METODI

Partecipanti

Hanno partecipato allo studio dieci pallanuotisti maschi appartenenti alla categoria Juniores Under-19 della società Rari Nantes Savona. Le caratteristiche dei partecipanti sono riportate come media $\pm$ deviazione standard nella tabella 1. Tutti gli atleti partecipavano regolarmente agli allenamenti e alle competizioni federali previste.

Soggetti (n)	Età (anni)	Peso (kg)	Altezza (cm)	Esperienza pallanuoto (anni)
10	17.1 $\pm$ 0.99	76.01 $\pm$ 8.51	178.4 $\pm$ 6.26	9 $\pm$ 2.75

Tabella 1. Caratteristiche antropometriche e sportive dei partecipanti

Tutti i partecipanti sono stati informati sulle procedure sperimentali e hanno fornito consenso informato scritto prima dell'inizio delle valutazioni.

Disegno sperimentale

È stato adottato un disegno sperimentale randomizzato crossover, in cui ciascun partecipante ha eseguito tutte le condizioni di warm-up in ordine casuale.

Ogni partecipante ha eseguito tre diverse condizioni di warm-up:

- **CON (controllo):** solo lavoro in vasca per 5, 10 e 15 minuti
- **SS (stretching statico):** protocollo di stretching statico con durata per esercizio di 30, 60 o 90 secondi
- **SD (stretching dinamico):** protocollo di stretching dinamico con durata per esercizio di 30, 60 o 90 secondi

L'ordine delle condizioni sperimentali è stato randomizzato. Tra una sessione e la successiva sono trascorse almeno 48h, al fine di minimizzare possibili effetti di adattamento residui dovuti alla sessione precedente.

Ai partecipanti è stato richiesto di evitare attività fisica intensa nelle 24 ore precedenti ciascuna sessione sperimentale e di mantenere le abituali abitudini alimentari e di idratazione. Tutte le valutazioni sono state effettuate nella medesima fascia oraria per limitare l'influenza delle variazioni circadiane sulla performance neuromuscolare.

Al termine di queste sedute vengono effettuati tre tiri in porta per ogni giocatore con l'obiettivo di colpire un target, ovvero una callotta appesa nell'angolo in alto a destra (dal punto di vista del giocatore), facendo goal. Il tiro viene effettuato ad una distanza di 5m dalla linea di porta (distanza da tiro di rigore) (Figura 7 e Figura 8).



Figura 7. Rigore pallanuoto

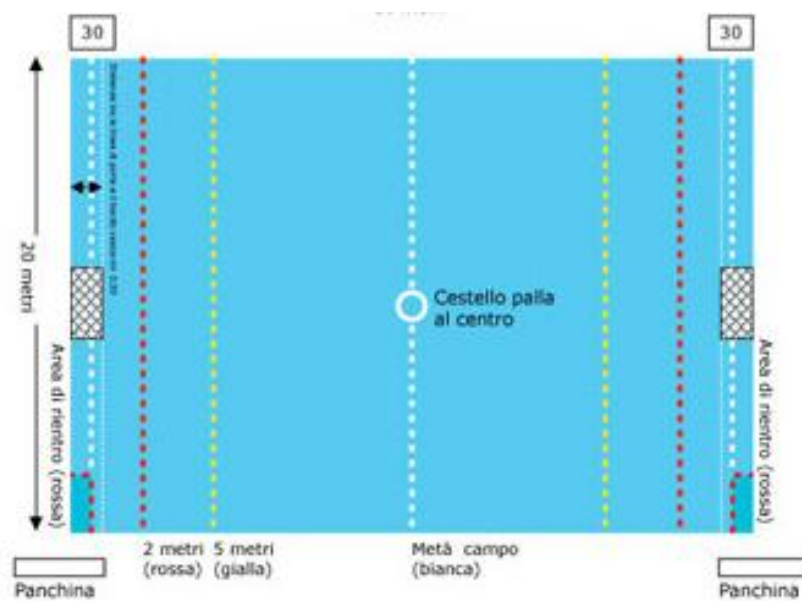


Figura 8. Dimensioni campo da pallanuoto

Protocollo sperimentale

Il protocollo prevede lo stesso numero di esercizi in tutte le condizioni, variando esclusivamente la durata di esecuzione per lato (30, 60 e 90 secondi).

Sono selezionati cinque esercizi mirati ai principali distretti coinvolti nel gesto del tiro nella pallanuoto:

- Arti inferiori (flessori ed estensori dell'anca)
- Tronco (rotazione toracica)
- Cingolo scapolo-omeroale
- Muscolatura anteriore della spalla (pettorale e rotatori interni)
- Gran dorsale e connessione anca-tronco-spalla

ESERCIZIO 1

Muscoli target: flessori dell'anca, obliqui, catena anteriore dell'arto inferiore.

