

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**SPALLA DEL NUOTATORE: POSSIBILI IMPLICAZIONI, PREVENZIONE E
RECUPERO**

Relatore: Prof. DORIA NICOLA

Laureando: CENCI ENRICO

N° di matricola: 2051093

Anno Accademico 2023/2024

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
1.1 PROPULSIONE NELL'AMBIENTE ACQUATICO	3
1.2 LA SPALLA, CARATTERISTICHE ANATOMICHE ED INFORTUNI.....	3
2. IL ROLLIO: INFLUENZA DELLA SPALLA DEL NUOTATORE NELLA NUOTATA	7
3. MODULAZIONE DELL'ATTIVAZIONE MUSCOLARE IN PRESENZA DI DOLORE ALLA SPALLA.....	10
4. TECNICHE PREVENTIVE PER LA RIDUZIONE D'INCIDENZA DELL'INFORTUNIO	14
5. RECUPERO DALL'INFORTUNIO	20
6. CONCLUSIONI.....	23
BIBLIOGRAFIA	25

ABSTRACT

La “spalla del nuotatore” è una patologia che coinvolge il cingolo scapolo-omerale con un tasso di frequenza molto elevato nei nuotatori. La spalla risulta essere il complesso articolare maggiormente utilizzato nell’ambiente acquatico, dove la propulsione deriva principalmente dall’azione degli arti superiori. La sintomatologia si presenta nella regione antero-laterale della spalla e può essere legata a fattori intrinseci o estrinseci. Le implicazioni connesse a tale problematica si identificano in una variazione dell’assetto di nuotata, con un rollio meno accentuato nel lato lesionato evidenziato particolarmente a livello di anca. La funzione muscolare in presenza di dolore risulta differente, enfatizzando una maggiore attivazione di gran dorsale, fibre superiori del trapezio e dentato anteriore, conseguente al tentativo di sopprimere il dolore; queste differenze non sono visibili solo nel gesto tecnico ma si evidenziano anche nelle attività a basso carico della vita quotidiana. La prevenzione risulta elemento fondamentale nell’evitare lo stop forzato dagli allenamenti e dalle competizioni. In particolare, l’utilizzo di esercizi di forza con bande elastiche associato allo stretching del pettorale (muscolo maggiormente contratto nella nuotata) risulta vincente non solo per ridurre gli squilibri di forza ma anche per correggere atteggiamenti posturali scorretti che potrebbero aumentare l’incidenza dell’infortunio. Durante il recupero l’accostamento di FANS e riposo risulta sufficiente nella maggior parte delle lesioni, anche se, nei casi più gravi, l’intervento chirurgico risulta l’unica soluzione per ridurre il dolore. In seguito al rientro post infortunio con stop forzato di circa quattro settimane la potenza esercitata dagli arti superiori rimane differente fino alla dodicesima settimana.

1. INTRODUZIONE

1.1 PROPULSIONE NELL'AMBIENTE ACQUATICO

Il nuoto è un'attività motoria che presenta caratteristiche particolari e per molti aspetti completamente diverse dagli altri sport. È una disciplina che viene praticata con il corpo in immersione nell'ambiente acquatico, dove le caratteristiche di viscosità, densità e termoconduzione dell'acqua condizionano la termodispersione, gli adattamenti alla pressione idrostatica, il galleggiamento ed il conseguente avanzamento. Le resistenze all'avanzamento sono circa 800 volte superiori rispetto all'aria, non a caso l'efficienza metabolica è molto bassa nel nuoto rispetto agli sport terrestri. È uno sport ciclico che combina l'azione degli arti superiori e inferiori, con elevate richieste tecniche. Vengono identificati quattro stili: delfino, dorso, rana e crawl (stile libero). Delfino, dorso e stile libero sono caratterizzati da 2 fasi: una prima fase subacquea suddivisa a sua volta in un momento di presa (nella quale la mano cerca la "presa" dell'acqua), un momento di trazione (nella quale la mano spinge verso dietro con il gomito alto, fino a quando la spalla passa sopra la mano, ad eccezione del dorso dove è tutto ruotato di 180°) ed un momento di spinta (nella quale in seguito all'avanzamento del corpo, si distende il braccio); ed una seconda fase di recupero aereo. La rana è l'unico stile a presentare solo il momento di presa e trazione, seguite da un recupero subacqueo.

La propulsione deriva principalmente dall'azione degli arti superiori (80/85%), mentre gli arti inferiori ne contribuiscono solo in parte, avendo come obiettivo principale il mantenimento del corpo in posizione orizzontale. Queste percentuali sono differenti nella rana, dove il contributo della gambata è maggiore rispetto agli altri stili.

1.2 LA SPALLA, CARATTERISTICHE ANATOMICHE ED INFORTUNI

Da quando è stato introdotto come sport olimpico (ai giochi estivi del 1896), il nuoto si è essenzialmente diffuso come uno sport che non presenta periodi di pausa, ma che mantiene un livello di carico allenante significativo anche al termine della stagione di gare, con conseguente aumento del rischio di infortuni del comparto muscolo-scheletrico.

L'alto tasso di infortuni sembra proprio derivare dalla biomeccanica del nuoto costituita da specifici movimenti ripetitivi caratterizzati da una propulsione principalmente a carico degli arti superiori, a differenza degli sport terrestri in cui l'avanzamento è favorito dall'azione degli arti inferiori.

Al fine di ottenere un'efficace propulsione, alla spalla sono richiesti molteplici movimenti, la maggior parte dei quali vengono eseguiti durante le circonduzioni in senso orario e antiorario, con diversi gradi di rotazione interna ed esterna in aggiunta ad una retrazione/protrazione scapolare.

Proprio a causa dell'alto numero di cicli a cui è sottoposto il cingolo scapolo-omerale, uno degli infortuni che rappresenta maggiormente la disciplina natatoria è sicuramente quello che viene definito come "spalla del nuotatore".

Clinicamente parlando, la "spalla del nuotatore" viene descritta come una condizione muscolo scheletrica caratterizzata da sintomatologia nella regione antero-laterale della spalla, contraddistinta da un impingement sub acromiale con coinvolgimento del tendine della cuffia dei rotatori, del tendine bicipitale e/o la borsa sub acromiale.

È una condizione con insorgenza graduale dovuta all'attività ciclica e ripetitiva del nuoto, e può essere classificata come microtrauma con un'eziologia multifattoriale collegata a fattori intrinseci o estrinseci. I sintomi possono variare dal semplice dolore protratto fino al bicipite, al gonfiore, alla riduzione di forza, fino all'impossibilità di abduire il braccio.

Questa problematica colpisce i nuotatori con un'incidenza che va dal 27% all'87% degli atleti di qualsiasi livello, sottolineando come il 20-35% di nuotatori agonisti subisca ogni anno un infortunio a questo settore, con conseguente interruzione degli allenamenti.

Al fine di ottenere una più facile comprensione della problematica, è opportuno approfondire l'anatomia della spalla.

