



# Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA  
PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi*

## TESI DI LAUREA

STUDIO DI EFFICACIA DELLA TERAPIA “QUANTUM MOLECULAR  
RESONANCE” NEL RECUPERO DELLE LESIONI DEI MUSCOLI  
ISCHIOCRURALI NELLO SPORTIVO

*(Efficacy study of “Quantum Molecular Resonance” therapy in the recovery of  
hamstring muscle injuries in athletes)*

RELATORE: Dott. Mag. Eugenio Prebianca

LAUREANDO: Nicola Gubiolo

Anno Accademico 2023/2024

## INDICE

<b>RIASSUNTO</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INTRODUZIONE</b> .....	3
<b>CAPITOLO 1: Le lesioni muscolari</b> .....	4
1.1 Anatomia e fisiologia dell'apparato muscolo scheletrico.....	4
1.2 Meccanismi di lesione muscolare .....	5
1.3 Fisiologia della guarigione del muscolo scheletrico.....	6
1.4 Epidemiologia delle lesioni muscolari.....	6
1.5 Fattori di rischio per le lesioni muscolari .....	7
1.6 Classificazione I.S.Mu.L.T. delle lesioni muscolari.....	8
1.6.1 Classificazione delle lesioni da trauma diretto.....	9
1.6.2 Classificazione delle lesioni da trauma indiretto.....	9
1.7 Diagnosi delle lesioni muscolari.....	11
1.7.1 Anamnesi.....	11
1.7.2 Esame clinico .....	11
1.7.3 Indagini strumentali.....	13
1.8 Il trattamento conservativo delle lesioni muscolari .....	13
1.8.1 Terapie fisiche o strumentali .....	18
1.8.2 La terapia infiltrativa nelle lesioni muscolari.....	20
1.9 Complicanze delle lesioni muscolari .....	20
1.9.1 Complicanze ad esordio precoce .....	21
1.9.2 Complicanze ad esordio tardivo .....	22
1.10 Recidive di lesione muscolare .....	24
<b>CAPITOLO 2: La tecnologia QMR</b> .....	26
2.1 Studi in vitro .....	26
2.2 QMR e rigenerazione tissutale.....	27

2.3 Risultati ottenuti in terapia antalgico-riabilitativa attraverso l'impiego della tecnologia QMR .....	27
<b>CAPITOLO 3: Q-Physio</b> .....	29
3.1 Il macchinario e le specifiche tecniche .....	29
3.2 Comparazione e vantaggi .....	29
3.3 Impiego e utilizzi .....	30
<b>CAPITOLO 4: Obiettivi dello studio sperimentale</b> .....	32
<b>CAPITOLO 5: Materiali e metodi</b> .....	33
5.1 Il campione .....	33
5.2 Il protocollo riabilitativo con QMR .....	33
5.3 Il gruppo di controllo .....	34
5.4 Valutazione clinica .....	34
5.5 Raccolta dei dati .....	34
<b>CAPITOLO 6: Risultati</b> .....	36
6.1 Gruppo di studio .....	36
6.2 Gruppo di controllo.....	36
6.3 Confronto tra il gruppo di studio e di controllo .....	37
<b>CAPITOLO 7: Discussione</b> .....	38
<b>CONCLUSIONI</b> .....	40
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	41

## RIASSUNTO

**Introduzione:** Le lesioni muscolari costituiscono, nello sportivo, la principale causa di assenza dalle competizioni e dagli allenamenti, essendo la riabilitazione un processo lungo e che può andare incontro a numerosi imprevisti e variabili. Un possibile aiuto nella gestione di questi infortuni potrebbe essere costituito dall'utilizzo della tecnologia QMR (Quantum Molecular Resonance), un macchinario elettromedicale che ha come obiettivo la rigenerazione cellulare.

**Obiettivi dello studio:** La letteratura scientifica riguardante questo tipo di tecnologia è molto scarsa, motivo per cui si è deciso di approfondirne l'utilizzo tramite questa tesi. In particolare, l'obiettivo di questo studio è valutare se l'integrazione della tecnologia QMR nel trattamento delle lesioni muscolari strutturali possa portare a dei benefici in termini di tempi di recupero, di qualità del tessuto cicatriziale, di gestione del dolore e di diminuzione del rischio di recidiva.

**Materiali e metodi:** Sono stati reclutati in tutto 10 pazienti sportivi, 6 dei quali assegnati al gruppo di studio e 4 al gruppo di controllo. Il protocollo utilizzato per il gruppo di studio prevedeva l'utilizzo della tecnologia QMR per 20 minuti a seduta, integrata a manipolazione fasciale e esercizio terapeutico. Nel gruppo di controllo l'apparecchio elettromedicale è stato sostituito dalla laserterapia. Tutti i pazienti sono stati sottoposti a un'ecografia diagnostica eseguita da un medico specialista per valutare l'entità della lesione. Il controllo ecografico è stato proposto anche alla fine del ciclo di trattamento, prima dell'effettivo rientro in campo del giocatore, per verificarne la guarigione.

**Risultati:** Nel gruppo di studio, composto da 6 pazienti, si è osservata la comparsa di complicanze o di recidiva nella metà dei casi, riducendo il numero di pazienti idonei alla somministrazione del protocollo a 3. Considerando questo gruppo di 3 pazienti, con un'età media di 20,7 anni, i valori medi dei giorni totali di stop dall'attività sportiva e del numero di sedute effettuate sono di 35 giorni e 5,7 sedute di trattamento. Nel gruppo di controllo, di 4 pazienti totali ne sono stati considerati idonei 3, con un'età media di 28,7 anni. I valori ottenuti dal gruppo di controllo sono di 32,3 giorni totali di stop e di 5 sedute di trattamento.

**Conclusioni:** Sebbene i risultati migliori siano stati ottenuti dal gruppo di controllo, le differenze osservabili nei tempi di recupero non sono significative per giungere a una conclusione circa l'efficacia o l'inefficacia della terapia presa in esame. È stata osservata una buona efficacia nella gestione del dolore in fase acuta e nei giorni successivi all'infortunio. Sarà necessario un ulteriore approfondimento riguardo l'utilizzo della tecnologia QMR nella cura delle lesioni muscolari, in uno studio sperimentale che comprenda una maggiore numerosità del campione.

## ABSTRACT

**Background:** Muscle injuries are the leading cause of absence from competitions and training for athletes, as rehabilitation is a lengthy process that can encounter numerous setbacks and variables. A potential aid in managing these injuries could be QMR (Quantum Molecular Resonance) technology, an electromedical device aimed at promoting cellular regeneration.

**Objectives:** Given the limited scientific literature on this type of technology, I chose to explore its use through this thesis. The specific aim of this study is to assess whether integrating QMR technology in the treatment of structural muscle injuries can offer benefits in terms of recovery time, scar tissue quality, pain management, and reduction in the risk of recurrence.

**Materials and methods:** A total of 10 athlete patients were recruited, 6 of whom were assigned to the study group, while 4 were assigned to the control group. The protocol for the study group involved using QMR technology for 20 minutes per session, combined with fascial manipulation and therapeutic exercises. In the control group, the electromedical device was replaced with laser therapy. All patients underwent a diagnostic ultrasound performed by a specialist to assess the extent of the injury. Ultrasound monitoring was also conducted at the end of the treatment cycle, before the player's return to the field, to confirm healing.

**Results:** In the study group of 6 patients, complications or recurrences were observed in half of the cases, reducing the number of patients eligible for the protocol to 3. Among these 3 patients, with an average age of 20.7 years, the average values for total days of sports activity suspension and number of treatment sessions were 35 days and 5.7 sessions, respectively. In the control group, 3 of the 4 patients were eligible, with an average age of 28.7 years. The control group exhibited average values of 32.3 total days of suspension and 5 treatment sessions.

**Conclusion:** While the best results were obtained in the control group, the differences in recovery times were not significant enough to draw definitive conclusions about the effectiveness or ineffectiveness of the therapy under investigation. QMR technology did show good effectiveness in pain management during the acute phase and the days following the injury. Further investigation into the use of QMR technology for muscle injury treatment is needed, ideally through an experimental study with a larger sample size.

## **INTRODUZIONE**

Le lesioni muscolari sono il tipo di infortunio più diffuso tra gli sportivi, risultando come la principale causa di assenza dalle competizioni o dagli allenamenti. Si tratta di un fenomeno altamente invalidante, sia nella pratica sportiva che nella vita quotidiana. Il trattamento di questa particolare patologia risulta molto complesso e necessita di tenere in considerazione un gran numero di variabili, e si avvale di numerosi strumenti come la terapia manuale, l'esercizio terapeutico e le terapie strumentali.

Negli scorsi anni è stata sviluppata una nuova innovativa tecnologia utilizzata in ambito fisioterapico tramite macchinari elettromedicali a radiofrequenza: la QMR (Quantum Molecular Resonance), che si propone di andare a stimolare la rigenerazione del tessuto lesionato grazie alla particolare energia emessa con un ampio spettro di frequenze, evitando l'effetto di ipertermia comune alle altre terapie strumentali, e provocando un effetto antinfiammatorio locale e antiedemigeno, proponendosi così di andare a stimolare le cellule staminali adulte per andare a rigenerare un tessuto le cui caratteristiche siano analoghe al tessuto originario, mantenendone dunque la sua funzione. La mia curiosità verso questa particolare terapia è nata nel febbraio del 2023, quando è stata applicata su di me in seguito a una distorsione di ginocchio per gestire la fase acuta di infiammazione e gonfiore. Nel periodo immediatamente successivo ho avuto l'opportunità di osservarla durante un tirocinio, dove veniva utilizzata per una vastissima gamma di patologie, da infortuni di tipo muscolare o articolare a problematiche di tipo oncologico come il trattamento dei tessuti in seguito a radioterapia. Essendo la letteratura scientifica quasi priva di articoli a riguardo, ho deciso di proporre questo lavoro di tesi per osservarne gli effetti nella pratica clinica. In questo studio andremo ad analizzare la letteratura scientifica e le principali linee guida sulle caratteristiche e il trattamento delle lesioni muscolari, approfondendo l'anatomia muscolare, i meccanismi di lesione e la fisiologia della riparazione tissutale, nonché la classificazione e la valutazione dei tipi di lesione e i principi che ne guidano il trattamento. Andremo poi a osservare gli effetti che può dare la terapia QMR nella gestione del dolore e nella diminuzione dei tempi di recupero, inserita in un protocollo di trattamento che sfrutta la manipolazione fasciale e l'esercizio terapeutico, su una popolazione di 10 pazienti sportivi con diagnosi di lesione muscolare strutturale al compartimento degli ischiocrurali. L'approfondimento di questo tipo di trattamento mi ha permesso di relazionarmi direttamente coi pazienti e di sperimentare l'aspetto relazionale nella gestione del paziente sportivo. L'obiettivo di questa tesi non è di promuovere l'utilizzo del macchinario preso in esame, ma di verificarne le potenzialità o gli aspetti critici in modo da stimolarne l'approfondimento da parte dei professionisti sanitari che si occupano di questo tipo di infortuni e incuriosirne lo studio e la ricerca.

## **CAPITOLO 1: Le lesioni muscolari**

Le lesioni muscolari sono un fenomeno comune nella pratica clinica, spesso riscontrato durante le attività quotidiane, lavorative o sportive. Nel contesto sportivo, rappresentano la principale causa di assenza dagli allenamenti e dalle competizioni [1],[2].

### **1.1 Anatomia e fisiologia dell'apparato muscolo scheletrico**

Il muscolo scheletrico è una forma di tessuto unico, dotato della straordinaria capacità di generare forza e movimento, svolgendo così un ruolo cruciale nella locomozione. Questo tessuto costituisce circa il 45% della massa corporea, e possiede la notevole capacità di adattarsi a una vasta gamma di stimoli sia interni che esterni. L'allenamento, il disuso, l'apporto o la carenza di nutrienti e substrati energetici sono solo alcuni degli stimoli che possono influenzare il muscolo, portandolo a subire significative modifiche in risposta a varie condizioni cliniche e patologiche [3]. Ciascun muscolo è composto da numerose cellule chiamate fibre muscolari, caratterizzate dalla loro particolare natura multinucleata: a differenza degli altri tessuti, le fibre muscolari presentano più di un nucleo per cellula, caratteristica necessaria per mantenere un adeguato rapporto nucleo-citoplasma, noto come dominio nucleare. Le fibre muscolari sono organizzate in modo gerarchico all'interno dei singoli muscoli, separate ma interconnesse da uno strato di tessuto connettivo chiamato endomisio. Queste fibre, a loro volta, formano fascicoli composti da gruppi di 10/100 fibre muscolari, circondati da un altro tessuto connettivo chiamato perimisio. Diversi fascicoli si uniscono per formare il muscolo, avvolto da tessuto connettivo noto come epimisio. Ogni fibra muscolare è circondata da una membrana cellulare chiamata sarcolemma, mentre il fluido contenuto all'interno della fibra è chiamato sarcoplasma. La fibra muscolare è composta da miofibrille disposte in parallelo, che sono a loro volta composte da sarcomeri disposti in serie. Questi ultimi rappresentano le unità contrattili fondamentali del tessuto muscolare, nonché i protagonisti della produzione di forza [2]. Il numero di fibre in un determinato muscolo è determinato alla nascita e rimane essenzialmente costante fino all'età adulta. Al contrario, il numero di miofibrille e, di conseguenza, l'area trasversale della fibra muscolare, può cambiare drasticamente, aumentando con la crescita dell'individuo o l'ipertrofia indotta dall'allenamento e diminuendo con l'atrofia associata a immobilizzazione, inattività, lesioni, malattie o età avanzata [4]. La forza prodotta dai sarcomeri viene trasmessa sull'asse dei fascicoli, per essere poi trasferita sull'asse longitudinale muscolo-tendine tramite la giunzione miotendinea: la regione anatomica specializzata che connette il tessuto muscolare a quello tendineo e ne permette l'interazione. [2]

## 1.2 Meccanismi di lesione muscolare

Le lesioni muscolari possono derivare principalmente da due tipi di meccanismi: da trauma diretto, più comune negli sport di contatto come calcio, pallacanestro e rugby, o da trauma indiretto, che si verifica sia negli sport di contatto che in quelli individuali come atletica leggera e tennis. Nel caso del trauma diretto, la forza esterna agisce direttamente sul muscolo, schiacciandolo contro le superfici più profonde. La gravità del danno dipende da vari fattori, tra cui l'intensità del trauma e lo stato di contrazione del muscolo al momento dell'impatto. I muscoli più colpiti da lesioni da trauma diretto sono il deltoide nell'arto superiore, mentre nell'arto inferiore il quadricipite (soprattutto il vasto laterale e il vasto intermedio, che vengono schiacciati contro il femore) e i gemelli (in particolare il laterale)[2]. Nell'infortunio da trauma indiretto, non viene applicata una forza traumatica esterna. I fattori determinanti sono molteplici e di difficile identificazione, ma spesso implicano un tipo di attività muscolare di tipo eccentrico[2]. I muscoli che vanno incontro più frequentemente a infortuni da trauma indiretto sono quelli biarticolari, come il bicipite brachiale nell'arto superiore e gli ischiocrurali nell'arto inferiore[5]. Questo fattore è dovuto all'eccessivo carico conseguente all'esecuzione di movimenti opposti da parte delle due articolazioni che coinvolgono il muscolo interessato (per gli ischiocrurali, ad esempio, flessione d'anca ed estensione del ginocchio). Nelle lesioni da trauma diretto, il danno tissutale avviene direttamente o nelle vicinanze della sede d'impatto, mentre nei traumi indiretti la lesione si presenta più frequentemente nella parte terminale della fibra muscolare o a livello della giunzione miotendinea [6],[7]. Come conseguenza del trauma avviene l'interruzione del sarcoplasma, che va a causare la necrosi delle miofibre. Data la conformazione di quest'ultime, la lesione potrebbe potenzialmente interessare l'intera fibra muscolare in tutta la sua lunghezza; tuttavia, questo meccanismo si interrompe grazie alla presenza della banda di contrazione: una struttura specifica che consente di interrompere il propagarsi della necrosi nel giro di qualche ora agendo come un compartimento stagno[1]. Il danno strutturale alle fibre muscolari può essere il risultato di una singola contrazione o dell'accumulo di molteplici contrazioni. La letteratura scientifica concorda sul fatto che la contrazione eccentrica sia la causa più comune di danni muscolari[1], [8]. Questo perché durante le contrazioni eccentriche si genera una maggiore forza rispetto alle contrazioni isometriche o concentriche. Quando una persona non allenata svolge un'attività fisica, soprattutto se comporta contrazioni eccentriche durante l'allungamento muscolare, ciò può causare danni alle fibre muscolari che si manifestano con una sensazione di indolenzimento muscolare (DOMS) fino a danni più gravi e conclamati. La continua esposizione all'allenamento con esercizi eccentrici consente di prevenire questi danni tissutali, evocando un adattamento muscolare [2].