- **Stretching statico (SS):** dalla posizione di affondo, l'atleta eseguiva una rotazione del tronco verso il lato del braccio dominante fino al punto di discomfort (POD), mantenendo la posizione per 30, 60 o 90 secondi (Figura 9).
- **Stretching dinamico (DS):** affondi alternati con rotazione controllata del tronco a ogni ripetizione, raggiungendo il proprio ROM attivo per 30, 60 o 90 secondi.



Figura 9. Visione dell'esercizio da entrambe le rotazioni (Dx e Sx)

ESERCIZIO 2

Muscoli target: gran dorsale, fascia toraco-lombare, catena posteriore e connessione anca-tronco-spalla (Figura 10).

- **SS:** flessione della spalla con presa elevata, associata a intrarotazione e inclinazione laterale del tronco controlaterale al braccio dominante, mantenendo la posizione al POD per 30, 60 o 90 secondi.
- **DS:** movimenti controllati di flessione e rotazione della spalla, eseguiti in maniera dinamica raggiungendo il ROM individuale per 30, 60 o 90 secondi.



Figura 10. Svolgimenti esercizio braccio Dx e braccio Sx

ESERCIZIO 3

Muscoli target: grande pettorale, sottoscapolare, catena anteriore della spalla.

- **SS:** abduzione della spalla con extrarotazione controllata fino al POD, mantenuta per 30, 60 o 90 secondi (Figura 11).
- **DS:** aperture e chiusure delle braccia in extrarotazione controllata, raggiungendo il ROM attivo a ogni ripetizione per 30, 60 o 90 secondi.



Figura 11. Visione dell'esercizio dal lato Dx e dal lato Sx.

ESERCIZIO 4

Muscoli target: obliqui, muscolatura toracica, sistema di connessione tronco-arto superiore.

- **SS:** dalla posizione seduta o semi-inginocchiata, rotazione massimale controllata del tronco fino al POD e mantenimento per 30, 60 o 90 secondi (Figura 12).
- **DS:** rotazioni alternate del tronco in modo controllato, raggiungendo il ROM attivo per 30, 60 o 90 secondi.



Figura 12. Rotazione del tronco verso Sx e rotazione verso Dx

ESERCIZIO 5

Muscoli target: flessori dell'anca, catena anteriore dell'arto inferiore.

- **SS:** dalla posizione di affondo con ginocchio a terra, l'atleta portava l'anca in massima estensione mantenendo la posizione per 30, 60 o 90 secondi (Figura 13).
- **DS:** dalla medesima posizione, movimenti dinamici di estensione e ritorno controllato, raggiungendo il ROM individuale per 30, 60 o 90 secondi.



Figura 13. Visione dell'esercizio lato Dx e Sx

Valutazioni della performance di tiro

Le performance di tiro sono state valutate in termine di velocità della palla e accuratezza del gesto tecnico.

Al termine di ciascuna condizione (CON, SS, DS), ogni partecipante ha eseguito tre tiri da fermo verso la porta regolamentare, posizionando a una distanza di 5 m dalla linea di porta, corrispondente alla distanza del tiro di rigore nella pallanuoto. Ai partecipanti è stato richiesto di colpire un bersaglio costituito da una callotta fissata nell'angolo superiore destro della porta (dal punto di vista del giocatore), mantenendo la massima intensità di esecuzione compatibilmente con l'obiettivo di precisione richiesto. Le prove sono state effettuate entro 1-2 minuti dal termine del warm-up, al fine di analizzare gli effetti acuti delle diverse condizioni, in linea con le indicazioni presenti in letteratura sugli effetti temporali dello stretching sulla performance neuromuscolare (Behm et al., 2011; Behm et al., 2016).

Prima dell'analisi, il video è stato calibrato utilizzando una distanza nota corrispondente alla larghezza della porta regolamentare. La velocità della palla è stata determinata mediante tracciamento manuale frame-by-frame all'interno del software Kinovea. Per la valutazione della velocità del tiro, tutti i tentativi sono stati videoregistrati mediante una videocamera posizionata perpendicolarmente al piano di movimento. Le registrazioni sono state

successivamente analizzate mediante il software Kinovea (versione XX, Kinovea Open Source Project), che ha consentito di determinare la velocità della palla attraverso l'analisi cinematica bidimensionale del movimento. L'accuratezza del tiro è stata valutata registrando il numero di tiri che colpivano il bersaglio prestabilito. Per ciascun partecipante è stato quindi calcolato il numero totale di bersagli colpiti nelle diverse condizioni sperimentali. Per ogni condizione è stata successivamente calcolata la velocità media dei tre tentativi, utilizzata per le analisi statistiche.

Analisi statistica

Le analisi statistiche sono state eseguite mediante il software IBM SPSS Statistics (versione XX, IBM Corp., Armonk, NY, USA). La normalità della distribuzione dei dati è stata verificata preliminarmente attraverso l'ispezione grafica e l'analisi dei residui.