L'articolazione della spalla è un'artrosi, vale a dire un sistema articolare con un ampio range di movimento, presentando maggiori caratteristiche di mobilità a discapito della stabilità. Viene definita come un complesso articolare composto da 5 articolazioni (3 vere con struttura cartilaginea e 2 false in cui manca la superficie precedentemente menzionata). Le 3 articolazioni vere sono:

- Articolazione sterno-clavicolare/sterno-costale: risulta dall'interazione tra l'estremità mediale della clavicola, faccetta claveare dello sterno e parte della prima cartilagine costale;
- Articolazione acromion-claveare: ha origine dall'unione tra l'estremità distale della clavicola e l'acromion della scapola;
- Articolazione glomerale: deriva dall'incastro tra la glena della scapola e la testa dell'omero; caratteristica di quest'articolazione è la particolarità che il gleno non abbraccia completamente l'omero conferendogli mobilità con conseguente riduzione di stabilità.

Le 2 articolazioni false sono rappresentate da:

- Articolazione scapolo-toracica: origina dal rapporto tra la faccia anteriore della scapola e il piano di scorrimento osseo della porzione posteriore della gabbia toracica;
- Articolazione acromion-omerale: piano di scorrimento tra la volta coraco-acromiale e la testa dell'omero.

Il complesso della spalla è progettato per ottenere il massimo ROM con il maggior grado di libertà di qualsiasi sistema articolare del corpo. In particolare, l'eccessiva mobilità delle articolazioni gleno-omerale e scapolo-toracica è bilanciata dalla stabilità delle articolazioni acromion-claveare e sterno-clavicolare.

Un ruolo chiave nella mobilità dell'articolazione gleno-omerale (fondamentale nel gesto natatorio) è svolto in primo luogo dal comparto legamentoso, supportato da un elaborato sistema muscolo tendineo con funzione stabilizzatrice secondaria che, grazie al proprio lavoro, riesce a mantenere perfettamente centrata la testa dell'omero nella glena scapolare.

In particolare, la cuffia dei rotatori (composta da: sopraspinato, sottospinato, sottoscapolare e piccolo rotondo) risulta fondamentale nella stabilizzazione della spalla contro l'adduzione e la rotazione interna della stessa, caratteristiche necessarie per l'avanzamento in acqua.

Lo squilibrio tra intra-rotatori e adduttori di spalla rispetto agli extra-rotatori sembra essere una delle cause principali che può portare lesioni alla cuffia dei rotatori, accentuato dalla compressione delle strutture tra l'acromion e il tubercolo maggiore dell'omero.

Inoltre, lo spostamento del ROM verso una rotazione esterna maggiore è un adeguamento alle richieste dell'articolazione gleno-omerale, necessarie al fine di sostenere il gesto tecnico; l'incapacità degli stabilizzatori scapolari e della cuffia dei rotatori di mantenere la testa dell'omero nella glena della scapola può comportare un eccessivo spostamento della testa omerale con conseguente sollecitazione a carico dei tendini.

Il meccanismo di lesione inizia con l'affaticamento muscolare. Un esempio è portato dal dentato anteriore il quale stabilizza la scapola nei meccanismi di rotazione e protrazione verso l'alto. Durante il movimento di trazione, tipico del gesto natatorio, questo muscolo, inverte origine ed inserzione per favorire l'avanzamento del corpo, mantenendo lo spazio sub acromiale e la congruenza articolare. In caso di affaticamento, la scapola non riesce a protrarsi e ruotare verso

l'alto, e lo spazio sub acromiale può risultare compromesso con conseguente compressione delle strutture sottostanti.

Una possibile causa legata a fattori estrinseci sembra essere il semplice uso eccessivo, attraverso l'esecuzione ripetitiva di un gesto tecnico che non permette ai tessuti di recuperare in maniera adeguata, al quale possono essere associati sintomi dovuti alla mancanza di forza o resistenza.

Gli studi hanno analizzato il rapporto tra microcircolazione della cuffia dei rotatori e impingement alla spalla; in particolare è stato notato che nel momento in cui la spalla si trova in posizione di abduzione, i vasi del sopraspinato e del capo lungo del bicipite risultano ben irrorati, al contrario in posizione di adduzione d'omero il sistema vascolare dei tendini risulta compromesso. Questo evento causa una "strizzatura" del tendine implicando una mancata vascolarizzazione di un centimetro prossimale all'inserzione sulla testa omerale. Ciò si verifica anche in caso di adduzione e flessione contemporanea conseguente ad un'errata tecnica o ad affaticamento muscolare.

Un elemento al quale spesso non viene prestata attenzione è il movimento di rollio che il corpo compie durante la nuotata; un rollio eccessivo può portare ad impingement alla spalla a causa dell'aumento dell'adduzione orizzontale del braccio. Al contrario, una staticità di nuotata, intesa come assenza di rollio, costringerà l'omero ad un'abduzione orizzontale forzata del braccio ipsilaterale durante la fase di recupero, con conseguente aumento del carico posto sul capo lungo del bicipite e del tendine del muscolo sopra spinato all'interno dello spazio sub acromiale.

La spalla del nuotatore è un infortunio molto ricorrente nei nuotatori e come sopra riportato le cause possono essere molteplici, al fine di comprendere correttamente le motivazioni che hanno portato ad un'inflammatione in quella zona sarebbe opportuno valutare individualmente il soggetto.

2. IL ROLLIO: INFLUENZA DELLA SPALLA DEL NUOTATORE NELLA NUOTATA

Lo stile libero risulta essere l'esecuzione tecnica maggiormente utilizzata negli allenamenti di un nuotatore, sia durante le serie allenanti, sia durante riscaldamento e defaticamento. Quest'ultimo richiede la coordinazione dei movimenti asincroni di braccia e gambe, al fine di garantire un'efficiente propulsione nell'ambiente acquatico.

Per assicurare un adeguato avanzamento, mentre un braccio applica forza all'acqua, l'altro viene riposizionato per preparare la spinta successiva; questi cicli di avanzamento e recupero si inseriscono in un complesso movimento del corpo attorno al proprio asse longitudinale, più comunemente noto come "rollio del nuotatore". Questo gesto risulta parte fondamentale nell'esecuzione tecnica del crawl in quanto garantisce un corretto bilanciamento e coordinazione durante la propulsione, aiutando a massimizzare la lunghezza della bracciata. (Barden & Barber, 2022)

Il rollio è un fattore estremamente importante ai fini non solo dell'esecuzione tecnica ma della competizione stessa, in quanto, un aumento della lunghezza della bracciata, corrisponde ad un incremento della fase propulsiva e ad una maggior sostegno durante la respirazione.

