

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**CONTROLLO MOTORIO E ARRAMPICATA SPORTIVA**

Relatore: Prof. Sonia Betti

Laureando: Tamburlin Anna

N° di matricola: 1225179

Anno Accademico 2021/2022

Ai miei genitori e alla mia famiglia,  
per i loro sacrifici.

A Robin,  
per avermi sempre sostenuta.

## INDICE

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduzione</b>                                         | <b>2</b>  |
| <b>Capitolo 1</b>                                           |           |
| <b>Arrampicata sportiva</b>                                 |           |
| 1.1 La storia                                               | 3         |
| 1.2 Caratteristiche peculiari della disciplina              | 4         |
| 1.3 Discipline olimpiche                                    | 8         |
| 1.4 Regolamento agonistico                                  | 10        |
| <b>Capitolo 2</b>                                           |           |
| <b>Controllo motorio</b>                                    |           |
| 2.1 Gerarchia del controllo motorio                         | 12        |
| 2.2 Attivazione del sistema sensorimotorio nell'arrampicata | 15        |
| <b>Capitolo 3</b>                                           |           |
| <b>Parametri biomeccanici dell'arrampicata</b>              |           |
| 3.1 Parametri biomeccanici della prestazione                | 17        |
| <b>Capitolo 4</b>                                           |           |
| <b>Patologie nell'arrampicata</b>                           |           |
| 4.1 Lesione delle pulegge flessorie delle dita              | 26        |
| 4.2 Fattori di rischio                                      | 29        |
| 4.3 Diagnosi e terapia                                      | 31        |
| <b>Capitolo 5</b>                                           |           |
| <b>Proposta di allenamento</b>                              |           |
| 5.1 Esercizi per lo sviluppo della forza e della resistenza | 34        |
| 5.2 Lo stretching                                           | 38        |
| <b>Capitolo 6</b>                                           |           |
| <b>Conclusioni</b>                                          | <b>43</b> |
| <b>Bibliografia</b>                                         | <b>45</b> |

## **Introduzione**

Il presente elaborato ha lo scopo di definire i parametri biomeccanici e neurofisiologici che determinano la prestazione nell'ambito dell'arrampicata sportiva e le metodologie di allenamento consone al fine di ridurre il rischio di infortunio. Dopo una presentazione dell'evoluzione storica della disciplina, dei suoi aspetti tecnici e regolamentari, sono stati presi in analisi diversi studi scientifici relativi al controllo motorio e alle caratteristiche biomeccaniche del movimento di raggiungimento e prensione, che rappresenta la base su cui si fonda la disciplina, soffermandosi sullo studio della forza e della resistenza, qualità determinanti per il successo dell'esercizio. Sono state successivamente descritte le principali tipologie di infortunio che si verificano nell'arrampicata, accompagnate da una analisi approfondita dei fattori di rischio e delle caratteristiche fisiopatologiche che contraddistinguono la lesione delle pulegge flessorie, che rappresenta l'infortunio statisticamente più ricorrente nell'arrampicatore. Tali informazioni sono state esaminate e integrate al fine di redigere, una proposta pratica di allenamento incentrata sulla muscolatura della mano e delle dita che permetta la massimizzazione della prestazione e una riduzione del rischio di infortunio nell'arrampicata sportiva.

# CAPITOLO 1

## ARRAMPICATA SPORTIVA

### 1.1 La storia

L'arrampicata sportiva è un insieme di discipline che derivano dall'alpinismo, nate negli anni '60 come metodi di allenamento per lo svolgimento delle spedizioni in alta montagna (Gnaccarini, 2015); tuttavia, con il passare degli anni si è sviluppato un forte senso di competizione che ha portato gli amanti dell'arrampicata su roccia a cimentarsi in vere e proprie sfide di destrezza che esaltassero le difficoltà della parete nonché le abilità degli atleti stessi. Il punto cardine che ha determinato il passaggio dalla pratica dell'alpinismo all'arrampicata è stato un mutamento culturale che ha portato con sé, dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale, una necessità di libertà dalle regole che governavano fino ad allora la pratica dell'alpinismo in montagna. Si viene quindi a sviluppare un nuovo approccio alla scalata, che non si fonda più sui principi dell'esplorazione di nuovi territori e la conquista di nuove vette, fatta di dedizione e sofferenza, ma su un innalzamento del limite personale e sulla competizione, con l'intento di trarne il massimo piacere possibile. Questo nuovo approccio deriva da un alpinismo aggressivo del secondo dopoguerra, che brama la fuga da una società opprimente, da un'industrializzazione che soffoca la libera espressione di sé e omologa ogni essere umano (Cabiati, 2004). A partire quindi dagli anni '60 del '900 si assiste alla cesura completa che separa definitivamente l'arrampicata e l'alpinismo, dando vita al "periodo sportivo". È l'epoca del *free climbing* e del *clean climbing*, che presuppongono rispettivamente il mancato utilizzo di attrezzature artificiali per progredire in parete o per riposare e l'assenza di chiodi per l'assicurazione. Naturalmente, l'impossibilità di utilizzare ausili artificiali durante la scalata non impedisce all'atleta di avere a disposizione corde, rinvii, moschettoni per questioni di sicurezza in caso di caduta (Gnaccarini, 2015).