Le analisi statistiche sono state effettuate mediante Linear Mixed Models (LMM) utilizzando il metodo di stima Restricted Maximum Likelihood (REML). Per ciascuna variabile dipendente (IN, OUT e velocità massima di tiro) sono stati considerati come effetti fissi la CONDIZIONE sperimentale Dynamic Stretching (DS), Static Stretching (SS) e No Stretching (NS), il TEMPO (30 s, 60 s e 90 s) e la relativa interazione (CONDIZIONE $\times$ TEMPO). Il soggetto è stato inserito come effetto casuale al fine di tenere conto della dipendenza delle misure ripetute. Per le misure ripetute è stata adottata una struttura di covarianza di tipo Compound Symmetry (CS). Quando appropriato, sono stati eseguiti confronti post-hoc con correzione di Bonferroni. I dati sono riportati come media $\pm$ deviazione standard (SD). Il livello di significatività statistica è stato fissato a $p < 0.05$.

RISULTATI

I valori descrittivi delle variabili analizzate sono riportati nella Tabella 2.

Tabella 2. Valori medi ($\pm$ SD) delle variabili IN, OUT e velocità massima di tiro (Vmax) nelle condizioni Dynamic Stretching (DS), Static Stretching (SS) e No Stretching (NS) ai diversi tempi di valutazione.

	Tempo	DS	SS	NS
Tiri IN (n)	30 s	1.70 $\pm$ 0.67 ^{#*}	0.20 $\pm$ 0.42	0.60 $\pm$ 0.52
	60 s	1.60 $\pm$ 0.52 ^{#*}	0.60 $\pm$ 0.84	0.80 $\pm$ 0.92
	90 s	1.60 $\pm$ 1.07 ^{#*}	0.80 $\pm$ 0.63	0.50 $\pm$ 0.71
Tiri OUT (n)	30 s	1.20 $\pm$ 0.79 ^{#*}	2.40 $\pm$ 0.84	2.00 $\pm$ 0.67
	60 s	1.10 $\pm$ 0.88 ^{#*}	2.20 $\pm$ 0.92	2.10 $\pm$ 0.88
	90 s	1.30 $\pm$ 0.82 ^{#*}	2.10 $\pm$ 0.74	2.30 $\pm$ 0.82
Vmax (km·h⁻¹)	30 s	60.35 $\pm$ 5.84	59.65 $\pm$ 5.62	58.90 $\pm$ 6.83
	60 s	60.61 $\pm$ 7.23	60.18 $\pm$ 6.93	58.91 $\pm$ 4.99
	90 s	54.89 $\pm$ 6.61 ^{§°}	56.07 $\pm$ 3.59 ^{§°}	60.12 $\pm$ 5.16

DS: dynamic stretching; SS: static stretching; NS: no stretching. Vmax: velocità massima di tiro. *p<0.05 vs. NS; #p<0.05 vs. SS; §p<0.05 vs. 30 s; °p<0.05 vs. 60 s.

Accuratezza di tiro IN

L'analisi della variabile IN ha evidenziato un effetto principale significativo della CONDIZIONE ($F(2,81) = 20.91$, $p < 0.001$). Al contrario, non sono emersi effetti significativi del TEMPO ($F(2,81) = 0.44$, $p = 0.646$) né dell'interazione CONDIZIONE $\times$ TEMPO ($F(4,81) = 0.91$, $p = 0.462$) (Figura 14).

I confronti post-hoc hanno mostrato valori significativamente superiori nella condizione DS rispetto sia alla condizione SS sia alla condizione NS ($p < 0.05$), mentre non sono emerse

differenze significative tra SS e NS. In particolare, la superiorità della condizione DS è stata osservata in tutti i tempi di valutazione. A 30 s il numero medio di tiri a bersaglio è risultato pari a 1.70 ± 0.67 nella condizione DS, 0.20 ± 0.42 nella condizione SS e 0.60 ± 0.52 nella condizione NS. Analogamente, a 60 s i valori sono stati rispettivamente pari a 1.60 ± 0.52 , 0.60 ± 0.84 e 0.80 ± 0.92 , mentre a 90 s sono risultati pari a 1.60 ± 1.07 , 0.80 ± 0.63 e 0.50 ± 0.71 .

Nel complesso, la condizione DS ha determinato una maggiore accuratezza di tiro rispetto alle condizioni SS e NS, indipendentemente dal tempo di esecuzione della prova.