Sulla relazione rollio-respirazione è stato dimostrato come le asimmetrie respiratorie influenzino significativamente il rollio del corpo. In particolare, tra il 59 e l'85% dei nuotatori sperimenta dolore unilaterale alla spalla dovuto all'asimmetria di bracciata durante lo stile libero, a causa dell'effetto che questa ha sulla posizione degli arti superiori e sul percorso che la mano segue durante la nuotata. (Bak & Faunø, n.d.; Vezos et al., 2007)

Al fine di approfondire l'associazione che esiste tra rollio e dolore alla spalla, l'articolo di (Vita Dieguez & Barden, 2022) ha preso in esame due gruppi di studio formati ciascuno da 12 soggetti. Entrambi i gruppi erano composti da nuotatori d'élite con l'unica differenza che un gruppo era composto da soggetti con dolore alla spalla unilaterale, mentre il gruppo di controllo non presentava alcun tipo di problematica. Per ottenere una maggiore attendibilità dallo studio, gli atleti dovevano presentare un'età pari o superiore ai 18 anni, dovevano eseguire un minimo di 15 chilometri nuotati a settimana, dovevano presentare almeno una qualifica ai campionati provinciali canadesi, e dovevano avere un lato preferito di respirazione. A questi elementi, per gli atleti con dolore alla

spalla, sono stati fissati ulteriori limiti; in particolare, il dolore alla spalla doveva essere presente da almeno 3 mesi con una frequenza minima di 2 volte al mese (per assicurarsi che la lesione fosse cronica), il lato lesionato doveva essere opposto rispetto al lato di respirazione. Sono stati inoltre presi in esame atleti che presentavano dolore solo dopo sessioni pesanti di allenamento oppure atleti con dolore non invalidante durante e dopo le sessioni, al fine di escludere eventuali modificazioni della tecnica di nuotata in risposta al dolore, cosa che sarebbe potuta accadere con atleti che presentavano problematiche più gravi. Gli atleti non dovevano aver subito interventi chirurgici alla spalla e non dovevano essere stati sottoposti a trattamenti per mitigare il dolore.

Tutti i partecipanti hanno eseguito tre ripetizioni sui 100 metri stile liberi (vasca da 25 metri) con un ritmo differente: la prima prova è stata effettuata al 140% rispetto loro miglior tempo stagionale, la seconda al 130% e la terza al 115%, al fine di replicare tutte le possibili velocità di nuotata che potevano essere utilizzate durante l'allenamento (Vila Dieguez & Barden, 2022). Il recupero tra una prova e l'altra è stato fissato a cinque minuti al fine di ridurre al minimo l'influenza della fatica.

Gli studi dimostrano che è importante valutare il rollio a differenti ritmi, in quanto all'aumentare della velocità il rollio del corpo diminuisce (Yanai, 2003).

Per avere una misura costante del rollio del corpo sono stati posizionati 2 accelerometri triassiali agli atleti; uno nel punto medio tra le 2 spine iliache posteriori inferiori, uno sulle vertebre toraciche a livello delle spine scapolari. È stato scelto questo strumento perché consentiva di ottenere un valore di rollio del corpo coerente con i dati che potevano essere ricavati da analisi video (Bächlin & Tröster, 2012).

Ogni prova è stata preceduta e terminata da un salto verticale in acqua, al fine di fornire un punto di partenza e un punto di conclusione della verifica.

Per garantire che la respirazione non influenzasse il rollio del corpo, è stato chiesto ai soggetti di respirare ogni due bracciate sempre dallo stesso lato (il preferito); è stato infatti dimostrato che il rollio avviene maggiormente nel lato in cui si respira rispetto all'altro.

I risultati hanno evidenziato come non ci siano differenze significative nell'angolo di rollio della spalla tra atleti con e senza dolore, nonostante una tendenza dei nuotatori sani ad avere un picco di rollio maggiore indipendentemente dalla velocità e dal lato di rotazione.

A livello dell'articolazione coxo-femorale i risultati significativi sono stati notati nel lato di non respirazione; nel gruppo con dolore, il rollio era di 48,8°, mentre nel gruppo sano il rollio era di

56,7°; questo fa dedurre che i nuotatori con sindrome della spalla del nuotatore rollino significativamente meno sul lato non respirante, con differenza in tutte e tre le velocità di nuotata. Non sono state invece trovate differenze nel lato di respirazione.

Table 3. Mean (\pm SD) peak shoulder and hip roll angles ($^{\circ}$) based on speed and breathing side.

REGION	SIDE	SPEED	GROUP		DIFFERENCE			
			PAIN	CONTROL	<i>p</i> value	Effect size (<i>r</i>)	<i>F</i>	Partial Eta squared
Shoulder	Breathing side	Slow	82 \pm 15	84 \pm 11	0.593	0.477	0.295	0.013
		Medium	76 \pm 12	80 \pm 8				
		Fast	76 \pm 13	77 \pm 8				
	Non-breathing side	Slow	68 \pm 12	72 \pm 12	0.621	0.619	0.252	0.011
		Medium	66 \pm 11	68 \pm 8				
		Fast	65 \pm 11	66 \pm 7				
Hip	Breathing side	Slow	65 \pm 8	66 \pm 6	0.500	0.566	0.471	0.021
		Medium	63 \pm 8	65 \pm 7				
		Fast	61 \pm 8	64 \pm 8				
	Non-breathing side	Slow	*50 \pm 9	58 \pm 7	0.018	0.931	6.487	0.228
		Medium	*48 \pm 9	57 \pm 7				
		Fast	*48 \pm 9	55 \pm 8				

È importante comunque sottolineare come il rollio diminuiva con l'aumentare della velocità, sia a livello di anca che di spalla, in entrambi i gruppi.

Ambedue i gruppi hanno inoltre mostrato un indice di asimmetria positivo, confermando un maggiore rollio nel lato di respirazione; in particolare, a livello di anca, i nuotatori con dolore alla spalla presentavano un'asimmetria significativa (26%).

Table 4. Mean (SD) body roll asymmetry index (%) based on group, region and speed.

REGION	SPEED	GROUP		DIFFERENCE	
		PAIN	CONTROL	<i>p</i> Value	Effect size (<i>r</i>)
Shoulder	Slow	19.0 \pm 12.8	16.8 \pm 16.6	0.986	< 0.001
	Medium	14.1 \pm 11.7	15.8 \pm 12.5		
	Fast	15.2 \pm 9.6	15.4 \pm 13.4		
Hip	Slow	*26.7 \pm 12.9	13.5 \pm 10.6	0.018	0.932
	Medium	*26.6 \pm 16.5	14.1 \pm 9.9		
	Fast	*24.6 \pm 16.9	(1) \pm 10.5		

Traendo le conclusioni finali dallo studio è emerso che i nuotatori con dolore unilaterale alla spalla, rollano a livello di anca in maniera minore sul lato lesionato rispetto ai nuotatori sani, con conseguente aumento dell'asimmetria bilaterale, evidenziando una relazione tra rollio del corpo e dolore alla spalla. Non sono state notate differenze significative a livello di spalla; questo potrebbe essere dovuto ad un'elevata rigidità del gran dorsale con conseguente riduzione della mobilità scapolare. La cintura pelvica riveste comunque un importante ruolo nell'influenza di movimento della spalla attraverso l'attivazione delle catene cinetiche crociate.

È stato inoltre evidenziato come un aumento della velocità comporti una riduzione del rollio, sia nei nuotatori lesionati che nei nuotatori sani.

3. MODULAZIONE DELL'ATTIVAZIONE MUSCOLARE IN PRESENZA DI DOLORE ALLA SPALLA

La disciplina natatoria necessita di un delicato equilibrio di mobilità e stabilità scapolo-omerale nei nuotatori, al fine di soddisfare le esigenze funzionali dei movimenti multidirezionali, ripetitivi e di circonduzione omerale. (Tovin, n.d.).