### **1.3 Fisiologia della guarigione del muscolo scheletrico**

Il processo di guarigione di un muscolo scheletrico danneggiato segue un modello costante, indipendentemente dalla natura del trauma (diretto o indiretto). Questo processo può essere suddiviso in tre fasi distintive [2]:

- La fase infiammatoria, caratterizzata dalla rottura e conseguente necrosi delle miofibrille, la formazione di un ematoma tra i monconi muscolari e la risposta infiammatoria cellulare.
- La fase di rigenerazione, durante la quale il tessuto necrotizzato viene fagocitato, le miofibrille vengono rigenerate e si forma contemporaneamente una cicatrice di tessuto connettivo, insieme alla proliferazione dei capillari nella zona danneggiata.
- La fase di rimodellamento, che coinvolge la maturazione delle miofibrille rigenerate, la ristrutturazione e l'organizzazione del tessuto cicatriziale e infine il recupero della funzionalità muscolare.

Le ultime due fasi, riparazione e rimodellamento, spesso si sovrappongono [9]. Inoltre, adattamenti della giunzione miotendinea a protocolli eccentrici possono portare a un consolidamento del tessuto, correlato all'ipertrofia muscolare indotta e all'aumento dell'attività fibroblastica e della produzione di collagene, con un allenamento che combina un'elevata espressione di forza muscolare con un costo energetico inferiore [10].

### **1.4 Epidemiologia delle lesioni muscolari**

Come anticipato nei paragrafi precedenti, le lesioni muscolari costituiscono la principale causa di assenza dalle competizioni e dagli allenamenti, con dati che variano dal 10 al 55% degli infortuni totali a seconda dello sport praticato [1]. Allo stato attuale non è chiaro se la distribuzione degli infortuni muscolari sia simile nella popolazione generale fisicamente attiva rispetto agli atleti [11]. Nel calcio professionistico, gli infortuni causati da traumi indiretti costituiscono in media il 31% di tutti gli infortuni, con picchi fino al 45%, e sono responsabili del 25% del totale dei giorni di assenza dagli allenamenti e dalle competizioni. Solitamente, gli infortuni causati da traumi diretti tendono a guarire più rapidamente rispetto a quelli da traumi indiretti [12]. Un recente studio ha evidenziato che in una squadra professionistica composta da 25 calciatori, durante l'intera stagione agonistica, si possono verificare in media 5 lesioni agli ischiocrurali e 3 lesioni al quadricipite (soprattutto al retto femorale) causate da traumi indiretti [12]. Il 96% degli infortuni muscolari nel calcio sono il risultato di traumi indiretti, e le lesioni strutturali agli ischiocrurali e al retto femorale ne costituiscono oltre il 50%. Le lesioni agli adduttori e al quadricipite sono più frequenti nell'arto utilizzato per calciare. I portieri subiscono meno infortuni muscolari rispetto agli altri ruoli [13].

Prendendo in esame il parametro dei giorni di assenza dagli allenamenti, si nota che anche per lesioni non strutturali si perdono numerosi giorni di allenamento: in media, 5.9 giorni per gli ischiocrurali, 5.6 per il polpaccio e 4.9 per il quadricipite. Risultano, ovviamente, maggiori i giorni di assenza provocati da lesioni strutturali, che richiedono in media 19.5 giorni per il quadricipite, 18 giorni per gli ischiocrurali e 17.4 giorni per il polpaccio per il ritorno all'attività sportiva [14]. Lo studio preso in esame evidenzia inoltre come la media dei giorni di assenza differisca significativamente tra il primo infortunio e il reinfortunio per le lesioni muscolari. La media dei giorni di assenza, infatti, è stata più lunga per la recidiva rispetto al primo infortunio, con una differenza che varia da 3,3 giorni a 10,6 giorni [14]. Una recente revisione sistematica ha evidenziato una maggiore incidenza di infortuni durante le partite rispetto agli allenamenti, sia per i giovani che per i calciatori adulti. Inoltre, i giovani hanno mostrato una maggiore incidenza di infortuni durante gli allenamenti rispetto ai professionisti [15].

### **1.5 Fattori di rischio per le lesioni muscolari**

I fattori di rischio per le lesioni muscolari si dividono in intrinseci (correlati a caratteristiche dell'atleta) ed estrinseci (correlati all'ambiente esterno), e si possono suddividere in fattori modificabili e non modificabili [16], distinzione fondamentale nella somministrazione di programmi di prevenzione.

Fattori di rischio non modificabili:

- Et : soprattutto per gli infortuni riguardanti il tricipite surale e gli ischiocrurali
- Infortuni pregressi dello stesso gruppo muscolare: rappresenta il fattore di rischio principale [17], dovuto sia a adattamenti strutturali del muscolo che all'incompleto recupero funzionale (per questo motivo si osserva che la recidiva avviene in media entro 25 giorni dal return to play). Le lesioni infatti possono determinare l'insorgenza di tessuto fibrotico-cicatrizziale e adattamenti biomeccanici [18], [19]. Risulta dunque di fondamentale importanza attuare un programma riabilitativo volto ad un completo recupero neuromuscolare.
- Altezza: la bassa statura (<182cm)   correlata a un rischio maggiore di lesione del retto femorale [20].

Fattori di rischio modificabili:

- Flessibilit  muscolare e ROM articolare:   stato evidenziato che gli atleti che avevano subito lesioni agli ischiocrurali e al quadricipite presentano flessibilit  minore e un minor ROM articolare dell'anca e del ginocchio rispetto agli altri atleti [21], [22], mentre le lesioni agli adduttori sono state correlate a rigidit  nell'abduzione e nelle rotazioni dell'anca [23], [24].

- Forza muscolare: L'avvento lesivo avviene quando l'intensità dell'esercizio è maggiore dei limiti strutturali dell'unità muscolo-tendinea [2]. Per il distretto degli ischiocrurali, è stato riscontrato un rischio di lesione 4-5 volte maggiore negli atleti che a inizio stagione presentavano una ridotta forza al test isocinetico e una ridotta forza eccentrica misurata tramite NordBord [25], [26].
- Livello di competizione: una maggiore intensità e un elevato numero di ore di allenamento, derivanti da un livello di competizione più elevato sembrerebbe comportare un maggior rischio di lesione [2].
- Caratteristiche intrinseche del muscolo: è stato messo in luce che atleti con fascicoli più corti a livello del capo lungo del bicipite femorale (<10.6cm) avevano un rischio di lesione 4 volte superiore. Questo valore si riduce del 75% per ogni incremento >5mm della lunghezza dei fascicoli [27].
- Fattori psicologici: alcuni fattori psico-sociali possono giocare un ruolo sul rischio di lesione, soprattutto in atleti con una storia di frequenti lesioni pregresse [2].
- Elevata frequenza di partite: negli sport che richiedono differenti gesti atletici esplosivi, come continue accelerazioni e decelerazioni e cambi di direzione, come, ad esempio, nel calcio, sono necessarie 72 ore di recupero in seguito a una partita per permettere il ripristino dell'architettura muscolare. L'eccessivo carico di lavoro acuto aumenta il rischio di lesione muscolare, mentre un graduale incremento del carico cronico potrebbe aumentare la tolleranza al carico acuto e prevenire, così, l'evento lesivo [2].

### **1.6 Classificazione I.S.Mu.L.T. delle lesioni muscolari**

L'uso di una terminologia comune e internazionale è essenziale per una diagnosi accurata, una prognosi precisa e una terapia appropriata nei casi di infortuni muscolari. La classificazione utilizzata deve essere accessibile anche a coloro che non sono esperti nel settore, quindi semplice e completa. È fondamentale scoraggiare l'uso di termini imprecisi come "strappo", "elongazione" e "stiramento" [2]. Un approccio multidisciplinare che coinvolga la clinica e le diagnosi per immagini è cruciale per una valutazione accurata del danno. Diverse classificazioni hanno tentato di correlare le caratteristiche cliniche con le immagini diagnostiche per predire i tempi di recupero e ritorno allo sport. L'I.S.Mu.L.T. ha allora implementato una classificazione già validata attraverso studi su atleti di élite che aveva già pubblicato nel 2014 [2].

### 1.6.1 Classificazione delle lesioni da trauma diretto

Possono essere causati da contusione oppure da una lacerazione dovuta a una ferita da taglio. La lacerazione non prevede classificazioni in sottogruppi e implica il trattamento tramite sutura chirurgica. I tempi di recupero relativi al trauma da lacerazione dipendono dall'entità e profondità della lesione. La contusione viene classificata come lieve, moderata o severa a seconda dell'impotenza funzionale che ne deriva, valutata come la capacità di compiere attivamente un movimento a livello dell'articolazione corrispondente [2]:

CAUSA	CLASSIFICAZIONE	DEFINIZIONE
Contusione	Lieve: >1/2 ROM fisiologico	Trauma diretto che provoca ematoma diffuso o circoscritto e causa dolore e diminuzione del ROM
	Moderata: <1/2 e >1/3 ROM fisiologico	
	Severa: <1/3 ROM fisiologico	
Lacerazione		

Tabella 1: Classificazione degli infortuni muscolari da trauma diretto

Risulta importante riesaminare il paziente nuovamente dopo 24 ore, in quanto il dolore può essere immediatamente invalidante e si rischia di sovrastimare la gravità della lesione [2].

### 1.6.2 Classificazione delle lesioni da trauma indiretto

Sono infortuni che avvengono senza il contatto della zona lesionata con un elemento contundente e si dividono in infortuni non strutturali (senza alcuna lesione anatomica), che vengono divisi in quattro sottogruppi, e infortuni strutturali (caratterizzati da una lesione anatomica), suddivisi in tre sottogruppi [28].

Gli infortuni non strutturali rappresentano una categoria ampia e problematica da diagnosticare e trattare. Nel calcio, costituiscono il 70% degli infortuni muscolari e sono responsabili di oltre il 50% delle assenze dall'attività sportiva, anche senza lesioni muscolari evidenti. Se trascurati, possono evolvere in infortuni strutturali. Questi infortuni sono suddivisi in 4 sottogruppi:

CAUSE	CLASSIFICAZIONE	DEFINIZIONE
I: da carico di lavoro	1A: Indotti da fatica	Aumento circoscritto del tono muscolare, accompagnato da dolore. 1B: aumento del tono muscolare e dolore diffusi a tutto il muscolo che compaiono alcune ore dopo l'attività fisica
	II: da alterazione neuromuscolare	
2A: neuromuscolare correlato a disordini di colonna e/o bacino		
	2B: neuromuscolare correlato al muscolo	

Tabella 2: Classificazione degli infortuni muscolari non strutturali da trauma indiretto

Il sottogruppo 1A si manifesta a causa di affaticamento e viene favorito da cambiamenti frequenti nella tipologia degli esercizi o delle superfici di gioco, oltre che da allenamenti con volumi di lavoro eccessivi.

Il sottogruppo 1B è provocato da un'eccessiva frequenza di esercitazioni e sollecitazioni eccentriche. Il sottogruppo 2A è correlato a problemi del rachide e del bacino, talvolta difficili da diagnosticare, come difetti intervertebrali minori (D.I.M.), che possono irritare il nervo spinale corrispondente, compromettendo il controllo del tono muscolare nei muscoli interessati. La risoluzione di questo tipo di infortunio muscolare spesso richiede anche il trattamento del problema a livello del rachide.

Il sottogruppo 2B è causato da uno squilibrio nel controllo neuromuscolare, soprattutto nel meccanismo dell'inibizione reciproca che coinvolge i fusi neuromuscolari [2].

Gli infortuni strutturali sono suddivisi in tre sottogruppi in base all'entità della lesione anatomica che il muscolo presenta [28]:

- 3A, Lesione parziale minore: è la lesione di uno o più fasci primari all'interno di un fascio secondario
- 3B, Lesione parziale moderata: è la lesione di almeno un fascio secondario e con superficie di rottura minore del 50% della superficie di sezione del muscolo in quella sede.
- 4, Lesione subtotale o totale: lesione maggiore del 50% della superficie di sezione del muscolo in quella sede oppure rottura dell'intero muscolo o della giunzione osteo-tendinea

Nella classificazione degli infortuni strutturali è necessario definire la sede del muscolo dove avviene la lesione: prossimale (P), media (M) o distale (D) [29], in quanto le lesioni che avvengono nel tratto più prossimale degli ischiocrurali hanno una prognosi più severa rispetto alle lesioni di pari ampiezza che avvengono nelle altre zone [2]. Risulta poi utile inserire nella classificazione un parametro che definisce, tramite la diagnostica per immagini, il tessuto interessato dalla lesione: miofasciale (MF), ventre muscolare o giunzione miotendinea (MT), tendine (T) [30]. La lesione tendinea sembra essere quella con la prognosi peggiore, mentre la lesione miofasciale sembra avere un tempo di guarigione più rapido [31]. Un ulteriore parametro utilizzato in questa classificazione va a definire se la lesione è primaria (R0) oppure se rappresenta una recidiva (R1, R2, R3...)[32].

Riassumendo, questa classificazione tiene in considerazione l'entità della lesione, la sede, il tessuto interessato e la presenza di recidive.

Un esempio può essere: "Lesione del capo lungo del bicipite femorale 3A M MF R0".

Entità della lesione	Sede della lesione	Tessuto interessato	Recidiva
<b>3A</b> lesione parziale minore <b>3B</b> Lesione parziale moderata <b>4</b> Lesione subtotale o totale	<b>P</b> Proximale <b>M</b> Media <b>D</b> Distale	<b>MF</b> Miofasciale <b>MT</b> Ventre muscolare o giunzione miotendinea <b>T</b> Tendine centrale o libero	<b>R0</b> Prima lesione <b>R1</b> Prima recidiva <b>R2</b> Seconda recidiva ...

Tabella 3: Classificazione degli infortuni muscolari strutturali da trauma indiretto

## 1.7 Diagnosi delle lesioni muscolari

Il processo di diagnosi delle lesioni muscolari consiste nell'esame clinico, preceduto dalla raccolta dei dati anamnestici, seguito da indagini strumentali di diagnostica per immagini.

### 1.7.1 Anamnesi

Tra i dati più importanti da indagare attraverso il colloquio anamnestico troviamo sicuramente il tipo di dolore avvertito, la sede, l'insorgenza, il meccanismo traumatico, il momento della partita o dell'allenamento in cui è avvenuto l'infortunio e l'evoluzione del sintomo a 24 e 48 ore. È fondamentale, inoltre, indagare la presenza o meno di precedenti infortuni muscolari allo stesso gruppo muscolare o in altri distretti, e precedenti infortuni riguardanti altre strutture anatomiche (distorsioni di caviglia, distorsioni di ginocchio...). Il ricordo del movimento che ha causato l'infortunio, insieme alla precisa localizzazione del dolore, all'immediata impotenza funzionale e al deficit del range di movimento (ROM), sono indicatori molto suggestivi di una lesione muscolare strutturale [2].

### 1.7.2 Esame clinico

L'esame clinico si basa su quattro punti fondamentali: ispezione, palpazione e valutazione del ROM, stretching e manovre funzionali. Durante l'ispezione è importante verificare la presenza di gonfiore, ematomi, ecchimosi visibili, gap o retrazioni muscolari, e alterazioni del profilo del muscolo rispetto al lato opposto. L'esame palpatorio inizia sull'arto non infortunato e poi si concentra sull'intero ventre muscolare e sulla zona dolente indicata dal paziente. Questo permette di valutare il tono muscolare, la presenza di gap o retrazioni, eventuali aree fibrotiche pregresse o di aderenza mio-fasciale alterata, e zone di dolore o percezione alterata. Lo stretching del muscolo sospetto di lesione strutturale può essere impossibile in fase acuta e deve essere valutato sotto la soglia del dolore, confrontandolo con il muscolo sano controlaterale. Nella valutazione delle manovre funzionali è importante considerare che la contrazione contro resistenza del muscolo leso può essere possibile ma dolorosa negli infortuni strutturali di piccola entità (3A), mentre risulta molto compromessa e sempre dolorosa negli infortuni di maggiore entità (3B e 4).