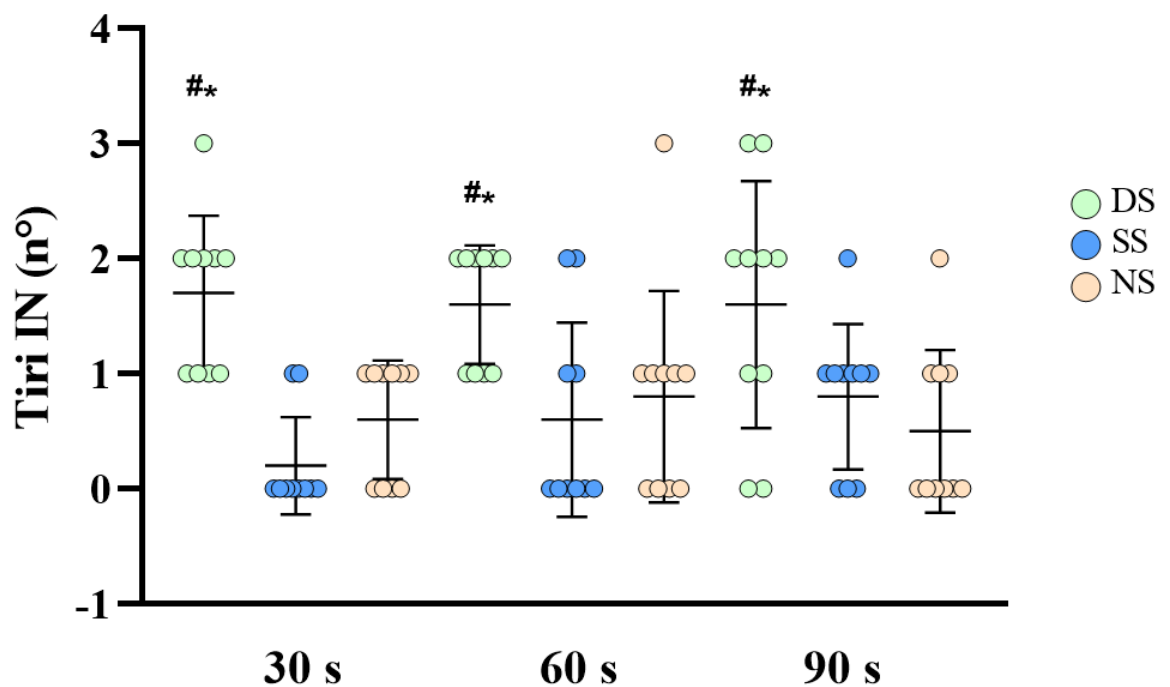


Figura 14. Numero di tiri a bersaglio (IN) nelle condizioni Dynamic Stretching (DS), Static Stretching (SS) e No Stretching (NS) ai tempi di valutazione di 30, 60 e 90 s. I dati sono presentati come valori individuali e media $\pm$ SD. $p < 0.05$ DS vs. NS; $\#p < 0.05$ DS vs. SS.

Errori di tiro (OUT)

Per la variabile OUT è emerso un effetto principale significativo della CONDIZIONE ($F(2,18) = 52.58, p < 0.001$). Non sono invece stati osservati effetti significativi del TEMPO ($F(2,54) = 0.45, p = 0.643$) né dell'interazione CONDIZIONE $\times$ TEMPO ($F(4,54) = 0.92, p = 0.457$) (Figura 15).

I confronti post-hoc hanno evidenziato che la condizione DS ha prodotto un numero significativamente inferiore di errori rispetto sia alla condizione SS sia alla condizione NS ($p < 0.05$), mentre non sono emerse differenze significative tra SS e NS. Nello specifico, a 30 s il numero medio di errori è stato pari a 1.20 ± 0.79 nella condizione DS, 2.40 ± 0.84 nella condizione SS e 2.00 ± 0.67 nella condizione NS. A 60 s i valori sono risultati rispettivamente pari a $1.10 \pm 0.88, 2.20 \pm 0.92$ e 2.10 ± 0.88 , mentre a 90 s sono stati pari a $1.30 \pm 0.82, 2.10 \pm 0.74$ e 2.30 ± 0.82 .

Pertanto, la condizione DS ha consentito di ridurre significativamente il numero di errori rispetto alle altre due condizioni sperimentali, indipendentemente dal tempo di esecuzione.