Il complesso della spalla come sopra citato risponde a caratteristiche di mobilità, alla quale è affiancata, attraverso un'equilibrata attivazione muscolare la ricerca di stabilità, in particolare nei movimenti verso l'alto. Un'attivazione sproporzionata di forti mobilizzatori di spalla, come il deltoide o il pettorale, durante i movimenti sopra la testa, può portare alla traslazione della testa omerale nella fossa glenoidea; è quindi richiesta un'efficiente interazione dinamica con i muscoli stabilizzatori, per controbilanciare l'effetto destabilizzante dei sopra citati muscoli forti.

Al fine di mantenere il centro della rotazione gleno-omerale e dello spazio sub acromiale, durante i movimenti sopra la testa, risulta inoltre cruciale l'attivazione equilibrata dei muscoli scapolari.

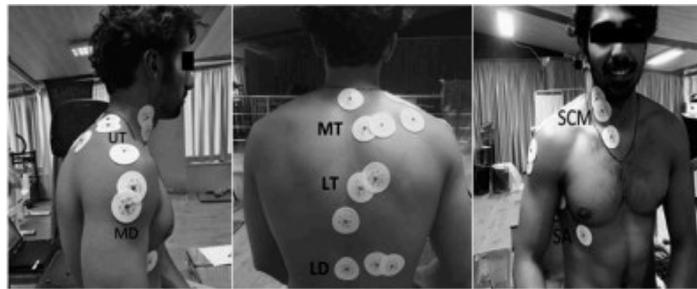
Lo studio di (Sabzehparvar et al., 2021) ha esaminato le differenze di attivazione dei muscoli gleno-omerale e scapolari, durante un compito funzionale a basso carico dell'arto superiore, al fine di evidenziare eventuali discrepanze tra nuotatori d'élite con o senza dolore alla spalla.

Sono stati presi in esame 24 atleti della nazionale iraniana, 12 sani e 12 con dolore alla spalla. I nuotatori si allenavano almeno 3 volte la settimana coprendo una distanza non inferiore ai 40 chilometri. Gli atleti avevano un'età superiore ai 18 anni e avevano sofferto di dolore alla spalla per almeno 3 mesi prima di eseguire il test.

Al fine di individuare la corretta allocazione, gli elettrodi sono stati posizionati toccando punti di riferimento ossei ed eseguendo una massima contrazione volontaria del muscolo interessato; in particolare sono stati applicati:

- Nel punto medio tra il processo spinoso della settima vertebra cervicale e il processo acromiale (per esaminare le fibre superiori del trapezio);
- Nel quarto superiore tra acromion e olecrano, nella parte centrale (per esaminare il deltoide mediale);
- Obliquamente rispetto al processo spinoso della scapola e il settimo processo toracico (per esaminare le fibre inferiori del trapezio);

- Nella linea che congiunge il processo spinoso alla seconda vertebra toracica (per esaminare le fibre del trapezio mediale);
- 4 centimetri sotto l'angolo inferiore della scapola, metà della distanza tra la spina dorsale e il bordo inferiore del corpo con un angolo di 24°; un elettrodo di riferimento è stato posizionato sull'undicesima vertebra toracica (per esaminare il gran dorsale);
- Sulla seconda distanza del processo mastoideo e l'imbuto del petto, mentre la testa è ruotata (per esaminare il muscolo sternocleidomastoideo);
- Nella linea medio-ascellare tra la sesta e l'ottava costola, con gli elettrodi disposti verticalmente (per esaminare il dentato anteriore);



Il test consisteva nel segnare con la penna i punti all'interno di tre cerchi con diametro 70 millimetri, disegnati ad una distanza di 23 centimetri tra i loro centri. I punti dovevano essere toccati in senso antiorario e in coordinamento con un metronomo impostato a 88 battiti/minuto.

Il test è stato applicato all'arto dominante (quello preferito per svolgere le attività quotidiane). Tutti i nuotatori con dolore presentavano la sintomatologia nell'arto dominante. Ogni partecipante era posizionato su una sedia regolabile con i piedi appoggiati. L'altezza del tavolo era regolata in base all'altezza del gomito di ciascun soggetto.

I segnali elettromiografici sono stati registrati durante il compito funzionale che è continuato per una durata di 150 secondi.



L'analisi ha evidenziato un livello più elevato di attivazione delle fibre superiori del trapezio, del dentato anteriore e del gran dorsale in condizioni di dolore. Un aumento dell'attività delle fibre superiori del trapezio nei nuotatori con infiammazione alla spalla è stato segnalato anche da altri studi; ciò sembrerebbe derivare dall'alto volume di movimenti ripetitivi, associato alla frequente elevazione e rotazione della scapola che porterebbe ad un'iperattività di tale muscolo. (CLINICAL Nonoperative Management of Shoulder Impingement Syndrome Secondary, 1993).

Non sorprende neppure un'augmentata attività del dentato anteriore, il quale risulta coinvolto nell'inclinazione posteriore e nella rotazione esterna della scapola per stabilizzarla contro la gabbia toracica nei movimenti degli arti superiori. Le alterazioni dell'attività muscolare sinergica del trapezio superiore e del dentato anteriore e la conseguente interruzione della normale coppia di forza possono portare ad un'articolazione disfunzionale nello stile libero causando dolore alla spalla.

L'aumento dell'attività del gran dorsale sembra essere connessa al tentativo di alleviare l'impingement sub-acromiale deprimendo la testa omerale. La rigidità di tale muscolo può limitare la flessione, l'extra rotazione e l'abduzione della spalla oltre ad essere una causa dello sviluppo di ipercifosi, in seguito ad un aumento della flessione del tratto dorsale.

Come sopra riportato, non sono state notate differenze nell'attivazione delle fibre mediali e inferiori del trapezio, del deltoide mediale e del muscolo sternocleidomastoideo tra i nuotatori con e senza dolore alla spalla.

Sull'attività del trapezio e sull'equilibrio intra-muscolare in atleti con sindrome da impingement hanno indagato anche (Cools et al., 2007) confermando come non vi sia alcuna differenza nell'attivazione del trapezio mediale tra soggetti colpiti da impingement alla spalla e sani durante esercizi di abduzione isocinetica. Tuttavia, hanno notato una diminuzione della qualità del reclutamento muscolare negli esercizi sopra la testa, con conseguente decremento della performance legato a tale muscolo.

Nonostante le teorie dimostrate da tale studio siano state comprovate da altre sperimentazioni, è bene sottolineare come il compito funzionale richiesto agli atleti fosse a basso carico e non comprendesse movimenti specifici del gesto della nuotata; ad ogni modo questo sta a significare che un dolore a livello di spalla non crea complicazioni solamente nel gesto tecnico del nuoto, ma trova ripercussioni anche nelle attività della vita quotidiana.