Nei traumi diretti da contusione la comparsa di dolore è solitamente immediata, riferita a un preciso meccanismo contusivo e la sua intensità tende ad aumentare proporzionalmente con l'entità dell'ematoma. In alcuni casi la diminuzione della capacità di compiere movimenti attivi è abbastanza lieve da permettere all'atleta di proseguire l'attività sportiva, mentre invece nei casi più gravi c'è un'immediata impotenza funzionale che richiederà una rivalutazione dopo 24 ore per classificare meglio l'entità del danno. Più grave risulta il danno e più sarà presente dolorabilità alla palpazione, diminuzione del ROM, presenza di ematoma e di gonfiore[28]. Solitamente il danno risulta più marcato se la contusione avviene a muscolo decontratto [2].

Negli infortuni non strutturali da trauma indiretto la sensazione descritta dal paziente è di indolenzimento, di pesantezza o di rigidità del muscolo che tende ad aumentare con l'attività fisica intensa e può essere presente a riposo. All'esame palpatorio è possibile percepire fasci più rigidi all'interno del ventre muscolare [28]. Nel caso di una lesione 1B (DOMS) il dolore risulta riferito a tutto il muscolo, compare a riposo e dopo ore dall'attività sportiva e alla palpazione si percepisce una rigidità di tutto il muscolo. Nelle lesioni 2B invece il dolore è crampiforme. In generale, nelle lesioni non strutturali lo stretching tende a migliorare il sintomo, eccetto nelle lesioni 2A [2].

Nelle lesioni strutturali parziali minori (3A), il dolore percepito dal paziente è di tipo pungente, acuto e riferito a un momento preciso del gesto atletico. Si tratta di un dolore ben localizzabile dal paziente e tramite la palpazione e, a volte, viene preceduto da una sensazione di schiocco. Alla palpazione non risulta possibile percepire il difetto strutturale. Risultano dolorosi i test di estensibilità e di contrazione contro resistenza [2], [28], [33], [34].

Nelle lesioni strutturali parziali moderate (3B), l'atleta spesso percepisce, durante un preciso movimento, una sensazione di schiocco, seguita da un dolore acuto, lancinante e ben localizzato, seguito da un'immediata impotenza funzionale e frequentemente da una caduta a terra se si tratta di un muscolo degli arti inferiori. Alla palpazione, il dolore è ben localizzato e spesso è possibile percepire il difetto strutturale. Nelle ore successive all'infortunio, se questo ha interessato anche l'epimisio o il perimisio, si forma un ematoma con ecchimosi evidente nei giorni seguenti. Il test di estensibilità risulta positivo e la contrazione contro resistenza non risulta possibile [2], [28], [34].

Nelle lesioni strutturali subtotali o totali (4), il dolore è spesso sordo, profondo e causato da un movimento preciso. Anche in questo tipo di lesione spesso l'atleta percepisce una sensazione di schiocco, seguita da un dolore localizzato e impotenza funzionale con frequente caduta a terra. Ne consegue un esteso difetto strutturale del muscolo con interruzione palpabile delle fibre e la comparsa di ematoma ed ecchimosi evidente. C'è una perdita completa della funzione dell'unità muscolo-tendinea che rende impossibile la contrazione muscolare [2].

### **1.7.3 Indagini strumentali**

Nelle patologie muscolo-tendinee, la diagnostica per immagini è diventata essenziale per la classificazione e la valutazione del danno, l'identificazione di eventuali complicanze e la determinazione dei tempi di recupero. Tra le varie metodiche strumentali, la radiografia (eventualmente associata a TAC) è utile per valutare le alterazioni ossee e articolari, ma ha un'importanza limitata per lo studio delle lesioni muscolari. In questi casi, l'ecografia e la risonanza magnetica nucleare (RMN) risultano fondamentali [2]. Al momento, in letteratura, non è espressa una posizione precisa riguardo a quale esame diagnostico sia più valido. L'ecografia può, però, essere considerato come esame di primo livello per le sue caratteristiche di economicità, velocità di esecuzione, ripetibilità e comparabilità, permettendo inoltre di essere eseguita in dinamica e in carico e di valutare la vascolarizzazione. Gli svantaggi dell'ecografia riguardano l'impossibilità di valutare alcune sedi più profonde o nascoste per limitazione anatomica, non permette la valutazione precoce e risulta poco sensibile per lesioni minori [2]. Inoltre, essa risulta fortemente dipendente dall'operatore e dalla sua esperienza. La Risonanza Magnetica Nucleare (RMN) porta vantaggi come la panoramicità e la pancompartimentalità, che permettono di avere una visione più ampia e completa della zona esaminata su più piani dello spazio, permettendo così di raggiungere sedi non valutabili tramite ecografia. La risonanza risulta anche più sensibile nell'individuare lesioni minori e infortuni non strutturali. Le immagini ricavate dalle sezioni sagittali, lungo l'asse del ventre muscolare, permettono di definire con precisione l'estensione della lesione. Riassumendo, quindi, le indicazioni sull'uso della RMN negli infortuni muscolari sono per la valutazione degli infortuni non strutturali (a livello prognostico risulta utile valutare la presenza di edema muscolare), nei casi di discordanza tra la valutazione clinica e quella ecografica, nello studio di muscoli e strutture non accessibili all'ecografia e per una valutazione più precisa delle lesioni di grado più alto (grado 4: lesione strutturale subtotale o totale) [2]. L'utilizzo dell'RX (associato eventualmente alla TAC) può essere utile nei casi in cui si sospetta un distacco apofisario, specialmente nei bambini e negli adolescenti per infortuni a livello della SIAS, della SIAI o della tuberosità ischiatica [2].

### **1.8 Il trattamento conservativo delle lesioni muscolari**

Gli infortuni muscolari non strutturali hanno, indicativamente, una prognosi intorno ai 5-15 giorni e il migliore approccio per il loro trattamento sembra essere il seguente: riduzione dei carichi di lavoro fino alla completa remissione del sintomo, progressivo lavoro aerobico e di fitness generale, recupero attivo in piscina, elettroterapia antalgica, applicazione di terapie fisiche con finalità vascolarizzanti, applicazione di calore per favorire il ripristino nel normale metabolismo cellulare e massaggio decontratturante [2]. Nei casi di lesione 1B (DOMS) risulta utile l'immersione in acqua fredda (10-

15°C per 5-8 minuti) per ridurre e, soprattutto, prevenire la dolenzia e l'infiammazione, mentre non risulta efficace il massaggio [35], [36]. Nelle 2A, invece, oltre al trattamento del muscolo interessato, è necessario trattare la patologia a livello del rachide e del bacino tramite manipolazioni, esercizi di core-stability, massaggio e recupero dell'estensibilità per i muscoli accorciati e di tono-trofismo dei muscoli ipotonici. Lo stretching del muscolo interessato non sembra dare alcun sollievo [28].

Nel trattamento delle lesioni strutturali è fondamentale seguire il principio specificità, di progressione e di individualizzazione dell'esercizio proposto [37]. Nei muscoli bi-articolari è importante differenziare la proposta riabilitativa in base alla sede della lesione (distale o prossimale) in quanto questo parametro andrà a modificare totalmente il focus dell'esercizio [2]. È necessario tenere in considerazione il dolore in quanto fattore in grado di ridurre la capacità di carico, inibire la corretta attivazione neuromotoria e in quanto costituisce un fattore protettivo, necessario per la corretta formazione del tessuto cicatriziale, motivo per il quale gli esercizi andranno proposti nel rispetto della sintomatologia dolorosa [38]. Per permettere una veloce e completa rigenerazione delle fibre muscolari danneggiate è fondamentale quindi somministrare un carico progressivo, nel rispetto della stabilizzazione del tessuto cicatriziale. La guarigione di una lesione muscolare segue tre fasi biologiche distinte: una prima fase infiammatoria e degenerativa, durante la quale le terapie saranno mirate alla riduzione dell'infiammazione; nella seconda fase, la fase rigenerativa, gli stimoli da fornire al tessuto saranno di tipo meccanico per indurre una riparazione tissutale ottimale; l'ultima fase, quella di rimodellamento, necessita di esercizi che indirizzino l'adattamento del tessuto in modo che acquisisca le caratteristiche specifiche necessarie all'attività sportiva praticata dall'atleta [2]. La riabilitazione delle lesioni muscolari segue dunque dei precisi step, con obiettivi specifici tarati in base alla fase della riabilitazione in cui l'atleta si trova. Dopo una prima fase, più passiva, di gestione della fase acuta, l'atleta verrà seguito da diverse figure professionali in continua interazione (medico, fisioterapista, preparatore atletico e tecnico) durante un graduale percorso riabilitativo, adattato in base alle esigenze dell'atleta e all'entità del danno, volto al recupero delle condizioni fisiche e atletiche del muscolo infortunato, fino al recupero del gesto sport-specifico e al ritorno in campo [2].

<b>Fase della riabilitazione</b>	<b>OBIETTIVO</b>
<b>FASE 1</b>	Riduzione del dolore, gonfiore e flogosi
<b>FASE 2</b>	Recupero dell'articolarià e dell'estensibilità
<b>FASE 3</b>	Recupero della forza e della resistenza
<b>FASE 4</b>	Recupero della coordinazione e propriocettività
<b>FASE 5</b>	Recupero del gesto tecnico specifico e parametri atletici sport specifici

*Tabella 4: Le fasi della riabilitazione delle patologie post-traumatiche*

FASE 1	1° STEP (FASE 2-3)	2° STEP (FASE 3-4)	3° STEP (FASE 4-5)
Protocollo P.O.L.I.C.E.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trattamento dei fattori predisponenti a livello del bacino e dei muscoli antagonisti</li> <li>• Scomparsa del dolore nei movimenti della vita quotidiana</li> <li>• Lavoro di forza del muscolo infortunato in assenza di dolore utilizzando carichi superiori alla metà del carico massimo teorico</li> <li>• Recupero di oltre il 90% del deficit di estensibilità del muscolo infortunato</li> </ul> <p>Luogo di lavoro: Palestra Lavoro atletico principale: aerobico</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assenza di dolore o differenze del muscolo infortunato in tutti gli esercizi proposti</li> <li>• Recupero dell'estensibilità completa del muscolo infortunato</li> <li>• Recupero completo della forza (soprattutto eccentrica) del muscolo infortunato</li> <li>• Recupero dei parametri aerobici sport-specifici</li> <li>• Recupero del peso e della % di massa grassa ottimale</li> </ul> <p>Luogo di lavoro: Palestra + Campo Lavoro atletico principale: aerobico + anaerobico lattacido</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consolidamento delle caratteristiche di forza e estensibilità del muscolo infortunato</li> <li>• Recupero della gestualità sport-specifica</li> <li>• Recupero dei parametri atletici ad alta intensità sport-specifici</li> <li>• Affidabilità e resistenza gesto-specifica del muscolo infortunato</li> </ul> <p>Luogo di lavoro: Campo + Palestra Lavoro atletico principale: anaerobico allattacido</p>

Tabella 5: Il percorso riabilitativo dopo infortunio muscolare strutturale

Nella fase acuta dopo una contusione o una lesione da trauma indiretto, è consigliato seguire il protocollo P.R.I.C.E. (Protection, Rest, Ice, Compression, Elevation) [39], [40], [41]. Nelle prime 24-48 ore, il protocollo prevede:

- **Protezione:** proteggere il muscolo infortunato da movimenti che potrebbero aggravare il danno e rallentare la guarigione.
- **Riposo:** ridurre l'attività dell'arto infortunato per prevenire la formazione di ematomi, retrazione delle fibre danneggiate e formazione di tessuto cicatriziale eccessivo.
- **Ghiaccio (Crioterapia):** applicare ghiaccio, soprattutto se associato a bendaggio compressivo, per ridurre ematomi, infiammazione e necrosi dei tessuti, accelerando il processo rigenerativo [40].
- **Compressione:** usare bendaggi elasto-compressivi per evitare un'eccessiva compressione del muscolo danneggiato, riducendo così il dolore.
- **Elevazione:** mantenere l'arto infortunato elevato sopra il livello del cuore per favorire il ritorno venoso e ridurre l'accumulo di fluidi interstiziali.

Alcuni autori suggeriscono che l'immobilizzazione e il riposo debbano essere limitati alle prime ore post-trauma. Propongono quindi di sostituire l'acronimo P.R.I.C.E. con P.O.L.I.C.E. (Protection, Optimal Loading, Ice, Compression, Elevation), enfatizzando l'importanza di un carico progressivo per favorire la guarigione [41]. Dopo le prime 24 ore, si consiglia di eseguire massaggi linfodrenanti e sostituire il bendaggio compressivo con una contenzione elastica per accelerare il riassorbimento degli edemi e degli ematomi e la rimozione dei cataboliti infiammatori. È opportuno non protrarre l'immobilizzazione oltre i 3-5 giorni nelle lesioni più gravi, poiché una mobilizzazione cauta nei primi giorni dopo un danno strutturale ha effetti positivi sul tessuto cicatriziale, sia dal punto di vista istologico che biomeccanico [38].

**1° step:** Il protocollo di riabilitazione per le lesioni muscolo-tendinee inizia con la fase di contenzione e drenaggio, in cui si continua il massaggio linfodrenante e si mantiene la contenzione elastica finché è presente liquido interstiziale o raccolta liquida. Successivamente, si procede con il recupero dell'estensibilità muscolare tramite esercizi che sfruttano modalità passive, assistite o attive, sia statiche che dinamiche, anche se è preferibile utilizzare tecniche di allungamento attivo, che offrono un aumento più duraturo della flessibilità muscolare. È importante allungare i muscoli bi-articolari sia all'inserzione prossimale che distale, evitando sempre il dolore [2]. Associato a un cauto massaggio trasversale profondo, nelle prime fasi della riabilitazione si avvia il lavoro aerobico il più presto possibile sfruttando l'azione dei muscoli sani. Per il recupero della forza muscolare del muscolo infortunato, è bene iniziare con esercizi isometrici, per poi proseguire con esercizi isotonici, incrementando il carico progressivamente e sempre sotto la soglia del dolore [38]. Si possono eseguire esercizi a corpo libero oppure possiamo sfruttare alcuni macchinari come leg extension, leg press, leg curl, pulley, bilanciere libero, panca e altri attrezzi come cavigliere, elastici, polsiere, palle mediche e manubri. In questa fase vengono inseriti anche esercizi di core stability progressivamente più complessi per migliorare il controllo posturale e neuromuscolare. Per prevenire le recidive, è consigliato un programma di riabilitazione che includa anche esercizi di agilità e stabilizzazione del tronco e del bacino, piuttosto che un programma che si limita esclusivamente all'allungamento e al rinforzo muscolare [42]. Al termine delle sessioni di lavoro, soprattutto nelle primissime fasi, può tornare utile l'utilizzo del ghiaccio per 15-20 minuti.

Un segnale di allerta che indica la necessità di non passare alla fase successiva del programma di riabilitazione è la presenza di dolore durante gli esercizi di forza o la corsa a bassa velocità sul tapis roulant [2].