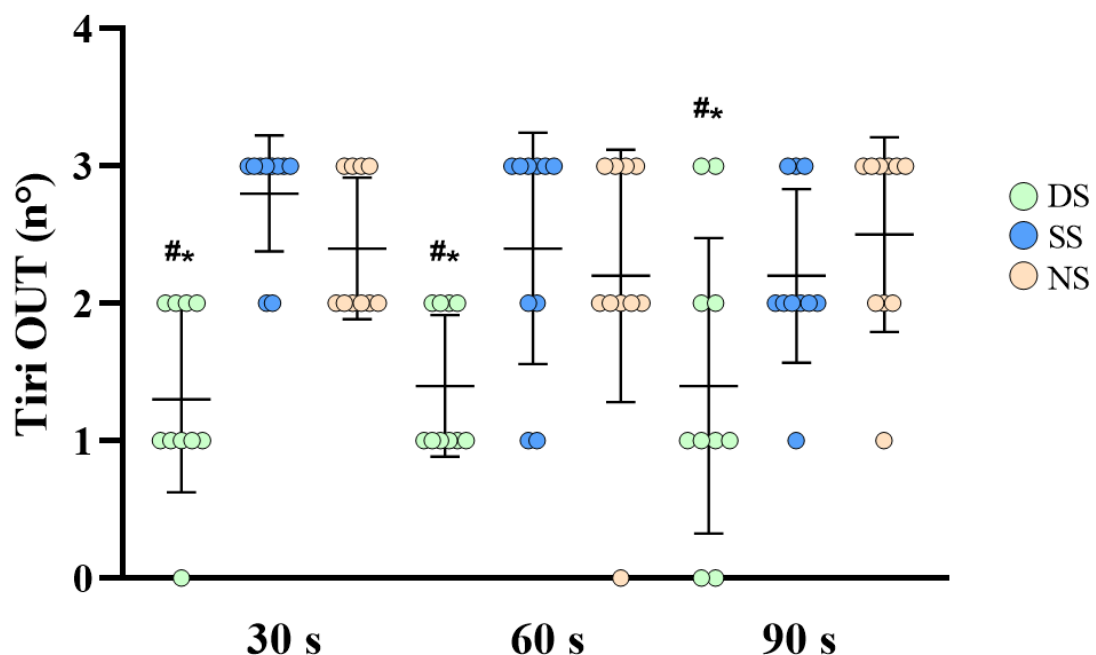


Figura 15. Numero di tiri errati (OUT) nelle condizioni di Dynamic Stretching (DS), Static Stretching (SS) e No Stretching (NS) ai tempi di valutazione di 30, 60 e 90 s. I dati sono presentati come valori individuali e media $\pm$ SD. * $p < 0.05$ DS vs. NS; # $p < 0.05$ DS vs. SS.

Velocità massima di tiro (V_{max})

L'analisi della velocità massima di tiro ha evidenziato un effetto significativo del TEMPO ($F(2,54) = 6.43, p = 0.003$) e una significativa interazione CONDIZIONE $\times$ TEMPO

($F(4,54) = 3.56$, $p = 0.012$). Al contrario, non è emerso alcun effetto principale della CONDIZIONE ($F(2,18) = 0.78$, $p = 0.472$) (Figura 16).

Le medie marginali stimate hanno mostrato valori medi simili tra le tre condizioni sperimentali. Tuttavia, considerando l'effetto del tempo, la velocità massima registrata a 90 s è risultata significativamente inferiore rispetto sia a 30 s ($p = 0.014$) sia a 60 s ($p = 0.006$), mentre non sono state osservate differenze significative tra 30 s e 60 s ($p = 1.000$).

Dal punto di vista descrittivo, nella condizione DS la velocità massima è passata da $60.35 \pm 5.84 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a 30 s a $54.89 \pm 6.61 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a 90 s. Analogamente, nella condizione SS si è osservata una riduzione da $59.65 \pm 5.62 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a $56.07 \pm 3.59 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Nella condizione NS, invece, i valori sono rimasti sostanzialmente stabili nel corso della prova ($58.90 \pm 6.83 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a 30 s e $60.12 \pm 5.16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a 90 s).

Nel complesso, i risultati indicano che la velocità massima di tiro tende a ridursi con il progredire della prova, sebbene tale andamento differisca tra le condizioni, come evidenziato dalla significativa interazione CONDIZIONE $\times$ TEMPO.