In conclusione, si può affermare che gli atleti con dolore alla spalla presentano attivazioni muscolari differenti rispetto a soggetti senza dolore durante compiti a basso carico; in particolare questa differenza è stata notata a livello di trapezio superiore, dentato anteriore e gran dorsale. Queste osservazioni possono essere utilizzate per un'adeguata prescrizione di esercizi preventivi e riabilitativi al fine di ripristinare le normali attivazioni muscolari.

4. TECNICHE PREVENTIVE PER LA RIDUZIONE D'INCIDENZA DELL'INFORTUNIO

L'uso eccessivo dei muscoli della spalla durante le sessioni di allenamento settimanali (che possono variare da 6 a 10), porta a squilibri muscolari tra intra ed extra rotatori d'omero, i quali se non trattati e prevenuti possono portare ad importanti lesioni come la “spalla del nuotatore”. I carichi di allenamento generano uno squilibrio muscolare a causa del sovraccarico, poiché i muscoli antagonisti non vanno incontro alla stessa sollecitazione durante gli allenamenti. Diversi studi, come quello di (Habechian et al., 2018) hanno dimostrato come bastino solamente 3 anni di allenamento continuo per determinare uno squilibrio muscolare tra intra ed extra rotatori, sottolineando come lo sviluppo atletico nel nuoto sia molto più favorevole all'incremento dei primi. Il rapporto di forza tra rotatori esterni ed interni che ci si spetterebbe in una spalla sana è compreso tra il 75% e il 100% (Cools et al., 2007).

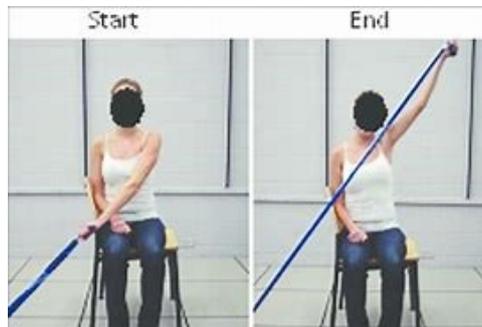
Tuttavia, per prevenire l'insorgere dell'infiammazione alla spalla, i parametri da monitorare non comprendono solamente gli squilibri di forza, ma risulta fondamentale comprendere anche la mobilità dell'articolazione gleno-omeroale, che ci permette di identificare precocemente il rischio di lesione. Associata alla valutazione articolare della sopra citata articolazione è sempre bene accostare anche lo studio della cinematica scapolare, in quanto una scapola mobile che non risponde alle naturali caratteristiche di stabilità andrà a scaricare stress e tensioni sul cingolo scapolo-omeroale.

In termini di trattamento terapeutico, le tecniche più comunemente utilizzate per aumentare la forza della cuffia dei rotatori ed evitare squilibri muscolari includono esercizi di stabilizzazione scapolo-omeroale, esercizi pliometrici, esercizi massimali e l'utilizzo di elettrostimolatori. Tuttavia, si sta affermando in maniera sempre più propositiva l'impiego di esercizi di forza mediante l'utilizzo di bande elastiche seguendo il modello di schema diagonale D2 di Kabat per la flessione.

Le fasce sono caratterizzate da diverse resistenze, contraddistinte da differenti colori, e forniscono una maggiore attivazione elettromiografica della muscolatura scapolare rispetto all'allenamento con i pesi liberi.

Al fine di capire la reale potenzialità dell'utilizzo di bande elastiche nella prevenzione degli infortuni, lo studio di (Della Tommasina et al., 2023) ha esaminato gli effetti di un modello di Kabat diagonale sulla forza di tutti i movimenti che coinvolgono l'extra rotazione della spalla, i

movimenti scapolari e il ROM articolare, basandosi sull'ipotesi che l'allenamento degli extra rotatori della spalla possa essere una strategia per prevenire lesioni alla cuffia dei rotatori.



L'esperimento è stato condotto su 8 settimane; i soggetti che hanno partecipato sono stati divisi in due gruppi: un gruppo di controllo e uno di intervento.

Gli atleti presi in esame erano 22 nuotatori universitari di sesso maschile, con un'età compresa tra 18 e 33 anni, con una frequenza minima di 2 allenamenti settimanali.

Prima di procedere con la sperimentazione è stato eseguito un test per ogni soggetto; i soggetti sono stati posizionati in decubito supino, l'arto superiore da valutare è stato abdotto con una flessione di gomito di 90°, in modo che l'avambraccio fosse perpendicolare al suolo. Il dinamometro è stato posizionato trasversalmente rispetto all'estremità distale dell'arto superiore, a contatto con il polso del paziente. Il test consisteva in due contrazioni isometriche di 5 secondi, intervallate da 30 secondi di recupero per i movimenti di rotazione esterna e interna. Sono stati presi in considerazione solamente i valori massimi registrati dall'apparecchio. Per calcolare la forza applicata dal paziente, il fisioterapista, in contatto con il dinamometro, ha applicato una resistenza uguale alla forza applicata dal soggetto, impedendo a questo di spostare il braccio. Con i risultati ottenuti dalla valutazione della forza isometrica è stato fatto un rapporto tra la forza sviluppata dagli intra ed extra rotatori.

Al test di forza sono state anche associate una verifica del ROM articolare, misurato tramite goniometro e una misurazione dello spostamento mediale/laterale della scapola e della sua rotazione verso l'alto durante il sollevamento del braccio a riposo.

Ogni sessione sperimentale avveniva prima della seduta natatoria, durava 4 minuti per soggetto e si svolgeva per 2 volte la settimana, mentre il gruppo di controllo eseguiva la solita routine.

Durante ogni ripetizione i soggetti partivano da una posizione di adduzione, estensione e rotazione interna della spalla con estensione e pronazione del gomito, flessione e inclinazione ulnare del polso, per arrivare ad una posizione di flessione, abduzione e rotazione esterna della spalla con estensione e supinazione del gomito, estensione e inclinazione radiale del polso. Ogni soggetto del gruppo sperimentale doveva eseguire 3 serie da 10 ripetizioni per ogni arto superiore, al termine delle quali doveva indicare mediante scala di Borg lo sforzo percepito.

Lo scopo dello studio era quello di sviluppare un protocollo per il rafforzamento dei muscoli rotatori della spalla utilizzando bande elastiche, da implementare nella routine di allenamento preventivo.

La sperimentazione ha dimostrato che non vi è stato un incremento significativo della forza della spalla, un miglioramento del ROM e dei movimenti scapolari rispetto al gruppo di controllo.

La mancanza di risultati significativi potrebbe essere legata alla durata limitata della sperimentazione; una durata di sole otto settimane, accostata alla ridotta frequenza, potrebbe non essere sufficiente per mostrare risultati notevoli in termini di forza. Questa ipotesi sembra essere rafforzata da altri studi come quello di (Batalha et al., 2015) il quale su un programma di 12 settimane ha notato differenze nei livelli di forza, mediante l'utilizzo di esercizi di abduzione (fino a 60°) ed extra rotazione degli arti superiori, estensione del gomito associata a flessione della spalla, abduzione completa (160°). Inoltre, un campione di 22 persone potrebbe non essere sufficientemente rappresentativo riguardo le risposte che potrebbe avere la popolazione, soprattutto in virtù del fatto che è stato utilizzato solamente un esercizio per aumentare la forza muscolare.