**2° step:** La fase successiva del programma di riabilitazione prevede la continuazione e l'intensificazione del lavoro aerobico, unitamente agli esercizi per il recupero della completa estensibilità del muscolo infortunato. Vengono introdotti esercizi di propriocettività, che includono attività di equilibrio su superfici stabili o instabili, di varie dimensioni e forme. Questi esercizi possono essere eseguiti con o senza destabilizzazioni ricorrenti, come richieste di compiti motori coordinativi sempre più complessi, perturbazioni manuali da parte del fisioterapista o l'uso di strumenti riabilitativi, con o senza l'aggiunta di compiti cognitivi e con o senza il supporto del sistema visivo [43]. In questa fase, si intensifica anche il lavoro sulla core stability, abbinandolo progressivamente agli esercizi propriocettivi. Gli esercizi eccentrici vengono introdotti e incrementati, poiché rivestono un ruolo cruciale nel percorso riabilitativo post-infortunio strutturale. Numerosi studi hanno dimostrato che gli esercizi eccentrici, specialmente eseguiti a lunghezze

muscolari elevate, riducono drasticamente il numero di recidive, rendendo il muscolo più resistente e efficiente alle sollecitazioni durante l'attività sportiva agonistica [44], [45]. Gli esercizi eccentrici devono essere introdotti progressivamente, specifici per il muscolo infortunato e per la sede della lesione, soprattutto per i muscoli bi-articolari. Sebbene alcuni autori suggeriscano di introdurre gli esercizi eccentrici il prima possibile durante la riabilitazione [46], è riconosciuto un certo rischio se attuati troppo precocemente [2]. Il lavoro sul campo in questo periodo si concentra sull'allenamento anaerobico lattacido, oltre al lavoro aerobico ad alta intensità.

Un indicatore che impedisce il passaggio alla fase successiva del programma è un test di estensibilità ancora positivo, che va a indicare che il muscolo non è ancora pronto per avanzare nel processo riabilitativo [2].

**3° step:** Durante il lavoro in palestra, vengono eseguiti esercizi specifici per consolidare la forza e l'estensibilità muscolare, con particolare attenzione alla forza eccentrica. Come nei periodi precedenti, gli esercizi di forza ed estensibilità sono selezionati ed eseguiti secondo le caratteristiche specifiche dello sport praticato e del tipo di movimento che ha causato l'infortunio. Questo approccio mira a rendere il tessuto muscolare in fase di riparazione e rimodellamento sempre più adatto ai movimenti sport-specifici, riducendo la vulnerabilità verso il movimento che ha provocato la lesione. Anche nel lavoro in campo, questi principi sono costantemente enfatizzati. In questa fase, oltre al lavoro anaerobico lattacido, vengono introdotti tutti i gesti sport-specifici, cercando di ristabilire la fiducia e l'affidabilità del movimento che ha causato la lesione. Dal punto di vista del massaggio e delle terapie manuali, l'atleta viene trattato come se fosse già completamente recuperato, con il fisioterapista che monitora attentamente il muscolo infortunato [2]. L'utilizzo di sistemi di global positioning system (GPS) permette di monitorare i parametri relativi ai lavori ad alta intensità, come le distanze percorse ad alta velocità, le accelerazioni, le decelerazioni e il controllo del carico acuto rispetto a quello cronico. Questo monitoraggio aiuta a guidare il ritorno dell'atleta in squadra con maggiore sicurezza. In altre parole, il protocollo riabilitativo si considera completato quando l'atleta è in grado di eseguire lavori ad alta intensità simili a quelli di una gara [47], [48].

Un segnale che indica che l'atleta non è ancora pronto per il ritorno al lavoro con la squadra, o per un allenamento qualitativamente libero negli sport individuali, è la sensazione di "muscolo diverso" durante o dopo il lavoro sul campo, rispetto al controlaterale.

A seguito di quest'ultima fase, l'atleta può essere considerato guarito, e quindi in grado di riprendere gli allenamenti con la squadra, a patto che il tecnico gli faccia eseguire comunque un ritorno graduale verso i ritmi di gara e che si mantenga un costante scambio di informazioni tra le varie figure

professionali prima citate in modo da mantenere attivo il monitoraggio dell'atleta da parte dello staff medico.

### 1.8.1 Terapie fisiche o strumentali

Le terapie fisiche o strumentali sono ampiamente utilizzate nel trattamento delle lesioni muscolari, sebbene la letteratura non ne evidenzia chiaramente l'effettiva efficacia [49], [50]. Tuttavia, negli ultimi anni sono stati proposti apparecchi medicali di sicuro interesse, a patto che vengano introdotti nell'ambito di un programma riabilitativo integrato e utilizzati secondo precise indicazioni. Il razionale dell'utilizzo di terapie fisiche è quello di ottenere alcuni effetti biologici nei tessuti [51]:

- **Effetto termico:** ipertermia o crioterapia, producono modificazioni nel metabolismo cellulare, del calibro vasale e del tono muscolare
- **Effetto biochimico:** effetti biologici a livello cellulare ed extracellulare
- **Effetto meccanico:** stimolazione alla riparazione/rigenerazione tramite la formazione di onde pressorie
- **Effetto elettrico:** le correnti elettriche possono indurre stimolazione, iperemia e analgesia nei tessuti

In fase acuta è consigliato l'utilizzo di terapie strumentali in iso/ipotermia, in quanto il calore potrebbe, se introdotto troppo precocemente, portare a un aumento del sanguinamento in sede di lesione, ostacolando il processo di guarigione e favorendo l'insorgenza di gravi complicanze come la fibrosi cicatriziale e l'ossificazione intramuscolare circoscritta [52].

**Low Level Laser Therapy (LLLT):** utilizza potenze fino a  $500 \text{ mW/cm}^2$ , con effetto antiinfiammatorio, antiedema, antiossidativo, analgesico, preventivo sulla fibrosi cicatriziale e stimolante a livello cellulare. Promuove la replicazione cellulare e l'attivazione delle cellule satelliti e induce un incremento della produzione di collagene e neoangiogenesi [2]. Inoltre, l'utilizzo di questo tipo di terapia in associazione con la PRP (Platelet Rich Plasma) ne migliora i risultati, rispetto alle singole terapie prese singolarmente [53]. La letteratura sottolinea, dunque, tramite numerosi studi condotti sui ratti, quanto questi effetti terapeutici siano efficaci sull'omeostasi muscolare, stimolando il processo riparativo e diminuendo i tempi di recupero, sebbene non ci sia nessuna evidenza sull'uomo.

**Ultrasuoni terapeutici (TUS):** risulta efficace l'utilizzo di ultrasuoni pulsati a bassa intensità (LIPUS, intensità di  $30\text{-}60 \text{ mW/cm}^2$  e frequenza di  $0.75\text{-}1,5 \text{ MHz}$ ) nella rigenerazione muscolare, agendo sulla modulazione della risposta infiammatoria e sulla stimolazione della produzione di proteine muscolo-specifiche [54], [55]. L'ultrasuonoterapia classica è molto utilizzata nella traumatologia sportiva, pur essendoci limitate evidenze circa la sua efficacia.

**Elettroterapia:** l'elettrostimolazione neuromuscolare (NMES) può facilitare la rigenerazione muscolare, aumentando la proliferazione delle cellule mesenchimali satelliti e la loro fusione con le fibre muscolari mature e stimolando la neoangiogenesi [56]. Per quanto riguarda la TENS, invece, può tornare utile per attenuare il dolore infiammatorio, ma non agisce sull'articolari o sulla forza muscolare. La Neurostimolazione Interattiva (NSI), invece, sembrerebbe utile a scopo iperemico e analgesico [51], [57].

**Onde d'urto focalizzate (Shock Wave Therapy, SWT):** la letteratura riporta l'efficacia delle onde d'urto nello stimolare processi biologici a livello cellulare e della matrice extracellulare [58]. È stato dimostrato l'effetto positivo delle SWT nella rigenerazione muscolare sui topi [59], ma in letteratura mancano studi sull'uomo.

Nelle fasi intermedie della riabilitazione (step 1 e 2) è utile praticare terapie che sfruttano l'ipertermia, in modo da favorire l'iperemia e la biostimolazione profonda [51].

**Termoterapia endogena:** ipertermia a 434 MHz e diatermia capacitiva-resistiva provocano un incremento calorico del tessuto bersaglio, analgesia, stimolazione del metabolismo, iperemia e rilassamento muscolare [52], [60].

**High Intensity Laser Therapy (HILT):** la laserterapia ad alta intensità utilizza potenze superiori a 500 mW/cm<sup>2</sup> e, grazie alle interazioni fototermiche e fotomeccaniche che la luce ha con i tessuti, ha effetti molto simili a quelli prodotti dal carico fisiologico, favorendo i processi riparativi a livello del muscolo scheletrico [61].

**Ultrasuoni terapeutici (TUS):** in questa fase della riabilitazione si sfrutta l'effetto termico degli ultrasuoni, utilizzando un'intensità fino a 2 W/cm<sup>2</sup>, frequenza di 1 MHz in modalità continua [51].

Nelle fasi più avanzate (3° step) le terapie strumentali possono aiutare nel prevenire l'insorgenza di fatica muscolare e recidive, se correttamente sfruttate in abbinamento a protocolli di rinforzo eccentrico, stretching e propriocezione [2]. La terapia laser a bassa intensità (LLLT) è efficace nella prevenzione e nel trattamento della fatica muscolare. È stato dimostrato che l'uso della LLLT in combinazione con esercizi di rinforzo muscolare può migliorare le prestazioni muscolari rispetto ai soli esercizi di rinforzo [2]. L'immersione in acqua fredda (Cold Water Immersion, CWI) a temperature inferiori a 15°C per 10 -20 minuti è raccomandata per ridurre la fatica e l'indolenzimento muscolare, anche se i dati sulla riduzione dei tempi di recupero e dei parametri infiammatori ematici sono contrastanti. Anche le immersioni in acqua calda e fredda alternate (Contrast Water Therapy, CWT) risultano efficaci. In uno studio randomizzato-controllato su maschi adulti sani, è stato dimostrato che la stimolazione nervosa elettrica transcutanea (TENS) abbinata a esercizi di stretching

PNF migliora l'estensibilità muscolare degli hamstring più degli esercizi di stretching PNF da soli. L'elettroterapia decontratturante, o tonolisi, è utilizzata nella traumatologia sportiva per favorire la risoluzione delle ipertonie muscolari e attenuare i sintomi della fatica muscolare. L'iperemia indotta dalle correnti elettriche facilita la rimozione dei cataboliti tossici e il rilassamento muscolare. Preferibilmente si utilizzano correnti rettangolari monofasiche, asimmetriche a bassissima frequenza (1 Hz) e bassa intensità. Nel caso di indolenzimento muscolare a insorgenza ritardata (DOMS), un singolo trattamento con onde d'urto focalizzate può ridurre il dolore e incrementare la forza muscolare più efficacemente del placebo [2].

Le terapie strumentali possono essere sfruttate nel trattamento delle complicanze delle lesioni muscolari. Le più comunemente trattate con terapie strumentali sono la fibrosi cicatriziale e l'ossificazione intramuscolare circoscritta. Quando, dopo completa maturazione, persiste il dolore, si utilizzano onde d'urto focalizzate, preferibilmente con la guida ecografica, per i loro effetti rimodellanti sulla cicatrice e stimolanti il riassorbimento delle calcificazioni. Anche gli ultrasuoni terapeutici in modalità pulsata possono coadiuvare il trattamento. Tuttavia, attualmente, queste metodiche non hanno evidenze consolidate sull'efficacia nell'uomo per il trattamento di queste complicanze.

### **1.8.2 La terapia infiltrativa nelle lesioni muscolari**

La terapia infiltrativa nelle lesioni muscolari è stata sfruttata nel trattamento degli atleti professionisti per velocizzare il ritorno in campo. La terapia più utilizzata e più studiata è la Platelet-Rich Plasma (PRP). Il PRP può essere descritto come un derivato del sangue con un' aumentata concentrazione di piastrine al suo interno (concentrazione di piastrine >200% rispetto al sangue fisiologico). L'interesse per il PRP nasce dal potenziale effetto rigenerativo del concentrato piastrinico dovuto al rilascio di fattori di crescita autologhi, al basso costo e alla minima invasività del trattamento [62]. L'utilizzo del PRP provoca il rilascio di molti fattori di crescita e citochine, implicati nella modulazione del processo infiammatorio e nella maturazione e proliferazione cellulare. I diversi studi effettuati a riguardo hanno rilevato risultati contrastanti fra di loro per quanto riguarda i tempi di ritorno allo sport, la gestione del dolore e la prevenzione delle recidive, vista anche la diversità nel protocollo di somministrazione della terapia infiltrativa [2].

### **1.9 Complicanze delle lesioni muscolari**

Il principale problema delle lesioni muscolari negli sportivi non è tanto il tempo di recupero, quanto le complicanze che possono emergere, in particolare la possibilità di recidiva. Alcuni studi hanno dimostrato che un recente infortunio muscolare aumenta il rischio di lesioni anche nei distretti

circostanti [2]. Questo fenomeno può essere attribuito alla formazione di cicatrici fibrotiche e/o a modifiche nella biomeccanica della corsa, che possono avere effetti negativi su altri gruppi muscolari. Le complicanze degli infortuni muscolari possono essere divise in:

- **Complicanze ad esordio precoce:**
  - Sindrome compartimentale
  - Flebite – Trombosi Venosa Profonda (TVP)
- **Complicanze ad esordio tardivo:**
  - Fibrosi
  - Falda liquida intermuscolare
  - Cisti siero-ematica intramuscolare
  - Calcificazioni
  - Ossi-calcificazione intramuscolare
  - Ernia muscolare

### 1.9.1 Complicanze ad esordio precoce

**Sindromi compartimentali acute:** è una condizione in cui l'aumento della pressione all'interno di un compartimento osteo-muscolo-fasciale va a compromettere i tessuti. Le sindromi compartimentali acute sono rare e il compartimento anteriore della gamba è il più frequentemente colpito tra i quattro compartimenti della gamba (anteriore, laterale, posteriore superficiale, posteriore profondo). Qualsiasi macro-traumatismo, inclusi fratture, rotture tendinee, contusioni muscolari e lesioni di tipo 4 (caratterizzate da sanguinamento significativo e/o formazione di edema all'interno di un compartimento osteo-fasciale rigido), può causare una sindrome compartimentale. Il sintomo distintivo è un dolore intenso e sproporzionato rispetto alla gravità apparente della lesione, spesso accompagnato da parestesie. La diagnosi è clinica ma dovrebbe essere confermata tramite la misurazione diretta della pressione intra-compartimentale. Il trattamento acuto prevede riposo e applicazione di ghiaccio, evitando di caricare sull'arto. La compressione è controindicata: indumenti o bendaggi compressivi devono essere rimossi. Nei casi gravi, quando la pressione intracompartimentale supera quella arteriosa, anche la sopraelevazione è sconsigliata. I casi lievi possono essere gestiti con osservazione, monitoraggio clinico continuo e trattamenti fisioterapici specifici, come mobilizzazioni miofasciali. Se riposo e ghiaccio migliorano i sintomi, potrebbe non essere necessario un intervento chirurgico. Nei casi più gravi, con danno neurovascolare associato, è necessaria una decompressione urgente tramite fasciotomia [2], [63].

**Flebite – Trombosi venosa profonda (TVP):** la flebite è un'inflammatione della parete di un vaso venoso, mentre la trombosi venosa è l'ostruzione di una vena profonda di un arto causata da un

trombo. La flebite può evolvere in tromboflebite, sebbene questa sia una rara complicanza post-infortunio muscolare. In letteratura sono descritti pochi casi di trombosi muscolare post-lesionale, con una maggiore incidenza nelle lesioni del tricipite surale. La triade classica della trombosi venosa profonda (TVP) comprende gonfiore, dolore e tensione tissutale. Clinicamente, la TVP può manifestarsi con aumento del volume dell'arto, edema improntabile, circoli venosi superficiali visibili, tensione e pastosità delle masse muscolari, cute lucida e tesa o pallida cianotica, ipertermica, e dolorabilità alla palpazione del triangolo di Scarpa, del poplite o della faccia interna del polpaccio o della coscia. I segni clinici della TVP includono il segno di Bauer (dolore acuto provocato dalla spremitura del polpaccio), il segno di Homans (dolore causato dalla dorsiflessione forzata della caviglia a gamba estesa), il segno di Neuhof (mobilità ridotta al ballottamento del polpaccio a gamba flessa) e il segno di Ducuing (dolorabilità alla palpazione dell'inguine) [2]. Sebbene presi singolarmente questi segni abbiano bassa sensibilità e specificità, insieme alla storia clinica possono far ipotizzare la presenza di una TVP. La diagnosi richiede la conferma tramite eco-doppler venoso, eseguito anche con compressione dei vasi sottostanti [64]. La terapia per la TVP include il riposo, la somministrazione di eparina e antinfiammatori e l'applicazione di una fasciatura elastica.