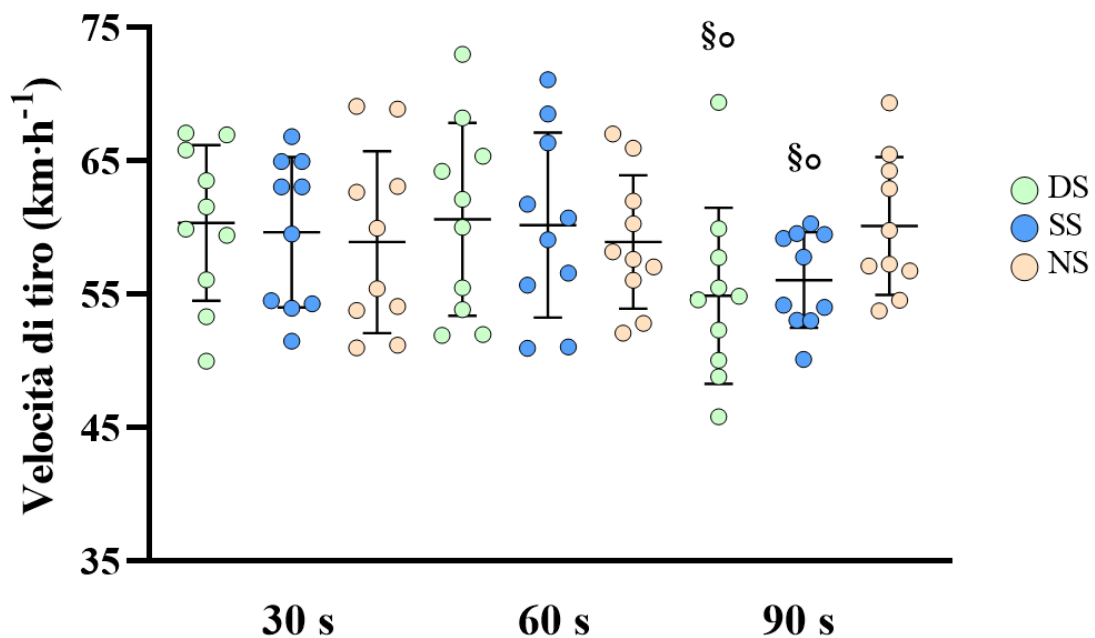


Figura 16. Velocità di tiro (V_{max}) nelle condizioni di Dynamic Stretching (DS), Static Stretching (SS) e No Stretching (NS) ai tempi di valutazione di 30, 60 e 90 s. I dati sono presentati come valori individuali e media $\pm$ SD. § $p < 0.05$ vs. 30 s; ° $p < 0.05$ vs. 60 s.

DISCUSSIONE

Il presente studio ha analizzato gli effetti acuti di differenti protocolli di stretching statico e dinamico, eseguiti per durate di 30, 60 e 90 secondi, sulla performance del tiro nella pallanuoto, valutata attraverso l'accuratezza del gesto tecnico e la velocità della palla. I risultati principali mostrano che lo stretching dinamico ha migliorato significativamente l'accuratezza del tiro rispetto sia allo stretching statico sia alla condizione senza stretching, indipendentemente dalla durata del protocollo. Al contrario, non sono state osservate differenze significative tra le condizioni sperimentali per quanto riguarda la velocità massima della palla. Inoltre, è emerso un effetto significativo della durata del protocollo sulla velocità di tiro, con una riduzione dei valori osservata dopo 90 secondi di stretching rispetto alle durate inferiori.

Il risultato più rilevante dello studio riguarda il miglioramento dell'accuratezza osservato nella condizione di stretching dinamico. Gli atleti hanno infatti ottenuto un numero significativamente maggiore di tiri a bersaglio e una riduzione degli errori rispetto alle condizioni di stretching statico e controllo. Questo risultato suggerisce che gli effetti dello stretching dinamico non siano limitati a un semplice incremento della mobilità articolare, ma coinvolgano principalmente meccanismi di natura neuromuscolare. In accordo con quanto riportato dalla letteratura, i movimenti dinamici eseguiti durante il warm-up determinano un aumento della temperatura muscolare, della velocità di conduzione nervosa e dell'attivazione delle unità motorie, migliorando la preparazione funzionale del sistema neuromuscolare alla prestazione successiva (Behm et al., 2016; Samson et al., 2012).

Nel tiro della pallanuoto, gesto caratterizzato da una complessa sequenza coordinativa che coinvolge arti inferiori, tronco e arto superiore, un miglioramento dell'attivazione neuromuscolare potrebbe tradursi in una maggiore stabilità del movimento e in un controllo più efficace della traiettoria della palla. A differenza di altri sport di lancio, inoltre, il tiro nella pallanuoto viene eseguito in assenza di una base d'appoggio stabile; pertanto, la qualità del controllo neuromuscolare assume un ruolo ancora più determinante nel garantire precisione ed efficacia del gesto tecnico. I risultati ottenuti sembrano quindi indicare che lo stretching dinamico possa ottimizzare la preparazione motoria dell'atleta, migliorando la coordinazione dei segmenti corporei coinvolti nel gesto di tiro.

Un aspetto particolarmente interessante è rappresentato dal fatto che il miglioramento dell'accuratezza non è stato accompagnato da un incremento della velocità della palla. Questo risultato appare in contrasto con l'ipotesi iniziale secondo cui lo stretching dinamico avrebbe potuto favorire anche una maggiore produzione di forza esplosiva. Tuttavia, tale evidenza può essere interpretata alla luce del concetto di speed-accuracy trade-off descritto da Fitts (1954), secondo il quale l'esecuzione di movimenti più rapidi tende generalmente a ridurre la precisione. Nel presente studio, lo stretching dinamico sembra aver migliorato prevalentemente i processi di controllo motorio e coordinazione, senza modificare in maniera sostanziale la capacità di generare velocità. È pertanto possibile che il beneficio osservato sia legato a una migliore organizzazione del gesto tecnico piuttosto che a un incremento delle capacità neuromuscolari responsabili della produzione di forza.