Anche se minime, le differenze che sono state notate nel miglioramento dei livelli di forza e nell'incremento della mobilità articolare sono incoraggianti e ci indirizzano verso una strada positiva. Considerando poi che, se l'esecuzione venisse ripetuta in maniera costante durante l'anno di allenamento, affiancata da ulteriori esercizi, se ne amplificherebbe l'effetto.

Il fatto che non tutti gli atleti sviluppino dolore alla spalla suggerisce che all'uso eccessivo debbano sommarsi anche altri fattori come la forza muscolare, la flessibilità muscolo-tendinea, il lassismo articolare e la postura (Kluemper et al., 2006). Un'anteposizione di spalla accentuata da una marcata ipertrofia degli intra rotatori e degli adduttori della spalla a discapito degli antagonisti sembra essere una delle cause principali di diminuzione dello spazio sub acromiale accompagnata da una riduzione dell'inclinazione posteriore della scapola durante l'elevazione omerale.

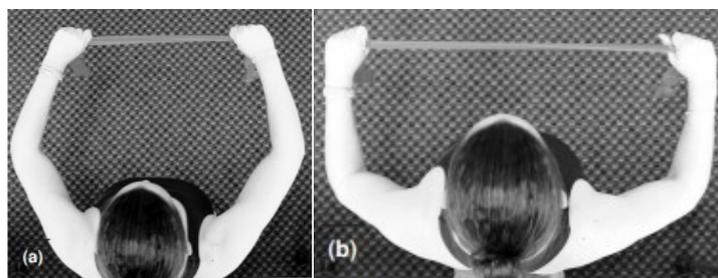
Sembra fondamentale, a fini preventivi, allungare i muscoli maggiormente contratti come il piccolo pettorale e rafforzare i muscoli antagonisti tipici del movimento natatorio per garantire una riduzione del difetto posturale.

Lo studio di (Kluemper et al., 2006) ha utilizzato un programma funzionale di stretching e ipertrofia muscolare per valutare la riduzione dell'anteposizione di spalla come prevenzione dalla lesione al cingolo scapolo-omerale. La sperimentazione della durata di 6 settimane, per essere il più attinente possibile alla realtà, ha preso in esame 39 nuotatori competitivi di livello élite di 2 squadre di nuoto (una squadra ha agito come gruppo sperimentale, l'altra come gruppo di controllo).

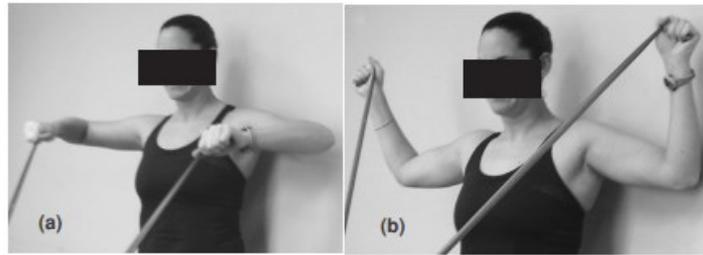
Al fine di valutare l'anteposizione di spalla, è stata eseguita una misurazione pre e post sperimentazione, della distanza dal muro all'acromion del soggetto (identificato mediante palpazione), sia in posizione rilassata che in posizione militare eretta per evitare che i partecipanti non alterassero involontariamente la normale postura rilassata.

Gli esercizi sono stati condotti per tre volte a settimana utilizzando bande elastiche di resistenza differente. Durante le settimane c'è stato un incremento sia nelle ripetizioni che nella resistenza degli elastici; in particolare la prima settimana sono state svolte 3 serie per 10 ripetizioni, la seconda settimana 3 serie per 15 ripetizioni, mentre la terza settimana 3 serie per 20 ripetizioni; al termine della terza settimana è stata aumentata la resistenza della banda e si è ripartiti dalla prima settimana seguendo la stessa progressione. Gli esercizi proposti erano 3:

- Retrazione scapolare: con la spalla abdotta a 90° rispetto al piano scapolare, il gomito flesso a 90° e gli avambracci orizzontali, l'atleta ritrae la scapola mantenendo con entrambe le mani la presa sulla banda



- Extra rotazione: l'omero è abdotta a 90° come il gomito; l'avambraccio inizia in posizione orizzontale per poi ruotare esternamente in posizione verticale, seguito da un ritorno controllato alla posizione di partenza.



- Flessione di spalla: il soggetto flette le spalle a 180° ed esegue un ritorno controllato alla posizione di partenza.



A questi 3 esercizi di forza, sono stati affiancati 2 esercizi di allungamento:

- Il soggetto si posiziona in decubito supino sopra un foam roller posizionato al centro della schiena, mentre il compagno afferra le spalle del soggetto e le preme verso il basso per 30 secondi. Questo esercizio indirizzato all'allungamento del piccolo pettorale viene ripetuto per due volte a sessione.



- La seconda posizione richiede all'atleta di inginocchiarsi e di intersecare le dita dietro la testa; il partner poi raggiunge le braccia davanti al soggetto e unisce anche lui le mani all'altezza delle scapole del compagno; tira in direzione diagonale, sia verso l'alto che posteriormente rispetto al tronco del soggetto, fino quando istruito a fermarsi. Anche questa posizione viene tenuta per 30 secondi e ripetuta per 2 volte a sessione.



I risultati hanno evidenziato un miglioramento nella postura degli atleti, con un avvicinamento notevole del processo acromiale al muro, indice di una riduzione di anteposizione di spalla. A rafforzare la bontà di questa sperimentazione bisogna sottolineare che le differenze maggiori sono state notate su soggetti che inizialmente avevano una cattiva postura, sottolineando come il protocollo di allenamento adottato sia realmente efficace soprattutto in soggetti con tale problematica.

	Control Group		Experimental Group	
	Mean	SD	Mean	SD
Upright military posture				
right	0.6	2.7	-0.9	3.7
left	-0.2	3.3	-2.2	8.9
Relaxed posture*				
right	-4.2	13.3	-9.4	7.7
left	0.2	2.4	-9.8	7.5

La combinazione di stretching dei muscoli anteriori della spalla maggiormente ipertrofizzati associato al rafforzamento dei muscoli posteriori relativamente più deboli sembra essere realmente efficace nella prevenzione della “spalla del nuotatore”. Naturalmente la scelta degli esercizi dovrebbe essere personalizzata rispetto alle caratteristiche anatomiche del soggetto e protratta lungo tutto l’arco della stagione, non limitandosi semplicemente a svolgere la routine di esercizi in presenza di dolore. La prevenzione dell’infortunio sembra essere la chiave per permettere all’atleta di svolgere la stagione di allenamento senza stop forzati da lesioni del cingolo. I parametri da tenere sotto osservazione sono molteplici, ma l’utilizzo di semplici esercizi sembra essere la chiave per diminuire l’incidenza delle lesioni.