### 1.9.2 Complicanze ad esordio tardivo

**Fibrosi:** La lesione muscolare rappresenta una sfida significativa per la traumatologia dello sport, poiché il processo di guarigione porta alla formazione di una cicatrice, un tessuto biologicamente diverso da quello originale. Se la cicatrizzazione è eccessiva, si sviluppa una fibrosi cicatriziale, che spesso comporta un recupero funzionale incompleto. Il tessuto fibrotico è scarsamente vascolarizzato e poco elastico, con fibre orientate in modo disorganizzato, aumentando il rischio di recidiva della lesione. La fibrosi può anche compromettere la funzionalità muscolare, creando aderenze tra i diversi ventri muscolari o tra fasce perimisiali contigue. Questo meccanismo altera lo scorrimento e la contrazione muscolare, limitando l'attività sportiva, soprattutto durante sollecitazioni ad alta intensità. La fibrosi è la complicanza più comune associata alle lesioni muscolari. La dimensione dell'area fibrotica dipende dall'entità della lesione e dal tipo di protocollo riabilitativo effettuato [65], [66]. I fattori che possono causare la fibrosi includono:

- Trattamento errato o mancato dell'ematoma subito dopo l'infortunio (il trattamento corretto prevede fasciatura compressiva e crioterapia).
- Massaggi intensi e/o profondi sulla lesione nei primi cinque giorni.
- Esercizi aggressivi troppo precoci che non rispettano i criteri di progressione.
- Immobilizzazione prolungata.

- Tecniche fisioterapiche strumentali basate sull'applicazione di calore (termoterapia) nella fase acuta.
- Ripresa precoce dell'attività sportiva ad alta intensità senza un'adeguata stabilità meccanica del tessuto riparativo.

Le cicatrici fibrotiche sono visibili all'ecografia come aree di iperecogenicità e sono generalmente poco o per nulla sintomatiche a riposo e durante attività sportiva a bassa o media intensità. La prevenzione della fibrosi si basa su un'idonea terapia riabilitativa, mentre l'efficacia dei trattamenti biologici è ancora oggetto di dibattito a causa della mancanza di studi randomizzati. In questo contesto, la fibrolisi diacutanea si propone come una tecnica promettente. Questo metodo di sbrigliamento manuale della cicatrice utilizza strumenti specifici chiamati ganci fibrolisori ed è semplice e privo di complicanze. Tuttavia, il suo successo dipende interamente dall'abilità, sensibilità ed esperienza dell'operatore [2].

**Falda liquida intermuscolare:** può insorgere pochi giorni dopo una lesione e persistere per mesi, ed è una raccolta prevalentemente ematica che si forma tra due fasce muscolari a seguito di traumi diretti o indiretti. Si verifica più frequentemente tra il retto femorale e il vasto intermedio, e tra il gemello mediale e il soleo, dove le fasce muscolari e i setti sono robusti e poco estensibili. Si manifesta come un rigonfiamento duro-elastico, talvolta fluttuante, che rende difficile la contrazione del muscolo. Se trattata precocemente e in modo adeguato, guarisce senza lasciare esiti. Spesso richiede una puntura evacuativa seguita da bendaggio compressivo per alcuni giorni per prevenire recidive. È facilmente rilevabile con l'ecografia [2].

**Calcificazioni:** la patogenesi di questa complicanza è legata a fenomeni di metaplasia, con deposizione di sali di calcio in un tessuto fibrotico ischemico. Il sito di calcificazione più comune è la loggia anteriore della gamba. La diagnosi differenziale deve considerare la calcificazione necrotica muscolare [67]. La formazione di calcificazioni è favorita dall'applicazione di terapie inappropriate, come il calore nella fase precoce e/o per periodi prolungati. Spesso queste calcificazioni sono asintomatiche; tuttavia, se causano disturbi clinici, si procede con il trattamento basato sull'utilizzo di onde d'urto focali [2], [68].

**Cisti siero-ematica intramuscolare:** è una complicanza poco frequente, che si verifica quando l'ematoma, non completamente riassorbito, viene incapsulato da tessuto fibroso, mantenendo la consistenza liquida della raccolta ematica. È più frequente nelle lesioni che interessano la muscolatura del polpaccio o della coscia. Può essere la conseguenza di traumi contusivi o di errori della fase acuta del trattamento, come la mancanza di compressione o la somministrazione di massaggi incongrui e troppo traumatizzanti. All'ecografia si manifesta completamente anecogena e con un aspetto

tondeggiante. Il trattamento tramite aspirazione evacuativa ha poco successo, perciò nei casi in cui la sintomatologia è fortemente invalidante e persistente è indicato il trattamento chirurgico di exeresi della cisti [2].

**Ossificazione intramuscolare:** questo processo reattivo si verifica all'interno del muscolo principalmente a causa di traumi contusivi (traumi diretti). È caratterizzato dalla proliferazione di tessuto osseo e cartilagineo che si sviluppa a seguito di un trauma significativo o traumi ripetuti, originando una vera e propria ossificazione eterotopica dovuta alla stimolazione delle cellule totipotenti del periostio. Si localizza più frequentemente nella parte anteriore dell'arto superiore (gomito) e della coscia. È una complicanza rara, più comune negli sport da contatto. Si può sospettare un'ossificazione intramuscolare circoscritta se dolore e gonfiore persistono o si intensificano improvvisamente dopo alcuni giorni o settimane dal trauma. La formazione ossea richiede diversi mesi per completarsi. La radiografia può mostrare una massa calcifica collegata all'osso tramite un peduncolo o completamente separata da esso. Una volta completata, l'ossificazione è generalmente ben tollerata dal muscolo, permettendo una completa ripresa funzionale. Durante la fase di formazione dell'ossificazione, può essere indicato l'uso di indometacina. Nella fase acuta, è importante evitare massaggi decontratturanti o trattamenti con calore, poiché il sangue stravasato può alimentare l'ossificazione e riaccendere il processo, causando una brusca riacutizzazione dei sintomi: dolore, gonfiore e rigidità del muscolo. Superata la fase acuta, se persiste una sintomatologia dolorosa, il trattamento di elezione è costituito da onde d'urto focali ecoguidate. In rari casi, può essere necessario un intervento chirurgico se il dolore non si risolve e provoca una significativa limitazione funzionale. Tuttavia, l'intervento non deve essere anticipato a causa dell'alto rischio di recidive e non deve essere eseguito prima che l'ossificazione sia completamente maturata. Prima di procedere, è essenziale confermare la negatività dell'esame scintigrafico [2], [69].

**Ernia muscolare:** è una complicanza rara e scarsamente o per nulla sintomatica, determinata da una lesione focale della fascia muscolare. La loggia anteriore della gamba è la sede più colpita. La tumefazione derivante scompare clinicamente ed ecograficamente alla richiesta di contrazione del muscolo. Se ne sono presenti molte in un determinato distretto, possono nascondere sotto una sindrome compartimentale cronica. Generalmente non necessitano di alcun trattamento, ma può essere utile, in alcuni casi, l'applicazione di una calza elasto-compressiva. In rari e specifici casi si può ricorrere al trattamento chirurgico [2].

### **1.10 Recidive di lesione muscolare**

La recidiva di lesione muscolare è un nuovo infortunio da trauma indiretto, che coinvolge la stessa zona o lo stesso muscolo precedentemente lesionato, che si verifica entro due mesi dal ritorno

all'attività sportiva (recidiva precoce) [70], entro un anno dal Return To Play (RTP) (recidive tardive) o oltre un anno dopo il RTP (recidive ritardate) [71], [72]. I tempi di recupero in seguito a una recidiva sono più lunghi di quelli riguardanti una lesione primaria, e il tasso di re-infortunio varia dal 12% al 43% a seconda dello sport praticato [73]. Tra i fattori di rischio non modificabili troviamo l'età e il numero di precedenti lesioni muscolari nello stesso distretto o in distretti differenti. Tra i principali fattori di rischio modificabili troviamo, invece, una ridotta forza muscolare, una scarsa estensibilità e la fatica. Inoltre, diversi fattori possono dipendere da un trattamento inadeguato della lesione primaria (riabilitazione troppo aggressiva o incompleta, immobilizzazione prolungata, trattamenti incongrui) e dalle modificazioni delle caratteristiche del muscolo insorte in seguito alla lesione primaria: rigidità o ipotrofia, tessuto cicatriziale anelastico, alterazioni biomeccaniche e alterazioni del controllo neuromuscolare [2]. L'insorgenza delle recidive delle lesioni muscolari è dovuta alla presenza e interazione tra più fattori di rischio. Le lesioni degli ischiocrurali che sono più a rischio di recidive sono le 3A (spesso sottostimate o non diagnosticate correttamente) e le 4 (per via della gravità dell'infortunio stesso). La sintomatologia in seguito a una recidiva è la medesima dell'infortunio primario e le stesse considerazioni vanno fatte per ciò che riguarda la valutazione, le indagini strumentali e il protocollo terapeutico [2].

## **CAPITOLO 2: La tecnologia QMR**

La Risonanza Quantica Molecolare (Quantum Molecular Resonance, QMR) è una tecnologia utilizzata in ambito fisioterapico tramite macchinari elettromedicali a radiofrequenza che forniscono una terapia non invasiva che non si basa sull'effetto di ipertermia, ma che grazie alla particolare energia emessa con un ampio spettro di frequenze (da 4 MHz a 64 MHz) trasmesse al paziente contemporaneamente va a stimolare l'attività delle cellule staminali adulte, attivando le capacità rigenerative del tessuto lesionato [74]. Questa tecnologia non induce una riparazione di tipo cicatriziale del tessuto leso, ma stimola la rigenerazione del tessuto, che avrà quindi le stesse proprietà e caratteristiche del tessuto originario. Grazie al suo effetto antinfiammatorio locale e antiedemigeno, il paziente beneficia fin dai primi utilizzi di una consistente diminuzione del dolore [74]. Sono stati riscontrati ottimi risultati nel suo utilizzo nella cura delle patologie dell'apparato muscolo-tendineo, delle lesioni muscolari e tendinee, dell'artrosi, di patologie dei menischi, negli edemi post-operatori, nelle ernie discali, nelle sciatalgie e nelle cefalee tensive.

### **2.1 Studi in vitro**

Uno studio del 2018 [75] si proponeva di verificare gli effetti della stimolazione QMR su cellule stromali mesenchimali derivate dal midollo osseo (MSC). Durante questo studio, le MSC sono state sottoposte a trattamento con QMR per 10 minuti al giorno, per 4 giorni consecutivi per un totale di 2 settimane, utilizzando diverse potenze nominali. I parametri presi in esame sono la morfologia cellulare, il fenotipo, la differenziazione multilineare, la vitalità e la proliferazione cellulare. Gli effetti del QMR sono stati ulteriormente esaminati attraverso microarray di cDNA e convalidati mediante PCR in tempo reale. Dopo 1 e 2 settimane di trattamento con QMR, la morfologia, il fenotipo e la capacità di differenziazione multilineare delle MSC sono rimasti inalterati. Non sono state osservate differenze nella vitalità e nella proliferazione cellulare tra i campioni trattati e i controlli. L'analisi del microarray di cDNA ha rivelato maggiori cambiamenti trascrizionali nelle cellule trattate con una potenza nominale di 40 rispetto a quelle trattate con 80. I principali gruppi di arricchimento riguardavano processi di sviluppo, regolazione della fosforilazione e vie cellulari inclusi metabolismo, attività della chinasi e organizzazione cellulare. La PCR in tempo reale ha confermato un significativo aumento dell'espressione di alcuni geni coinvolti nel rimodellamento della matrice extracellulare (ECM) attraverso il sistema fibrinolitico, che è anche implicato nell'embriogenesi, nella cicatrizzazione delle ferite e nell'angiogenesi. In questo studio si è osservato che le MSC trattate con QMR hanno mantenuto inalterato il loro fenotipo, la vitalità, la proliferazione e la capacità di differenziare in osso, cartilagine e tessuto adiposo, e l'analisi dei microarray suggerisce

che il trattamento con QMR potrebbe essere coinvolto nell'angiogenesi e nella rigenerazione tissutale, probabilmente attraverso il rimodellamento dell'ECM [75].

Uno studio del 2009 [76] ha dimostrato che le cellule eccitabili, come le fibre muscolari, rispondono all'applicazione di un campo elettrico ad alta frequenza (4 – 64 MHz) anche quando non viene raggiunta la soglia per il potenziale d'azione. In questo modo si potrebbero attivare percorsi di segnalazione intracellulare anche senza contrazione.

## **2.2 QMR e rigenerazione tissutale**

Le correnti elettriche, i campi elettrici e i campi elettromagnetici sono una forma di energia che può avere importanti effetti biologici a livello cellulare e della matrice extracellulare. La loro azione, oltre a generare effetti termici, è in grado di modificare la distribuzione delle cariche disposte sulle superfici di membrana inducendo modificazioni delle proteine di membrana influenzando l'apertura o la chiusura di canali ionici. Uno studio del 2005 [77] si proponeva di indagare sperimentalmente gli effetti sui tessuti delle correnti ad alta frequenza e bassa intensità generate dalla terapia QMR. Questi effetti sono stati studiati in vivo nell'animale (topi), in vitro in coltura cellulare e in una sospensione proteica ad alta concentrazione. L'obiettivo principale dello studio era di verificare se l'applicazione della corrente potesse causare danni cellulari capaci di innescare un processo di rigenerazione e alterazioni della struttura di grandi molecole come le proteine. Considerate nel loro insieme, le indagini condotte permettono di escludere che questo tipo di terapia possa causare alterazioni dirette alla struttura delle proteine, innescare fenomeni apoptotici o causare importanti fenomeni di degenerazione – rigenerazione a livello tissutale. Mediante analisi istologica, è stata evidenziata, nel muscolo pellicciaio dell'addome degli animali stimolati, la comparsa di infiltrati parvicellulari di modeste dimensioni e di disorganizzazione strutturale che suggeriscono la possibilità di fenomeni di risposta a processi degenerativi localizzati. Secondo il gruppo che ha condotto questa ricerca, questi fenomeni degenerativi – rigenerativi che si sovrappongono al normale ricambio cellulare del muscolo e non ne sconvolgono, per la loro modesta entità, la struttura, potrebbero rappresentare un importante meccanismo di rinnovamento tissutale innescato dalla stimolazione con correnti a bassa intensità e alta frequenza [77].

## **2.3 Risultati ottenuti in terapia antalgico-riabilitativa attraverso l'impiego della tecnologia QMR**

L'effetto antalgico di correnti ad alta frequenza e bassa intensità è stato analizzato in uno Studio Osservazionale condotto dal Dott. Babbolin sui pazienti affetti da patologie artrosiche ai distretti del ginocchio e dell'anca [78]. Questo studio riporta che la terapia QMR può rappresentare una metodica

non invasiva efficace nella riattivazione di cellule staminali presenti nei tessuti, permettendo in questo caso un maggior nutrimento del tessuto condrale, importante nel mantenimento della funzione articolare. I risultati ottenuti riguardano un'importante capacità, da parte della terapia QMR, di alleviare il dolore e un miglioramento, quindi, della limitazione articolare [78].

Un altro studio condotto dal Dott. Rossetti [79] si proponeva di riassumere i risultati ottenuti attraverso la tecnologia QMR in terapia antalgico-riabilitativa, nel trattamento di alcune comuni patologie: lombalgia, cervicalgia post-traumatica, cervicalgia degenerativa, condropatia di ginocchio, lesioni muscolari, traumi distorsivi di caviglia e ginocchio e rizoartrosi. I risultati ottenuti, valutati tramite una scala di valutazione del dolore e del disagio generale portato dalla patologia che va da 0 a 100, risultano molto significativi per tutte le patologie trattate (in particolare nelle lesioni muscolari). Il miglioramento della sintomatologia varia da paziente a paziente e in base alla patologia trattata, e mediamente occorrono circa 6 sedute prima di avere un effettivo riscontro positivo. Nei casi traumatologici trattati non sono avvenute recidive, e nei casi cronici la terapia viene proposta a cicli di 4-5 sedute ogni 3 o 4 mesi, con ottimi risultati. In alcuni casi (circa il 20%), vi è stato un temporaneo peggioramento della sintomatologia, poi regredito spontaneamente. Non sono stati riscontrati fattori di rischio che possano ridurre o compromettere le aspettative sul risultato della terapia [79].