Per quanto riguarda la velocità massima di tiro, l'assenza di differenze significative tra le condizioni sperimentali è in linea con alcuni studi condotti in altri sport di lancio. Ad esempio, Haag et al. (2010) e Williams et al. (2013) non hanno osservato variazioni significative della velocità di lancio nel baseball in seguito a differenti protocolli di stretching. Sebbene numerose evidenze abbiano mostrato effetti positivi dello stretching dinamico su sprint, salto e performance esplosive, il gesto di lancio rappresenta un movimento altamente complesso, nel quale la velocità finale della palla dipende dall'efficiente trasferimento di energia lungo l'intera catena cinetica. È quindi possibile che modificazioni acute indotte dal warm-up siano insufficienti a determinare variazioni apprezzabili della velocità di tiro in atleti già allenati e tecnicamente esperti.

L'analisi ha inoltre evidenziato una significativa interazione tra condizione sperimentale e durata del protocollo per la velocità massima di tiro. In particolare, nelle condizioni di stretching statico e dinamico è stata osservata una riduzione della velocità dopo 90 secondi di esercizio, mentre nella condizione senza stretching i valori sono rimasti sostanzialmente invariati. Questo risultato suggerisce che la durata del protocollo possa rappresentare un elemento determinante nell'influenzare la performance successiva. Nel caso dello stretching statico, la riduzione della velocità potrebbe essere attribuita alla diminuzione della stiffness muscolo-tendinea e alla temporanea riduzione dell'attivazione neuromuscolare ampiamente documentate in letteratura (Kay & Blazevich, 2012; Behm & Chaouachi, 2011). Una minore rigidità del complesso muscolo-tendineo potrebbe infatti ridurre l'efficienza della trasmissione della forza durante le fasi esplosive del gesto di tiro.

Per quanto riguarda lo stretching dinamico, la diminuzione osservata a 90 secondi appare meno facilmente spiegabile attraverso i meccanismi classici associati allo stretching statico. Una possibile interpretazione è che una durata eccessiva del protocollo abbia determinato un accumulo di fatica neuromuscolare o una riduzione dello stato di freschezza necessario per l'espressione della massima velocità di tiro. Questa ipotesi trova supporto nel fatto che le durate di 30 e 60 secondi non hanno mostrato effetti negativi, suggerendo che il beneficio dello stretching dinamico possa essere presente soltanto entro determinati volumi di lavoro.

Dal punto di vista applicativo, i risultati dello studio indicano che l'inserimento di esercizi di stretching dinamico all'interno del warm-up potrebbe rappresentare una strategia efficace per migliorare l'accuratezza del tiro nei pallanuotisti senza compromettere la velocità della palla. Al contrario, l'impiego di protocolli di stretching particolarmente prolungati sembra non fornire ulteriori vantaggi prestativi e potrebbe addirittura determinare una lieve riduzione della velocità di esecuzione del gesto tecnico. Pertanto, sulla base dei risultati ottenuti, l'utilizzo di protocolli dinamici di breve o moderata durata potrebbe rappresentare la soluzione più efficace nella preparazione immediatamente precedente alla prestazione.

Lo studio presenta tuttavia alcune limitazioni che devono essere considerate nell'interpretazione dei risultati. In primo luogo, il campione era composto da soli dieci atleti appartenenti alla stessa categoria agonistica, limitando la generalizzabilità dei risultati ad altre fasce di età e livelli competitivi. Inoltre, la valutazione dell'accuratezza è stata effettuata utilizzando un singolo bersaglio e un numero limitato di tentativi, condizioni che potrebbero non rappresentare completamente la complessità delle situazioni di gara. Infine, non sono state effettuate misurazioni dirette delle variazioni neuromuscolari, della temperatura muscolare o del range di movimento articolare, rendendo impossibile identificare con precisione i meccanismi fisiologici responsabili degli effetti osservati.

Future ricerche dovrebbero includere campioni più numerosi e atleti appartenenti a differenti categorie competitive, integrando misure biomeccaniche, elettromiografiche e cinematica tridimensionale del gesto di tiro. Tali approfondimenti potrebbero contribuire a chiarire i meccanismi attraverso cui differenti protocolli di stretching influenzano la performance specifica della pallanuoto e a definire linee guida più precise per l'ottimizzazione del warm-up negli sport di lancio

CONCLUSIONE

I risultati del presente studio indicano che lo stretching dinamico eseguito prima del tiro nella pallanuoto migliora significativamente l'accuratezza del gesto tecnico rispetto sia allo stretching statico sia all'assenza di stretching, indipendentemente dalla durata del protocollo. Al contrario, non sono state osservate differenze significative tra le condizioni per quanto riguarda la velocità massima di tiro.

È stato inoltre evidenziato che durate prolungate di stretching (90 secondi) tendono ad associarsi a una riduzione della velocità della palla, suggerendo che un eccessivo volume di lavoro pre-performance possa influenzare negativamente alcuni aspetti della prestazione.