5. RECUPERO DALL'INFORTUNIO

Eliminare l'infiammazione acuta è la priorità nella riabilitazione del cingolo scapolo-omerale. Quando il dolore si presenta, solitamente ghiaccio, FANS e riposo aiutano a prevenire la progressione. Se il dolore persiste o peggiora il ciclo di FANS e riposo viene prescritto per 7-10 giorni, pausa molto importante durante la stagione competitiva. La prescrizione minima risulta essere quella di ridurre i chilometri nuotati al di sotto del punto di dolore anche se nei casi più estremi, un'iniezione di corticosteroidi sub-acromiale e/o gleno-omerale risulta essere utile dal punto di vista diagnostico e di riduzione del dolore. Alle cure farmacologiche risulta benefico affiancare un'importante dose di stretching in particolare volta all'allungamento della capsula posteriore per evitare il peggioramento dell'impingement.

Un ruolo molto importante nel recupero dall'infortunio è il riassetto muscolare; il rafforzamento della cuffia dei rotatori, a discapito del gran dorsale e del pettorale, aiuta la corretta collocazione della testa omerale, molto spesso ruotata anteriormente in presenza di sintomatologia dolorosa alla spalla. Man mano che la resistenza muscolare e la forza migliorano si possono inserire gradualmente esercizi sport-specifici abbinati ad allenamenti in acqua a basse velocità e a ridotti chilometri, purché l'atleta sia indolore e progredisca lentamente nel processo di recupero.

Nei casi più gravi di lesione si può ricorrere all'intervento chirurgico. Un atleta può scegliere la gestione sintomatica del problema piuttosto che l'intervento chirurgico; quindi, continuare a competere fino a quando il dolore inizia ad interferire con la vita quotidiana. Per i nuotatori con persistente instabilità multidirezionale si può ricorrere ad un'applicazione capsulare o una procedura di spostamento della capsula inferiore. L'intervento non permette comunque di tornare a nuotare i volumi di allenamento precedenti, ma quest'ultimi potrebbero dover essere ridotti in modo permanente per evitare il dolore. Una rimozione del tessuto ipertrofico, infiammato e cicatrizzato è un'opzione per gli atleti che ottengono solo un sollievo limitato dalla terapia fisica. (Hibberd et al., 2016)

Quello che risulta interessante approfondire è il recupero della funzione neuromuscolare nei nuotatori dopo un infortunio. Risulterebbe difficile applicare questo studio nell'ambiente acquatico per la difficoltà di posizionare le attrezzature elettroniche in acqua, per questo lo studio di (Swaine, 1997) ha utilizzato una panca da nuoto isocinetica interfacciata con un computer che consentiva una rapida raccolta di informazioni durante il movimento di trazione del braccio. Tutti i soggetti

coinvolti nella sperimentazione avevano subito lesioni dei tessuti molli alla spalla dominante o alla parte superiore del braccio nei tre mesi precedenti la partecipazione allo studio, con un tempo medio di 1 mese trascorso fuori dall'acqua. Il nuotatore era disteso prono sulla panca con le mani attaccate alle corde della puleggia che azionavano i dispositivi di resistenza (due tamburi rotanti a cui venivano avvolte le corde della puleggia), tentando di simulare l'azione di tirata tipica del nuoto. La velocità massima di trazione veniva preimpostata (MVP: velocità massima di trazione). Gli atleti in decubito prono tiravano le maniglie in modo alternato, cercando di mantenere la lunghezza massima della bracciata e rimanendo ancorati alla panca mediante una cinghia avvolta attorno al busto. Il test consisteva in 30" di tirata all-out preceduti da 2 minuti di tirata a 25w come riscaldamento. Il test è stato ripetuto dopo 4, 8 e 12 settimane.

I risultati per i nuotatori senza lesione non hanno mostrato risultati significativi nella forza dei due arti in nessuno dei tre parametri (picco di potenza, potenza media e decadimento di potenza). Per gli atleti lesionati le differenze erano invece evidenti. Il braccio sano presentava un picco di potenza di 179w, una potenza media di 122w e un decadimento di potenza di 2.5; il braccio lesionato presentava invece un picco di potenza di 111w, una potenza media di 101w e un decadimento di 5.2. Le stesse differenze sono state mantenute anche dopo quattro settimane di ripresa degli allenamenti. Dopo 2 mesi dal rientro le differenze significative sono state evidenziate solamente nel picco di potenza: il braccio non lesionato presentava un picco di 187.3w, mentre il braccio lesionato presentava un picco di 156.8w. A 12 settimane dal rientro agli allenamenti non vi erano più differenze significative tra i due arti.

	<i>Percentage differences</i>			
	<i>0 weeks</i>	<i>4 weeks</i>	<i>8 weeks</i>	<i>12 weeks</i>
PPO	51 (6.2)	34 (3.9)	22 (2.4)	11 (2.6)
MPO	27 (4.1)	16 (2.7)	8 (2.8)	3 (3.1)
PD	26 (5.3)	23 (3.6)	14 (3.1)	6 (2.7)

PPO, peak power output; MPO, mean power output; PD, power decay.

Il prolungato squilibrio del picco di potenza è probabilmente dovuto all'atrofia muscolare, alla ridotta funzione metabolica e alla perdita di funzione neurale, nota per essere la conseguenza dell'immobilizzazione e del disuso.

I risultati di questo studio ci suggeriscono che ci sono differenze significative nella potenza del braccio lesionato rispetto a quello non lesionato fino ad otto settimane dal recupero completo dall'infortunio, un tempo molto maggiore rispetto a quello che ci si aspetterebbe. Questo denota la

difficoltà nel recupero da un infortunio alla spalla in uno sport caratterizzato da ciclicità e in cui l'alto volume di allenamento garantisce un'elevata ipertrofia alla muscolatura utilizzata per la propulsione in acqua.

La spalla per un nuotatore risulta essere il complesso articolare più importante ai fini propulsivi. Un infortunio a questo distretto rischia di compromettere non solo la singola stagione sportiva ma l'intera carriera dell'atleta, pertanto, ridurre al massimo il rischio di insorgenza di tale problematica, risulta fondamentale per garantire prestazione e longevità nel mondo natatorio.

6. CONCLUSIONI

L'obiettivo della tesi era quello di approfondire la tematica della spalla del nuotatore, valutando le implicazioni, identificando un protocollo di prevenzione e analizzando le capacità di recupero.

Il risultato dell'analisi ha evidenziato come l'infiammazione alla spalla, connessa a fattori intrinseci e/o estrinseci comporti notevoli differenze nel gesto tecnico della nuotata, evidenziando un problema molto presente in ambito natatorio, con un tasso di frequenza che tocca il 90% degli atleti.

L'infortunio non obbliga solamente ad un periodo di stop forzato ma porta con sé conseguenze che talvolta persistono per tutta la carriera agonistica. Il rollio, elemento fondamentale nella nuotata, in presenza di dolore alla spalla risulta, in parte, compromesso; a livello di anca il lato lesionato presenta un minore rollio durante la nuotata rispetto al lato non lesionato, nonostante l'oscillazione a livello di spalla non presenti differenze significative tra i due arti. Questo comporta un'asimmetria bilaterale della nuotata, con conseguenze che non si limitano solamente al tratto pelvico ma, a causa delle catene cinematiche che transitano a livello dell'anca, implica un notevole disallineamento di tutto il corpo. È importante sottolineare come il picco di rollio negli atleti lesionati sia inferiore rispetto agli atleti sani in tutte le velocità di nuotata che sono state analizzate.