Sono stati, inoltre, riscontrati ottimi risultati nell'utilizzo della tecnologia QMR (inizialmente in associazione ad altre terapie, e in seguito come terapia primaria) tramite lo studio condotto dal Dott. Troebinger [80]. I migliori risultati sono stati riscontrati nel trattamento di patologie tendinee acute, entesopatie del gomito e del piede, nelle lesioni muscolari e tendinee traumatiche, in pazienti con dolori cronici al cingolo scapolo-omerale, e infine in pazienti che presentavano edemi sub-condrali causati da condropatie del ginocchio. In particolare, questo studio ha valutato parametri come la riduzione del dolore e l'aumento del livello di attività, riportando risultati ottimi [80].

Dall'esperienza clinica riportata dal dott. Luca Buzzacchera, si osserva che l'applicazione della terapia QMR ha dato esiti positivi di risoluzione completa della patologia in più dell'84% dei casi presi in esame negli anni 2014, 2015 e 2016. I dati clinici raccolti riguardavano maggiormente pazienti con patologie dell'apparato muscolo-scheletrico da origine traumatica [81].

## CAPITOLO 3: Q-Physio

### 3.1 Il macchinario e le specifiche tecniche

Il Q-Physio è un dispositivo medico prodotto dall'azienda Telea medical S.r.l. di Sandrigo (VI), il cui principio di funzionamento si basa sulla tecnologia QMR (Quantum Molecular Resonance) esposta nei capitoli precedenti.

I trattamenti con Q-Physio vengono eseguiti tramite l'utilizzo di diversi accessori: elettrodi adesivi, manipolo o guanti Q-Touch.

Il macchinario è dotato di una tensione di alimentazione di 100-230V, frequenza di alimentazione 50/60Hz, potenza massima in uscita di 60W/200Ω per quanto riguarda gli elettrodi e di 50W/200Ω per il manipolo e i guanti, spettro di frequenza in uscita da 4MHz a 64MHz. È un dispositivo medico di classe IIa. Parti applicate di tipo CF[82].



*FIGURA 1: Q-PHYSIO / CREDITS IMMAGINE:  
[HTTPS://IMG.MEDICALEXPO.IT/IMAGES\\_ME/PHOTO-G/70297-17446073.WEBP](https://img.medicalexpo.it/images_me/photo-g/70297-17446073.webp)*

### 3.2 Comparazione e vantaggi

Secondo quanto riportato dagli opuscoli pubblicitari forniti dall'azienda produttrice, messo a confronto con le principali tecnologie utilizzate in fisioterapia, il Q-Physio offre la possibilità di un impiego vasto, efficace e sicuro. I principali vantaggi offerti da questo macchinario sono[82]:

- **Rigenerazione:** stimolazione delle capacità rigenerative del tessuto con caratteristiche funzionali analoghe al tessuto leso
- **Ampia gamma di patologie trattabili**
- **Risultati molto rapidi:** possibilità di trattare il paziente anche immediatamente in seguito all'infortunio con effetti antalgici
- **Sicurezza biologica:** questo tipo di stimolazione non induce alcun tipo di danno cellulare, rendendone sicura l'applicazione anche su pazienti fragili o con patologie complesse.
- **Terapia sicura per il paziente:** nella pratica clinica non sono stati osservati effetti collaterali.

	DIATERMIA	LASER	ONDA D'URTO	QMR
<b>Patologie trattate</b>				
Traumi muscolari, contusioni e distorsioni	●	●		●
Edema post operatori e post traumatici		●		●
Cervicalgie, brachialgie, lombalgie	●	●		●
Artrite e artrosi		●		●
Calcificazioni ossee			●	●
Tendinopatie, sinoviti, fasciti, borsiti	●	●	●	●
Osteonecrosi			●	●
Nevralgia				●
Epicondiliti	●	●		●
Ernie discali				●
<b>Utilizzo consentito</b>				
Presenza di tatuaggi	●			●
Utilizzo subito dopo il trauma		●		●
Cartilagine in età evolutiva	●			●
Aree con presenza di vasi sanguigni		●		●
Zona cervicale	●	●		●
Area toracica		●		●
Zona addominale	●	●		●
<b>Comfort e sicurezza</b>				
Terapia non fastidiosa per il paziente	●	●		●
Comprovata sicurezza cellulare				●

FIGURA 2: COMPARAZIONE TRA Q-PHYSIO ED ALTRE TECNOLOGIE IN FISIOTERAPIA/ CREDITS IMMAGINE: [HTTPS://TELEAMEDICAL.COM/WP-CONTENT/UPLOADS/2024/03/CATALOGO-Q-PHYSIO-2024-ITA-WEB.PDF](https://teleamedical.com/wp-content/uploads/2024/03/CATALOGO-Q-PHYSIO-2024-ITA-WEB.PDF)

### 3.3 Impiego e utilizzi

L'azione terapeutica del Q-Physio si realizza solitamente in due fasi: una prima fase molto rapida in cui la terapia induce un forte effetto antiinfiammatorio e antiedemigeno, che si manifesta tramite una marcata riduzione del dolore, e una seconda fase che si manifesta nel corso delle sedute e nelle settimane successive in cui il tessuto danneggiato si rigenera in forma stabile e definitiva. Il

trattamento dà solitamente risultati rapidi. Nelle patologie acute si ottiene una sostanziale diminuzione del dolore sin dalle prime sedute, sebbene sia consigliato di portare comunque a termine il ciclo di sedute previste al fine di stabilizzare e consolidare la piena guarigione. È consigliata l'esecuzione di almeno 2-3 sedute settimanali, sebbene il macchinario possa essere applicato anche ogni giorno. Ogni seduta richiede un minimo di 20 minuti di applicazione, modificabili dal terapeuta a seconda del tipo di patologia trattata e dall'ampiezza della superficie da trattare. Questa tecnologia è ampiamente utilizzata nel paziente sportivo per via della sua efficacia e rapidità che permette di accelerare i tempi di recupero e il rientro in campo. Durante l'erogazione di energia il paziente percepisce un leggero tepore, che deve sempre essere piacevole e non causare fastidio.

Tra le patologie più frequentemente trattate tramite l'utilizzo del Q-Physio, riportate dalla ditta produttrice, troviamo [82]:

- Artrite e artrosi
- Brachialgie
- Calcificazioni osse, osteonecrosi
- Cervicalgie
- Edemi post-operatori e post-traumatici
- Epicondiliti
- Lombosciatalgie
- Microfratture da stress
- Nevralgie
- Tendinopatie, sinoviti, fasciti, borsiti
- Traumi muscolari, contusioni e distorsioni

## **CAPITOLO 4: Obiettivi dello studio sperimentale**

L'obiettivo di questo studio è valutare se l'integrazione della tecnologia QMR nel trattamento delle lesioni muscolari strutturali possa portare a:

- Una riduzione nei tempi di recupero e di rientro in campo in seguito all'infortunio
- Una rigenerazione tissutale qualitativamente più valida in termini di caratteristiche funzionali del tessuto cicatriziale
- Una riduzione del dolore in fase acuta
- Un minor rischio di recidiva nella fase di ritorno in campo

## **CAPITOLO 5: Materiali e metodi**

### **5.1 Il campione**

È stato condotto uno studio clinico sperimentale controllato non randomizzato in cui sono stati inclusi pazienti giovani sportivi presi in carico dallo studio Fisiolab 8.14 S.r.l. di Travettore di Rosà (VI) nella stagione sportiva 2023-2024, in particolare nei mesi compresi tra febbraio e giugno.

I criteri di inclusione per l'arruolamento dei pazienti sono stati i seguenti:

- Lesione di tipo 3A (classificazione I.S.Mu.L.T.) dei muscoli ischiocrurali diagnosticata da un medico tramite ecografia
- Ecografia diagnostica effettuata entro una settimana dall'infortunio
- Età maggiore di 18 anni
- Pratica sportiva agonistica

Mentre i criteri di esclusione corrispondono ai seguenti punti:

- Presenza di altre patologie dell'apparato muscolo – scheletrico a carico degli arti inferiori
- Presenza di lesioni associate di natura articolare
- Lesione recidivante
- Presenza di patologie sistemiche che possano limitare l'utilizzo di apparecchiature elettromedicali, come patologie neoplastiche o cardiache
- Presenza di tatuaggi che ricoprono la zona da trattare (utilizzo della laserterapia nel gruppo di controllo)

Sono stati reclutati in tutto 10 pazienti, 6 dei quali assegnati al gruppo di studio e 4 al gruppo di controllo. I pazienti reclutati sono tutti sportivi a livello agonistico, 9 praticano calcio e 1 pratica hockey su pista. L'età dei pazienti è compresa tra i 19 e i 30 anni, con una media di 23,6 anni. Nel gruppo di studio l'età media dei pazienti selezionati è di 21,7 anni, mentre nel gruppo di controllo è di 26,5 anni.

Tutti i pazienti sono stati sottoposti ad ecografia diagnostica nei giorni immediatamente successivi all'evento lesivo, effettuata dal dottor Carmelo Pirri, medico specialista in medicina fisica e riabilitazione e ricercatore presso l'università di Padova. Un'altra ecografia di controllo è stata effettuata prima del definitivo rientro in campo dei giocatori.

### **5.2 Il protocollo riabilitativo con QMR**

La proposta di questo studio è di valutare gli effetti della terapia QMR, integrata in un programma riabilitativo, come unica terapia fisica strumentale adottata. Risulta di fondamentale importanza la tempestività, in questi casi, della valutazione ecografica, eseguita nella maggior parte dei casi nei 2-

3 giorni successivi all'infortunio, permettendo così un rapido intervento già nella fase acuta. Il numero di sedute effettuate è stato di 2 sedute settimanali nella fase acuta, per passare a una sola seduta settimanale in seguito. Il numero totale di sedute proposte ai pazienti è stato variabile, da un minimo di 4 a un massimo di 10, a seconda dell'andamento dei sintomi riferiti dal paziente, dell'ampiezza della lesione e dell'esito dell'ecografia di controllo. Le sedute di trattamento proposte comprendevano 45 minuti totali di trattamento:

- 20 minuti di Q-Physio a 30 MHz di frequenza, applicata tramite l'utilizzo di 2 elettrodi
- Manipolazione fasciale, con lo scopo di trattare manualmente le tensioni miofasciali presenti, eseguita da un terapista adeguatamente formato
- Assegnazione di esercizi specifici di progressiva difficoltà da eseguire quotidianamente e al di sotto della soglia del dolore

Ogni seduta comprende una prima parte di rivalutazione tramite intervista e test di forza per valutare l'andamento del sintomo e della funzione muscolare. Se il paziente riferisce di essere riuscito ad eseguire gli esercizi senza alcun fastidio, ne viene proposto un altro di difficoltà maggiore, progredendo da esercizi isometrici o in scarico, fino ad arrivare ad esercizi in contrazione eccentrica ben più impegnativi e ad esercizi sport – specifici in campo e alla corsa.

### **5.3 Il gruppo di controllo**

Il trattamento proposto per il gruppo di controllo è analogo a quello del gruppo di studio per quanto riguarda la terapia manuale e l'esercizio terapeutico, ma differisce nell'utilizzo dell'elettromedicale, che viene sostituito da un laser ad alta intensità.

### **5.4 Valutazione clinica**

È stata eseguita una valutazione intermedia ad ogni seduta tramite una breve intervista per indagare il sintomo durante le attività della vita quotidiana e tramite l'esecuzione del test di forza per lo specifico muscolo, indagando il dolore percepito dal paziente su una scala da 0 a 10 e l'eventuale differenza di forza rispetto all'arto controlaterale. In seguito al ciclo di sedute proposte, prima del definitivo rientro in campo, viene effettuata un'ecografia di controllo per valutare la qualità del tessuto cicatriziale e l'effettivo risultato della terapia.

### **5.5 Raccolta dei dati**

Per la raccolta dei dati è stata creata una tabella nella quale inserire i dati anagrafici del paziente, la data e la zona di lesione e la data dell'ecografia diagnostica. Per monitorare l'andamento delle sedute, veniva inserita la data per ogni trattamento, venivano trascritti i punti di manipolazione fasciale trattati

e veniva inserita una spunta di conferma sull'utilizzo del macchinario o eventuali note in caso di modifica del protocollo. Nella parte finale della tabella venivano inseriti i vari esercizi assegnati in ordine di somministrazione. Una volta completate le sedute veniva effettuata l'ecografia di controllo con il medico e veniva inserita la data nella tabella. Se l'ecografia avesse dato esito positivo sarebbe stata data indicazione per un graduale rientro in campo del giocatore. Il dato preso in considerazione per concludere il percorso di cura del paziente era il suo definitivo rientro in campo in una partita di campionato. Si riporta in seguito il modello vuoto della tabella utilizzata per la raccolta dei dati.

NOME							
COGNOME							
SQUADRA							
DATA INFORTUNIO					DATA ECOGRAFIA DIAGNOSTICA		
DIAGNOSI + ZONA DI LESIONE		DOMS	3A	3B			
DATA ECOGRAFIA DI CONTROLLO					DATA RIENTRO IN CAMPO		
	DATA	QMR 20' 30HZ		MANIPOLAZIONE FASCIALE			
1 SEDUTA							
2 SEDUTA							
3 SEDUTA							
4 SEDUTA							
5 SEDUTA							
6 SEDUTA							
7 SEDUTA							
8 SEDUTA							
PROTOCOLLO DI ESERCIZI	ESERCIZIO 1						
	ESERCIZIO 2						
	ESERCIZIO 3						
NOTE							

**FIGURA 3: ESEMPIO DI TABELLA UTILIZZATA PER LA RACCOLTA DEI DATI**

## CAPITOLO 6: Risultati

### 6.1 Gruppo di studio

Il gruppo di studio comprendeva in totale 6 pazienti, di età compresa tra i 19 e i 27 anni, con un'età media di 21,7 anni. Di questi 6 pazienti, 2 sono andati incontro a complicanze: 1 paziente ha sviluppato una falda liquida intermuscolare, che ha comportato una variazione nel protocollo con l'introduzione di altre terapie strumentali quali la laserterapia, onde d'urto e pressoterapia. 1 paziente è andato incontro a una recidiva di lesione avvenuta in allenamento prima del totale rientro in campo. 1 dei pazienti si è sottoposto a un maggior numero di sedute eseguite da altri terapisti esterni al protocollo di studio. Dei 6 pazienti reclutati quindi, solo 3 risultano totalmente idonei al protocollo stilato inizialmente. Considerando solamente i 3 pazienti totalmente idonei (evidenziati in verde nella tabella esplicativa sottostante), l'età media dei soggetti presi in esame risulta di 20,7 anni. I giorni totali di stop variano da un minimo di 24 a un massimo di 52, con una media di 35 giorni dalla data dell'infortunio all'effettivo rientro in campo durante una partita di campionato. Le sedute a cui sono stati sottoposti sono in media 5,7. Considerando, invece, tutti i 6 pazienti reclutati, i risultati ottenuti in termini di giorni totali di stop vanno da un minimo di 24 a un massimo di 74, con una media di 46 giorni totali e una media di sedute di 6,5.

GRUPPO DI STUDIO					
PAZIENTE	ETÀ	GIORNI DI STOP	N° SEDUTE	COMPLICANZE	VARIAZIONI DEL PROTOCOLLO
1	21	63	9	Falda liquida intermuscolare	Introdotta laserterapia, pressoterapia e onde d'urto in seguito a complicanze
2	22	24	4	X	X
3	19	52	9	X	X
4	27	74	8	X	Ha eseguito delle sedute extra - protocollo con altri terapisti
5	21	29	4	X	X
6	20	34	5	Recidiva	X
<b>MEDIA TOT</b>	21,7	46	6,5		
<b>MEDIA IDONEI</b>	20,7	35	5,7		

Tabella 6: Risultati ottenuti dal gruppo di studio

### 6.2 Gruppo di controllo

Il gruppo di controllo comprendeva in totale 4 pazienti, di età compresa tra i 20 e i 30 anni, con un'età media di 26,5 anni. Di questi 4 pazienti, 3 hanno avuto un decorso regolare del recupero e sono stati dunque sottoposti al protocollo stilato precedentemente. Questi pazienti sono considerati idonei al

protocollo. 1 paziente ha subito una variazione del protocollo durante le ultime tre sedute, nelle quali è stato introdotto l'utilizzo delle onde d'urto. Considerando solamente i 3 pazienti totalmente idonei (evidenziati in verde nella tabella esplicativa sottostante), l'età media dei soggetti è di 28,7 anni. I giorni totali di stop variano da un minimo di 25 a un massimo di 43, con una media di 32,3 giorni dalla data dell'infortunio all'effettivo rientro in campo durante una partita di campionato. Le sedute a cui sono stati sottoposti sono in media 5. Considerando, invece, tutti e 4 i pazienti reclutati inizialmente i giorni totali di stop vanno da un minimo di 25 a un massimo di 77, con una media di 43,5 giorni totali e una media di 5,75 sedute.