Nel complesso, i risultati supportano l'utilizzo dello stretching dinamico come componente del warm-up nei pallanuotisti, in quanto capace di migliorare il controllo e la precisione del tiro senza compromettere la capacità di esprimere velocità. Dal punto di vista pratico, l'inserimento di esercizi dinamici specifici per la catena cinetica coinvolta nel gesto di lancio potrebbe rappresentare una strategia efficace per ottimizzare la preparazione alla prestazione.

Sono tuttavia necessari ulteriori studi con campioni più ampi e metodologie di analisi più approfondite per confermare i risultati ottenuti e chiarire i meccanismi neuromuscolari responsabili degli effetti osservati.

BIBLIOGRAFIA

- Alter, M. J. (2004). Science of flexibility. Human Kinetics.
- Avela J., Kyrolainen H. & Paavo V. Komi (1999). Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching.
- Battaglia, G., Barone, R., Palumbo, D., & Macaluso, F. (2008). Biological and methodological bases of muscular stretching. Capsula Eburnea.
- Behm, Anthony D. G., Blazevich 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.
- Behm, D. G., & Chaouachi, A. (2011). A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. European journal of applied physiology.
- Bisciotti G. N. (2005). Stretching: una visione critica. Sport & Medicina.
- Borsa P. A., Laudner K. G., & Sauers E. L. (2008) Mobility and stability adaptations in the shoulder of the overhead athlete: a theoretical and evidence-based perspective. Sports Medicine.
- Bushman, B., & American College of Sports Medicine. (2017). ACSM's Complete Guide to Fitness & Health, 2E. Human Kinetics.
- Cohen, D. B., Mont, M. A., Campbell, K. R., Vogelstein, B. N., & Loewy, J. W. (1994). Upper extremity physical factors affecting tennis serve velocity. American Journal of Sports Medicine
- Fletcher e Jones (2004). The Effect of different warm-up stretch protocols on 20 meter sprint performance in trained rugby union players.
- Gelen, E., Dede, M., Bingul, B. M., Bulgan, C., & Aydin, M. (2012). Acute effects of static stretching, dynamic exercises, and high volume upper extremity plyometric activity on tennis serve performance.
- Haag, S. J., Wright, G. A., Gillette, C. M., & Greany, J. F. (2010). Effects of acute static stretching of the throwing shoulder on pitching performance of NCAA Division III baseball players. Journal of Strength and Conditioning Research,
- Holt, J., Holt, L. E., & Pelham, T. W. (1995). Flexibility redefined. In ISBSConference Proceedings Archive.
- Kay A. & Blazevich A. (2012) Effect of Acute Static Stretch on Maximal Muscle Performance: A Systematic Review. Med. Sci. Sports Exerc.

- Kendall B. J. (2017). The Acute Effects of Static Stretching Compared to Dynamic Stretching with and without an Active Warm up on Anaerobic Performance.
- Kubo K, Kanehisa H, & Fukunaga T. (2002) Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol*.
- McClure P., Balaicuis J., Heiland D., Broersma M. E., Thorndike C. K., & Wood A. (2007) A randomized controlled comparison of stretching procedures for posterior shoulder tightness. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*.
- Moreno-Pérez, V., et al. (2022). Exploration of the shoulder internal rotation's influence on throwing velocity in handball players: A pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*
- Page P., PT, PhD, ATC, CSCS, FACSM (2012) Current concepts in muscle stretching for exercise and rehabilitation.
- Paoli, A., & Marco, N. (2013). *Principi di metodologia del fitness*.
- Petruzela, J., Papla, M., & Stastny, P. (2023). Conditioning strategies for improving handball throwing velocity: A systematic review and meta-analyses. *Journal of Human Kinetics*
- Saeterbakken A. H., Van der Tillar R. & Seiler S. (2011). Effect of core stability training on throwing velocity in female handball players.
- Samson M., Button D. C., Chaouachi A. & Behm D. G. (2012). Effects of dynamic and static stretching within general and activity specific warm-up protocols.
- Schmidt R. A., Zelaznik H., Hawkins B., Frank J. S. & Quinn J. T. (1979). Motor-Output Variability: A Theory for the Accuracy of Rapid Motor Acts.
- Sherwood, L., & Bodega, F. (2012). *Fondamenti di fisiologia umana*. Piccin.
- Simic L., Sarabon N. & Markovic G. (2013). Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review.
- Taylor, D. C., Dalton JR, J. D., Seaber, A. V., & Garrett JR, W. E. (1990). Viscoelastic properties of muscle-tendon units: the biomechanical effects of stretching. *The American journal of sports medicine*.
- 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*.
- Van der Tillar R. & Ettema G. (2009). A comparison of overarm throwing with the dominant and nondominant arm in experienced team handball players.

- Williams, M., Harveson, L., & Melton, J. (2013). The acute effects of upper extremity stretching on throwing velocity in baseball throwers. ISRN Rehabilitation, 2013