Una lesione a carico della spalla porta con sé differenti attivazioni muscolari non soltanto nel gesto sport-specifico, ma anche nelle attività della vita quotidiana; in particolare, il dolore al cingolo scapolo-omerale porta, in primo luogo, ad una maggiore attivazione del gran dorsale come tentativo da parte del muscolo di deprimere la testa omerale, alleviando il dolore derivante dall'impingement. In secondo luogo, causa un'iperattività dei fasci superiori del trapezio e un maggior coinvolgimento del dentato anteriore nel tentativo di stabilizzare la scapola contro la gabbia toracica. Queste azioni si riflettono soprattutto in gesti a basso carico dove il coinvolgimento muscolare non è elevato, ma in condizioni di stress organico o carico maggiore questo potrebbe portare ad ulteriori complicazioni. Una lesione alla spalla, dunque, non limita la problematica in un'unica zona ma estende il rischio di infortunio anche ad altre parti del corpo che, nel tentativo di sopperire al corretto funzionamento del cingolo scapolo-omerale, aumentano la loro azione rischiando di incorrere in ulteriori lesioni.

Per evitare di incorrere in tali problematiche, durante tutta la stagione sportiva risulta utile adottare tecniche di prevenzione dall'infortunio. Soprattutto nell'ultimo periodo, trovano sempre più spazio

le bande elastiche a diversa resistenza, non soltanto per diminuire la differenza tra intra ed extra rotatori di spalla, ma anche per correggere atteggiamenti posturali scorretti derivanti dall'eccessivo squilibrio muscolare della nuotata. In particolare, utilizzare esercizi di retrazione scapolare, extra-rotazione d'omero e flessione di spalla associati all'allungamento della muscolatura maggiormente contratta quale piccolo e grande pettorale risulta proficuo nella correzione dell'anteposizione di spalla e nella riduzione della differenza muscolare, le due cause principali di infortunio.

Tuttavia, nonostante le tecniche preventive aiutino ad evitare di incorrere nella lesione non escludono la possibilità che questa accada. Riposo, utilizzo di FANS e riduzione del volume nuotato spesso concorrono a ridurre l'infiammazione, ma nei casi più gravi, dove nemmeno le iniezioni sub-acromiali e/o gleno-omerali di corticosteroidi risultino risolutive, l'applicazione capsulare o lo spostamento della capsula posteriore, mediante intervento chirurgico, risultano l'unica soluzione per alleviare i sintomi.

Il ritorno agli allenamenti dopo il completo recupero dall'infortunio non prevede solamente il ripristino della sensibilità acquatica persa durante lo stop, ma trova difficoltà legate all'atrofia dell'arto lesionato. Per riequilibrare la potenza generata dalle braccia in seguito ad un mese di inattività per lesione alla spalla, occorrono tre mesi di allenamento continuo, periodo in cui bisogna controllare in maniera maniacale i carichi di allenamento per evitare ricadute.

Tutto questo va inserito in un contesto competitivo, in cui un infortunio può compromettere una stagione o nei casi più importanti una carriera sportiva.

BIBLIOGRAFIA

- Bächlin, M., & Tröster, G. (2012). Swimming performance and technique evaluation with wearable acceleration sensors. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(1), 68–81. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2011.05.003>
- Bak, K., & Faunø P. (n.d.). *Clinical Findings in Competitive Swimmers with Shoulder Pain*.
- Barden, J. M., & Barber, M. V. (2022). The Effect of Breathing Laterality on Hip Roll Kinematics in Submaximal Front Crawl Swimming. *Sensors*, 22(6). <https://doi.org/10.3390/s22062324>
- Batalha, N., Raimundo, A., Tomas-Carus, P., Paulo, J., Simão, R., & Silva, A. J. (2015). Does a land-based compensatory strength-training programme influences the rotator cuff balance of young competitive swimmers? *European Journal of Sport Science*, 15(8), 764–772. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1051132>
- C L I N I C A L Nonoperative Management of Shoulder Impingement Syndrome Secondary*. (1993). www.jospt.org
- Cools, A. M., Declercq, G. A., Cambier, D. C., Mahieu, N. N., & Witvrouw, E. E. (2007). Trapezius activity and intramuscular balance during isokinetic exercise in overhead athletes with impingement symptoms. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 17(1), 25–33. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00570.x>
- Della Tommasina, I., Trinidad-Morales, A., Martínez-Lozano, P., González-de-la-Flor, Á., & Del-Blanco-Muñiz, J. Á. (2023). Effects of a dry-land strengthening exercise program with elastic bands following the Kabat D2 diagonal flexion pattern for the prevention of shoulder injuries in swimmers. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1275285>
- Habechian, F. A. P., Van Malderen, K., Camargo, P. R., & Cools, A. M. (2018). Changes in shoulder girdle strength in 3 consecutive years in elite adolescent swimmers: a longitudinal cohort study. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 22(3), 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2018.01.001>
- Hibberd, E. E., Laudner, K., Berkoff, D. J., Kucera, K. L., Yu, B., & Myers, J. B. (2016). Comparison of upper extremity physical characteristics between adolescent competitive swimmers and nonoverhead athletes. *Journal of Athletic Training*, 51(1), 65–69. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.2.04>
- Kluemper, M., Uhl, T., & Hazelrigg, H. (2006). Effect of Stretching and Strengthening Shoulder Muscles on Forward Shoulder Posture in Competitive Swimmers. In *J Sport Rehabil* (Vol. 15).
- Sabzehparvar, E., Khaiyat, O. A., Ganji Namin, B., & Minoonejad, H. (2021). Electromyographic analysis in elite swimmers with shoulder pain during a functional task. *Sports Biomechanics*, 20(5), 639–649. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1597153>
- Swaine, I. L. (1997). Time course of changes in bilateral arm power of swimmers during recovery from injury using a swim bench. In *BrJ Sports Med* (Vol. 31).
- Tovin, B. J. (n.d.). *PREVENTION AND TREATMENT OF SWIMMER'S SHOULDER*.

Vezos, N., Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Christoforidis, C., & Mavromatis, G. (2007). Underwater stroke kinematics during breathing and breath-holding front crawl swimming. In ©*Journal of Sports Science and Medicine* (Vol. 6). <http://www.jssm.org>

Vila Dieguez, O., & Barden, J. M. (2022). Body roll differences in freestyle swimming between swimmers with and without shoulder pain. *Sports Biomechanics*, 21(10), 1277–1290. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1760923>

Yanai, T. (2003). Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions. In *Journal of Biomechanics* (Vol. 36).

A Gianmarco, Martina, Lucia, per avermi sostenuto lungo tutto il percorso
e avermi insegnato i veri valori della vita

Ai miei nonni, per essere stati il faro in ogni mia scelta

Ad Anna, per l'amore, la fiducia, il supporto
e l'infinita gentilezza

A tutte le persone che mi hanno accompagnato in questo percorso