GRUPPO DI CONTROLLO					
PAZIENTE	ETÀ	GIORNI DI STOP	N° SEDUTE	COMPLICANZE	VARIAZIONI DEL PROTOCOLLO
1	29	29	3	X	X
2	30	25	6	X	X
3	27	43	6	X	X
4	20	77	8	X	Introdotte onde d'urto le ultime 3 sedute
<b>MEDIA TOT</b>	26,5	43,5	5,75		
<b>MEDIA IDONEI</b>	28,7	32,3	5		

Tabella 7: Risultati ottenuti dal gruppo di controllo

### 6.3 Confronto tra il gruppo di studio e di controllo

CONFRONTO TRA I GRUPPI					
		ETÀ	GIORNI DI STOP	N° SEDUTE	N° COMPLICANZE
Q-PHYSIO	IDONEI	20,7	35	5,7	/
	TOTALE	21,7	46	6,5	2
CONTROLLO	IDONEI	28,7	32,3	5	/
	TOTALE	26,5	43,5	5,75	0

Tabella 8: Confronto dei risultati ottenuti dal gruppo di studio e di controllo

## **CAPITOLO 7: Discussione**

La riabilitazione in seguito a una lesione muscolare strutturale è un percorso delicato e che richiede lunghi tempi di recupero per permettere un ritorno allo sport in sicurezza. Dall'analisi della letteratura si evince che l'approccio da utilizzare deve tenere in considerazione un gran numero di variabili, a partire dal tipo di lesione, dalla sua ampiezza e localizzazione, dal tipo di tessuto interessato e da una serie di caratteristiche individuali del paziente come il tipo di attività e di stile di vita, ma anche le sue caratteristiche fisiche e psicologiche. In letteratura, gli studi trovati che riguardassero l'impiego della tecnologia QMR e la sua efficacia sono pochi e quelli presi in esame per questo studio hanno dei limiti, in quanto la maggior parte dei lavori presi in esame sono stati forniti direttamente dall'azienda produttrice del macchinario, che ha interessi nella vendita del prodotto e cerca quindi di evidenziarne l'efficacia. Inoltre, nessuno degli studi analizzati indagava in maniera specifica l'utilizzo di questa terapia nel trattamento delle lesioni muscolari.

I risultati ottenuti da questo studio non risultano significativi in termini di diminuzione dei tempi di recupero tra il gruppo di studio e quello di controllo, non permettendo dunque di osservare l'effettiva efficacia o inefficacia del macchinario. È stato interessante osservare come in entrambi i gruppi ci fosse un elevato grado di variabilità tra i pazienti appartenenti allo stesso gruppo sui tempi totali di recupero, indipendentemente dalla somministrazione della terapia. Non si osserva, invece, in maniera marcata una differenza tra i valori medi dei due gruppi, che presentano una variabilità di meno di 3 giorni considerando i soli soggetti in cui è stato applicato il protocollo senza variazioni.

Un dato interessante riguarda invece la comparsa di complicanze, che è stato più marcato nel gruppo in cui è stato utilizzato il macchinario preso in esame. L'insorgere di queste problematiche potrebbe risultare del tutto casuale e non significativo per il limitato numero di soggetti presi in esame. Alla luce dell'importanza di questo specifico dato, che potrebbe influenzare l'effettivo utilizzo di questo macchinario nella pratica clinica, ritengo necessario un ulteriore approfondimento nella ricerca di una possibile causa derivante dalla sua applicazione. Infatti, da quanto osservato attraverso questo studio, il macchinario presenta una grossa efficacia nella gestione del dolore in fase acuta. Già dopo la prima seduta, infatti, i pazienti riferivano un'importante diminuzione del sintomo nella vita quotidiana. Questo effetto risulta positivo per lo stato di benessere del paziente, ma in alcuni casi può, a mio avviso, risultare controproducente. La scomparsa del dolore, infatti, non riflette un'effettiva guarigione della lesione, in quanto a livello anatomico il danno è ancora presente. Il paziente potrebbe, in questo modo, sentirsi più libero e fiducioso, sovrastimando così la sua capacità di carico ed eseguendo gesti o movimenti che potrebbero andare a peggiorare il sintomo o rallentare la guarigione della lesione. Questo potrebbe essere il motivo per cui ci sono stati alcuni casi (1/3 del campione) nei

quali si è osservata la comparsa di complicanze o di recidiva. Il limitato numero di pazienti presi in esame non permette, però, di giungere ad alcuna conclusione.

Credo che un approccio standardizzato, come il protocollo utilizzato in questo studio, non tenga in considerazione la grande quantità di variabili che è necessario osservare nella riabilitazione di questa specifica patologia. Probabilmente, per raggiungere il miglior risultato possibile, sarà necessario impostare un piano di trattamento basato sul singolo paziente, tenendo conto delle sue caratteristiche intrinseche sia biologiche e strutturali, che psicologiche, in modo da permettere un ritorno in campo in sicurezza e ad un livello pari a quello precedente alla lesione, nonché nel minor tempo possibile. La terapia strumentale può rappresentare un aiuto importante nelle cure di questi pazienti, sebbene debba essere accompagnata da una fondamentale fase di recupero funzionale attraverso l'esercizio terapeutico. A mio avviso, la terapia QMR potrebbe avere un grande potenziale nella pratica clinica, ma ritengo necessari ulteriori studi e approfondimenti su un campione più ampio di pazienti per poterne verificare l'effettiva utilità.

## **CONCLUSIONI**

Sebbene i risultati ottenuti dal gruppo di controllo risultino migliori rispetto a quelli riguardanti il gruppo di studio, ciò che è stato osservato in questo studio risulta insufficiente per giungere a una conclusione riguardante l'efficacia o inefficacia del macchinario preso in esame. Il campione era composto da soli 10 pazienti, per via dei criteri di inclusione ed esclusione che prevedevano il reclutamento di un limitato numero di pazienti con caratteristiche lesionali specifiche. È necessario un ulteriore approfondimento su un gruppo di pazienti più numeroso per poter giungere a una conclusione circa l'efficacia della terapia.

Le differenze rilevate tra il gruppo di studio e quello di controllo sono minime in termini di tempi di recupero e di numero di sedute effettuate. Sono stati osservati ottimi risultati nella gestione del dolore in fase acuta e nei giorni successivi all'infortunio.

Il campione di pazienti presi in considerazione presenta una notevole variabilità in termini di età e di caratteristiche fisiche, che ha comportato, di conseguenza, una marcata variabilità intra – gruppo nei risultati ottenuti, suggerendo che le caratteristiche individuali del singolo paziente siano fondamentali nella formulazione del piano di trattamento di un paziente che ha subito una lesione muscolare.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] T. A. H. Järvinen, T. L. N. Järvinen, M. Kääriäinen, H. Kalimo, and M. Järvinen, “Muscle injuries: biology and treatment.,” *Am J Sports Med*, vol. 33, no. 5, pp. 745–64, May 2005, doi: 10.1177/0363546505274714.
- [2] Gianni Nanni, Antonio Frizziero, Francesco Oliva, and Nicola Maffulli, *GLI INFORTUNI MUSCOLARI - Linee Guida I.S.Mu.L.T. 2020*. Ferriera di Torgiano (PG), 2020.
- [3] M. V Narici and C. N. Maganaris, “Plasticity of the muscle-tendon complex with disuse and aging.,” *Exerc Sport Sci Rev*, vol. 35, no. 3, pp. 126–34, Jul. 2007, doi: 10.1097/jes.0b013e3180a030ec.
- [4] S. V Brooks, S. D. Guzman, and L. P. Ruiz, “Skeletal muscle structure, physiology, and function.,” *Handb Clin Neurol*, vol. 195, pp. 3–16, 2023, doi: 10.1016/B978-0-323-98818-6.00013-3.
- [5] W. E. Garrett, “Muscle strain injuries: clinical and basic aspects.,” *Med Sci Sports Exerc*, vol. 22, no. 4, pp. 436–43, Aug. 1990.
- [6] A. C. Durieux, D. Desplanches, D. Freyssenet, and M. Flück, “Mechanotransduction in striated muscle via focal adhesion kinase.,” *Biochem Soc Trans*, vol. 35, no. Pt 5, pp. 1312–3, Nov. 2007, doi: 10.1042/BST0351312.
- [7] C. M. Askling, M. Tengvar, T. Saartok, and A. Thorstensson, “Acute first-time hamstring strains during high-speed running: a longitudinal study including clinical and magnetic resonance imaging findings.,” *Am J Sports Med*, vol. 35, no. 2, pp. 197–206, Feb. 2007, doi: 10.1177/0363546506294679.
- [8] T. A. H. Järvinen *et al.*, “Muscle injuries: optimising recovery.,” *Best Pract Res Clin Rheumatol*, vol. 21, no. 2, pp. 317–31, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.berh.2006.12.004.
- [9] A. C. Durieux, D. Desplanches, D. Freyssenet, and M. Flück, “Mechanotransduction in striated muscle via focal adhesion kinase.,” *Biochem Soc Trans*, vol. 35, no. Pt 5, pp. 1312–3, Nov. 2007, doi: 10.1042/BST0351312.
- [10] C. N. Maganaris, “Force-length characteristics of in vivo human skeletal muscle.,” *Acta Physiol Scand*, vol. 172, no. 4, pp. 279–85, Aug. 2001, doi: 10.1046/j.1365-201x.2001.00799.x.
- [11] J. M. Hootman, C. A. Macera, B. E. Ainsworth, C. L. Addy, M. Martin, and S. N. Blair, “Epidemiology of musculoskeletal injuries among sedentary and physically active adults.,” *Med Sci Sports Exerc*, vol. 34, no. 5, pp. 838–44, May 2002, doi: 10.1097/00005768-200205000-00017.

- [12] P. Ueblacker, H.-W. Müller-Wohlfahrt, and J. Ekstrand, “Epidemiological and clinical outcome comparison of indirect (‘strain’) versus direct (‘contusion’) anterior and posterior thigh muscle injuries in male elite football players: UEFA Elite League study of 2287 thigh injuries (2001-2013).,” *Br J Sports Med*, vol. 49, no. 22, pp. 1461–5, Nov. 2015, doi: 10.1136/bjsports-2014-094285.
- [13] J. Ekstrand, M. Hägglund, and M. Waldén, “Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer).,” *Am J Sports Med*, vol. 39, no. 6, pp. 1226–32, Jun. 2011, doi: 10.1177/0363546510395879.
- [14] J. Ekstrand *et al.*, “Time before return to play for the most common injuries in professional football: a 16-year follow-up of the UEFA Elite Club Injury Study.,” *Br J Sports Med*, vol. 54, no. 7, pp. 421–426, Apr. 2020, doi: 10.1136/bjsports-2019-100666.
- [15] D. Pfirmann, M. Herbst, P. Ingelfinger, P. Simon, and S. Tug, “Analysis of Injury Incidences in Male Professional Adult and Elite Youth Soccer Players: A Systematic Review.,” *J Athl Train*, vol. 51, no. 5, pp. 410–24, May 2016, doi: 10.4085/1062-6050-51.6.03.
- [16] L. Maffey and C. Emery, “What are the risk factors for groin strain injury in sport? A systematic review of the literature.,” *Sports Med*, vol. 37, no. 10, pp. 881–94, 2007, doi: 10.2165/00007256-200737100-00004.
- [17] M. Hägglund, M. Waldén, H. Magnusson, K. Kristenson, H. Bengtsson, and J. Ekstrand, “Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study.,” *Br J Sports Med*, vol. 47, no. 12, pp. 738–42, Aug. 2013, doi: 10.1136/bjsports-2013-092215.
- [18] A. Silder, B. C. Heiderscheit, D. G. Thelen, T. Enright, and M. J. Tuite, “MR observations of long-term musculotendon remodeling following a hamstring strain injury.,” *Skeletal Radiol*, vol. 37, no. 12, pp. 1101–9, Dec. 2008, doi: 10.1007/s00256-008-0546-0.
- [19] A. Silder, S. B. Reeder, and D. G. Thelen, “The influence of prior hamstring injury on lengthening muscle tissue mechanics.,” *J Biomech*, vol. 43, no. 12, pp. 2254–60, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.jbiomech.2010.02.038.
- [20] J. W. Orchard, “Intrinsic and extrinsic risk factors for muscle strains in Australian football.,” *Am J Sports Med*, vol. 29, no. 3, pp. 300–3, 2001, doi: 10.1177/03635465010290030801.
- [21] E. Witvrouw, L. Danneels, P. Asselman, T. D’Have, and D. Cambier, “Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study.,” *Am J Sports Med*, vol. 31, no. 1, pp. 41–6, 2003, doi: 10.1177/03635465030310011801.

- [22] P. S. Bradley and M. D. Portas, "The relationship between preseason range of motion and muscle strain injury in elite soccer players.," *J Strength Cond Res*, vol. 21, no. 4, pp. 1155–9, Nov. 2007, doi: 10.1519/R-20416.1.
- [23] A. Ibrahim, G. A. C. Murrell, and P. Knapman, "Adductor strain and hip range of movement in male professional soccer players.," *J Orthop Surg (Hong Kong)*, vol. 15, no. 1, pp. 46–9, Apr. 2007, doi: 10.1177/230949900701500111.
- [24] A. Arnason, S. B. Sigurdsson, A. Gudmundsson, I. Holme, L. Engebretsen, and R. Bahr, "Risk factors for injuries in football.," *Am J Sports Med*, vol. 32, no. 1 Suppl, pp. 5S-16S, 2004, doi: 10.1177/0363546503258912.
- [25] J.-L. Croisier, S. Ganteaume, J. Binet, M. Genty, and J.-M. Ferret, "Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study.," *Am J Sports Med*, vol. 36, no. 8, pp. 1469–75, Aug. 2008, doi: 10.1177/0363546508316764.
- [26] R. G. Timmins, M. N. Bourne, A. J. Shield, M. D. Williams, C. Lorenzen, and D. A. Opar, "Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study.," *Br J Sports Med*, vol. 50, no. 24, pp. 1524–1535, Dec. 2016, doi: 10.1136/bjsports-2015-095362.
- [27] R. G. Timmins, A. J. Shield, M. D. Williams, C. Lorenzen, and D. A. Opar, "Biceps femoris long head architecture: a reliability and retrospective injury study.," *Med Sci Sports Exerc*, vol. 47, no. 5, pp. 905–13, May 2015, doi: 10.1249/MSS.0000000000000507.
- [28] H.-W. Mueller-Wohlfahrt *et al.*, "Terminology and classification of muscle injuries in sport: the Munich consensus statement.," *Br J Sports Med*, vol. 47, no. 6, pp. 342–50, Apr. 2013, doi: 10.1136/bjsports-2012-091448.
- [29] O. Chan, A. Del Buono, T. M. Best, and N. Maffulli, "Acute muscle strain injuries: a proposed new classification system.," *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, vol. 20, no. 11, pp. 2356–62, Nov. 2012, doi: 10.1007/s00167-012-2118-z.
- [30] N. Pollock, S. L. J. James, J. C. Lee, and R. Chakraverty, "British athletics muscle injury classification: a new grading system.," *Br J Sports Med*, vol. 48, no. 18, pp. 1347–51, Sep. 2014, doi: 10.1136/bjsports-2013-093302.
- [31] N. Pollock, A. Patel, J. Chakraverty, A. Suokas, S. L. J. James, and R. Chakraverty, "Time to return to full training is delayed and recurrence rate is higher in intratendinous ('c') acute hamstring injury in elite track and field athletes: clinical application of the British Athletics Muscle Injury Classification.," *Br J Sports Med*, vol. 50, no. 5, pp. 305–10, Mar. 2016, doi: 10.1136/bjsports-2015-094657.

- [32] X. Valle *et al.*, “Muscle Injuries in Sports: A New Evidence-Informed and Expert Consensus-Based Classification with Clinical Application.,” *Sports Med*, vol. 47, no. 7, pp. 1241–1253, Jul. 2017, doi: 10.1007/s40279-016-0647-1.
- [33] J. Ekstrand, C. Askling, H. Magnusson, and K. Mithoefer, “Return to play after thigh muscle injury in elite football players: implementation and validation of the Munich muscle injury classification.,” *Br J Sports Med*, vol. 47, no. 12, pp. 769–74, Aug. 2013, doi: 10.1136/bjsports-2012-092092.
- [34] N. Malliaropoulos, E. Papacostas, O. Kiritsi, A. Papalada, N. Gougoulas, and N. Maffulli, “Posterior thigh muscle injuries in elite track and field athletes.,” *Am J Sports Med*, vol. 38, no. 9, pp. 1813–9, Sep. 2010, doi: 10.1177/0363546510366423.
- [35] J. Leeder, C. Gissane, K. van Someren, W. Gregson, and G. Howatson, “Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: a meta-analysis.,” *Br J Sports Med*, vol. 46, no. 4, pp. 233–40, Mar. 2012, doi: 10.1136/bjsports-2011-090061.
- [36] C. Bleakley, S. McDonough, E. Gardner, G. D. Baxter, J. T. Hopkins, and G. W. Davison, “Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise.,” *Cochrane Database Syst Rev*, vol. 2012, no. 2, p. CD008262, Feb. 2012, doi: 10.1002/14651858.CD008262.pub2.
- [37] J. Mendiguchia *et al.*, “A Multifactorial, Criteria-based Progressive Algorithm for Hamstring Injury Treatment.,” *Med Sci Sports Exerc*, vol. 49, no. 7, pp. 1482–1492, Jul. 2017, doi: 10.1249/MSS.0000000000001241.
- [38] T. A. Järvinen, M. Järvinen, and H. Kalimo, “Regeneration of injured skeletal muscle after the injury.,” *Muscles Ligaments Tendons J*, vol. 3, no. 4, pp. 337–45, Oct. 2013.
- [39] T. Hotfiel *et al.*, “Nonoperative treatment of muscle injuries - recommendations from the GOTS expert meeting.,” *J Exp Orthop*, vol. 5, no. 1, p. 24, Jun. 2018, doi: 10.1186/s40634-018-0139-3.
- [40] T. A. H. Järvinen *et al.*, “Muscle injuries: optimising recovery.,” *Best Pract Res Clin Rheumatol*, vol. 21, no. 2, pp. 317–31, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.berh.2006.12.004.
- [41] C. M. Bleakley, P. Glasgow, and D. C. MacAuley, “PRICE needs updating, should we call the POLICE?,” *Br J Sports Med*, vol. 46, no. 4, pp. 220–1, Mar. 2012, doi: 10.1136/bjsports-2011-090297.
- [42] M. L. Bayer, S. P. Magnusson, M. Kjaer, and Tendon Research Group Bispebjerg, “Early versus Delayed Rehabilitation after Acute Muscle Injury.,” *N Engl J Med*, vol. 377, no. 13, pp. 1300–1301, Sep. 2017, doi: 10.1056/NEJMc1708134.

- [43] A. Zech, M. Hübscher, L. Vogt, W. Banzer, F. Hänsel, and K. Pfeifer, “Balance training for neuromuscular control and performance enhancement: a systematic review.,” *J Athl Train*, vol. 45, no. 4, pp. 392–403, 2010, doi: 10.4085/1062-6050-45.4.392.
- [44] C. M. Askling, M. Tengvar, O. Tarassova, and A. Thorstensson, “Acute hamstring injuries in Swedish elite sprinters and jumpers: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols.,” *Br J Sports Med*, vol. 48, no. 7, pp. 532–9, Apr. 2014, doi: 10.1136/bjsports-2013-093214.
- [45] C. M. Askling, M. Tengvar, and A. Thorstensson, “Acute hamstring injuries in Swedish elite football: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols.,” *Br J Sports Med*, vol. 47, no. 15, pp. 953–9, Oct. 2013, doi: 10.1136/bjsports-2013-092165.
- [46] T. F. Tyler, B. M. Schmitt, S. J. Nicholas, and M. P. McHugh, “Rehabilitation After Hamstring-Strain Injury Emphasizing Eccentric Strengthening at Long Muscle Lengths: Results of Long-Term Follow-Up.,” *J Sport Rehabil*, vol. 26, no. 2, pp. 131–140, Apr. 2017, doi: 10.1123/jsr.2015-0099.
- [47] S. Malone, A. Owen, B. Mendes, B. Hughes, K. Collins, and T. J. Gabbett, “High-speed running and sprinting as an injury risk factor in soccer: Can well-developed physical qualities reduce the risk?,” *J Sci Med Sport*, vol. 21, no. 3, pp. 257–262, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.jsams.2017.05.016.
- [48] P. Blanch and T. J. Gabbett, “Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player’s risk of subsequent injury.,” *Br J Sports Med*, vol. 50, no. 8, pp. 471–5, Apr. 2016, doi: 10.1136/bjsports-2015-095445.
- [49] J. W. Orchard *et al.*, “The early management of muscle strains in the elite athlete: best practice in a world with a limited evidence basis.,” *Br J Sports Med*, vol. 42, no. 3, pp. 158–9, Mar. 2008, doi: 10.1136/bjism.2008.046722.
- [50] J. Liu, D. Saul, K. O. Böker, J. Ernst, W. Lehman, and A. F. Schilling, “Current Methods for Skeletal Muscle Tissue Repair and Regeneration.,” *Biomed Res Int*, vol. 2018, p. 1984879, 2018, doi: 10.1155/2018/1984879.
- [51] Zati A and Valent A., *Terapia fisica: nuove tecnologie in Medicina Riabilitativa*, 2° edizione. 2017.

- [52] J. Nakano, C. Yamabayashi, A. Scott, and W. D. Reid, “The effect of heat applied with stretch to increase range of motion: a systematic review.,” *Phys Ther Sport*, vol. 13, no. 3, pp. 180–8, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.ptsp.2011.11.003.
- [53] T. A. Garcia, R. C. T. Camargo, T. E. Koike, G. A. T. Ozaki, R. C. Castoldi, and J. C. S. Camargo Filho, “Histological analysis of the association of low level laser therapy and platelet-rich plasma in regeneration of muscle injury in rats.,” *Braz J Phys Ther*, vol. 21, no. 6, pp. 425–433, 2017, doi: 10.1016/j.bjpt.2017.06.007.
- [54] K. Nagata, T. Nakamura, S. Fujihara, and E. Tanaka, “Ultrasound modulates the inflammatory response and promotes muscle regeneration in injured muscles.,” *Ann Biomed Eng*, vol. 41, no. 6, pp. 1095–105, Jun. 2013, doi: 10.1007/s10439-013-0757-y.
- [55] Y.-S. Chan *et al.*, “Using low-intensity pulsed ultrasound to improve muscle healing after laceration injury: an in vitro and in vivo study.,” *Ultrasound Med Biol*, vol. 36, no. 5, pp. 743–51, May 2010, doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2010.02.010.
- [56] E. S. Di Filippo *et al.*, “Neuromuscular electrical stimulation improves skeletal muscle regeneration through satellite cell fusion with myofibers in healthy elderly subjects.,” *J Appl Physiol (1985)*, vol. 123, no. 3, pp. 501–512, Sep. 2017, doi: 10.1152/jappphysiol.00855.2016.
- [57] N. Biggs, D. M. Walsh, and M. I. Johnson, “A comparison of the hypoalgesic effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and non-invasive interactive neurostimulation (InterX(®)) on experimentally induced blunt pressure pain using healthy human volunteers.,” *Neuromodulation*, vol. 15, no. 2, pp. 93–8; discussion 98-9, 2012, doi: 10.1111/j.1525-1403.2011.00394.x.
- [58] P. Romeo, V. Lavanga, D. Pagani, and V. Sansone, “Extracorporeal shock wave therapy in musculoskeletal disorders: a review.,” *Med Princ Pract*, vol. 23, no. 1, pp. 7–13, 2014, doi: 10.1159/000355472.
- [59] A. Zissler *et al.*, “Extracorporeal Shock Wave Therapy Accelerates Regeneration After Acute Skeletal Muscle Injury.,” *Am J Sports Med*, vol. 45, no. 3, pp. 676–684, Mar. 2017, doi: 10.1177/0363546516668622.
- [60] H. McGorm, L. A. Roberts, J. S. Coombes, and J. M. Peake, “Turning Up the Heat: An Evaluation of the Evidence for Heating to Promote Exercise Recovery, Muscle Rehabilitation and Adaptation.,” *Sports Med*, vol. 48, no. 6, pp. 1311–1328, Jun. 2018, doi: 10.1007/s40279-018-0876-6.

- [61] M. Monici *et al.*, “Effect of IR laser on myoblasts: a proteomic study.,” *Mol Biosyst*, vol. 9, no. 6, pp. 1147–61, Jun. 2013, doi: 10.1039/c2mb25398d.
- [62] E. Kon, G. Filardo, B. Di Matteo, and M. Marcacci, “PRP for the treatment of cartilage pathology.,” *Open Orthop J*, vol. 7, pp. 120–8, 2013, doi: 10.2174/1874325001307010120.
- [63] A. G. Via, F. Oliva, M. Spoliti, and N. Maffulli, “Acute compartment syndrome.,” *Muscles Ligaments Tendons J*, vol. 5, no. 1, pp. 18–22, 2015.
- [64] F. Alessandrino and G. Balconi, “Complications of muscle injuries.,” *J Ultrasound*, vol. 16, no. 4, pp. 215–22, Mar. 2013, doi: 10.1007/s40477-013-0010-4.
- [65] B. T. Corona, X. Wu, C. L. Ward, J. S. McDaniel, C. R. Rathbone, and T. J. Walters, “The promotion of a functional fibrosis in skeletal muscle with volumetric muscle loss injury following the transplantation of muscle-ECM.,” *Biomaterials*, vol. 34, no. 13, pp. 3324–35, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.biomaterials.2013.01.061.
- [66] T. Hotfiel *et al.*, “Nonoperative treatment of muscle injuries - recommendations from the GOTS expert meeting.,” *J Exp Orthop*, vol. 5, no. 1, p. 24, Jun. 2018, doi: 10.1186/s40634-018-0139-3.
- [67] B. O. Jeong, D. W. Chung, and J. H. Baek, “Management of calcific myonecrosis with a sinus tract: A case report.,” *Medicine*, vol. 97, no. 38, p. e12517, Sep. 2018, doi: 10.1097/MD.00000000000012517.
- [68] M. C. Papanna, P. Monga, and R. A. Wilkes, “Post-traumatic calcific myonecrosis of flexor hallucis longus. A case report and literature review.,” *Acta Orthop Belg*, vol. 76, no. 1, pp. 137–41, Feb. 2010.
- [69] M. Landolsi and T. Mrad, “Traumatic myositis ossificans circumscripta (MOC).,” *BMJ Case Rep*, vol. 2017, Jul. 2017, doi: 10.1136/bcr-2017-219422.
- [70] J. Ekstrand, C. Askling, H. Magnusson, and K. Mithoefer, “Return to play after thigh muscle injury in elite football players: implementation and validation of the Munich muscle injury classification.,” *Br J Sports Med*, vol. 47, no. 12, pp. 769–74, Aug. 2013, doi: 10.1136/bjsports-2012-092092.
- [71] T. A. Järvinen, M. Järvinen, and H. Kalimo, “Regeneration of injured skeletal muscle after the injury.,” *Muscles Ligaments Tendons J*, vol. 3, no. 4, pp. 337–45, Oct. 2013.
- [72] T. F. Tyler, B. M. Schmitt, S. J. Nicholas, and M. P. McHugh, “Rehabilitation After Hamstring-Strain Injury Emphasizing Eccentric Strengthening at Long Muscle Lengths: Results of Long-Term Follow-Up.,” *J Sport Rehabil*, vol. 26, no. 2, pp. 131–140, Apr. 2017, doi: 10.1123/jsr.2015-0099.

- [73] X. Valle *et al.*, “Muscle Injuries in Sports: A New Evidence-Informed and Expert Consensus-Based Classification with Clinical Application.,” *Sports Med*, vol. 47, no. 7, pp. 1241–1253, Jul. 2017, doi: 10.1007/s40279-016-0647-1.
- [74] Telea Medical, *QMR: Elecsurgery, Physiotherapy, Aesthetic Medicine, Tissue Research. Studi Clinici, Ricerche Universitarie, Pubblicazioni*. Sandrigo (VI): Telea Medical, 2024.
- [75] S. Sella *et al.*, “In-vitro analysis of Quantum Molecular Resonance effects on human mesenchymal stromal cells.,” *PLoS One*, vol. 13, no. 1, p. e0190082, 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0190082.
- [76] Marco Dal Maschio, Marta Canato, Filippo M. Pigozzo, Alberto Cipullo, Gianantonio Pozzato, and Carlo Reggiani, “Biophysical effects of high frequency electrical field (4–64 MHz) on muscle fibers in culture,” *Basic Applied Myology*, vol. 19, no. 1, pp. 49–56, 2009.
- [77] U. di P. Dipartimento di Anatomia e Fisiologia, Telea Electronic Engineering Srl, and Carlo Reggiani, “Effetti di correnti ad alta frequenza e bassa intensità: biostimolazione e rigenerazione cellulare,” in *QMR: Elecsurgery, Physiotherapy, Aesthetic Medicine, Tissue Research. Studi Clinici, Ricerche Universitarie, Pubblicazioni.*, Padova, 2005. [Online]. Available: <https://teleamedical.com/wp-content/uploads/2020/09/Effetti-di-correnti-ad-alta-frequesza.pdf>
- [78] Dott. Giandomenico Babbolin, “Terapia con REXON AGE nella patologia artrosica: Studio Osservazionale,” in *QMR: Elecsurgery, Physiotherapy, Aesthetic Medicine, Tissue Research. Studi Clinici, Ricerche Universitarie, Pubblicazioni.*, Cittadella, 2006. [Online]. Available: <https://teleamedical.com/wp-content/uploads/2020/09/QMR-nella-patologia-artrosica.pdf>
- [79] Dott. Roberto Rossetti, “Risultati ottenuti in terapia antalgico-riabilitativa attraverso l’impiego del Rexion-age.,” in *QMR: Elecsurgery, Physiotherapy, Aesthetic Medicine, Tissue Research. Studi Clinici, Ricerche Universitarie, Pubblicazioni.*, Ferrara, 2008. [Online]. Available: <https://teleamedical.com/wp-content/uploads/2020/09/QMR-in-terapia-antalgico-riabilitativa-attraverso.pdf>
- [80] Dott. Valentin Troebinger, “Esperienza clinica nell’impiego del dispositivo rexon-age,” in *QMR: Elecsurgery, Physiotherapy, Aesthetic Medicine, Tissue Research. Studi Clinici, Ricerche Universitarie, Pubblicazioni.*, Selva di Val Gardena, 2009. [Online]. Available: <https://teleamedical.com/wp-content/uploads/2020/09/QMR-Esperienza-Clinica-Selva-Val-Gardena.pdf>

- [81] Luca Buzzacchera, “La risonanza quantica molecolare in fisioterapia e riabilitazione,” in *QMR: Electrosurgery, Physiotherapy, Aesthetic Medicine, Tissue Research. Studi Clinici, Ricerche Universitarie, Pubblicazioni.*, Zanè, 2017. [Online]. Available: <https://teleamedical.com/wp-content/uploads/2020/09/QMR-Esperienza-Clinica-diretta-e-indiretta.pdf>
- [82] Telea Electronic Engineering S.r.l., *Q-Physio, La nuova frontiera della fisioterapia*. Sandrigo: Telea medical S.r.l., 2023. [Online]. Available: <https://teleamedical.com/wp-content/uploads/2024/03/Catalogo-Q-Physio-2024-ITA-WEB.pdf>