A questo punto l'obiettivo dell'atleta non sta più nel raggiungere la vetta, ma nel concludere una parete; ci si libera dall'obbligo di dover raggiungere la cima a tutti i costi e si ricerca l'avventura.

Nella seconda metà degli anni '60 si viene a sviluppare anche il cosiddetto "sassismo", precursore del boulder moderno, caratterizzato dall'arrampicata su dei grossi massi

attraverso movimenti molto estetici, che segnano l'alba di una nuova disciplina (Gnaccarini, 2015).

La vera nascita della arrampicata in quanto disciplina sportiva, avviene però a partire dagli anni '80, proprio in Italia, dove vengono organizzate le prime competizioni a Bardonecchia (Sportroccia 1985) e Arco di Trento (Sportroccia 1986, Rock Master 1987-1988), alle quali partecipano atleti provenienti da tutta Europa, che segnano il principio della attuale regina degli sport di montagna.

Come riportato sul sito ufficiale Federazione Italiana di Arrampicata sportiva, nel 1987, sulla scia del successo della competizione Rock Master, Andrea Mellano e il giornalista Emanuele Cassarà fondano la Federazione Arrampicata Sportiva Italiana (FASI), riconosciuta dal CONI e 22 anni dopo, sempre sotto la responsabilità italiana, nasce la International Federation of Sport Climbing (IFSC), segnando l'inizio di uno sviluppo rapido e massiccio della disciplina in tutto il mondo.

## **1.2 Caratteristiche peculiari della disciplina**

L'arrampicata sportiva è una disciplina di carattere individuale che consiste in una progressione verticale senza l'ausilio di mezzi artificiali. Viene praticata a scopo agonistico, amatoriale o ludico sia su pareti artificiali sia su pareti rocciose ed è obbligatoriamente caratterizzata dall'utilizzo di protezioni di sicurezza come corda, rinvii e materassi paracadute, nel caso dei tracciati indoor o bouldering, che garantiscano l'incolumità degli atleti.

Le modalità in cui avviene l'assicurazione possono essere di due tipologie differenti, e richiedono obbligatoriamente il coinvolgimento di una seconda persona. La prima tipologia prevede un'assicurazione con corda dall'alto chiamata comunemente *top rope*, mentre la seconda richiede un'assicurazione con corda dal basso detta *lead*. L'arrampicata in *top rope* prevede una sicura in cui la corda è ancorata al di sopra dell'atleta durante tutto lo svolgimento della parete e richiede la presenza di un compagno che dal basso fornisca e recuperi gradualmente la corda evitando che, in caso di caduta, l'atleta rischi di incorrere in infortuni. L'arrampicata con un tipo di sicura *lead*, invece, prevede che l'atleta porti con sé la corda opportunamente assicurata all'imbrago e che la agganci di volta in volta, tramite l'ausilio dei rinvii, ai chiodi disposti in vari punti della parete; ciò significa che in questo tipo di sicura l'atleta è sempre al di sopra dell'ultima posizione di ancoraggio

e quindi in caso di caduta la lunghezza del volo è molto maggiore rispetto all'utilizzo della tecnica *top rope*.

Ogni itinerario (via) deve offrire, inoltre, gli appositi ancoraggi dove l'atleta possa inserire la corda durante la progressione.

L'attività agonistica per i soggetti normodotati vede la suddivisione degli atleti in otto categorie di età, di cui una pre-agonistica: Under 8 (promozionale), Under 10, 12, 14, 16, 18, 20 e Senior.

Inoltre, l'attività agonistica è praticabile anche da due categorie di atleti con disabilità intellettive-relazionali (“Specialclimbing”) e con disabilità visive e motorie (“Paraclimbing”).

L'arrampicata sportiva per soggetti con disabilità nasce all'inizio degli anni 2000 come attività promozionale all'interno delle scuole, ma viene successivamente inserita all'interno delle competizioni nazionali organizzate dalla FASI, permettendo in questo modo il riconoscimento da parte del CIP (Comitato Italiano Paralimpico) della Federazione Italiana di Arrampicata Sportiva.

Le disabilità degli atleti rientranti nella categoria Paraclimbing sono a loro volta sottoposte ad una classificazione che prevede : per le disabilità visive la categoria B1 caratterizzata da soggetti completamente ciechi, B2 caratterizzata da soggetti ipovedenti con acuità visiva di 1/20 e/o campo visivo di 5° e B3 caratterizzata da soggetti ipovedenti con acuità visiva di 1/10 e/o un campo visivo di 20°; mentre per le disabilità motorie si riscontrano la categoria AU1 relativa ai soggetti amputati al di sopra del gomito, AU2 relativa ad amputati al di sotto del gomito e AL1 per atleti con amputazione completa di entrambi gli arti inferiori e AL2 per gli atleti amputati di una gamba sia al di sopra che al di sotto del ginocchio.

Ogni tracciato nell'arrampicata è classificato in base alla difficoltà tecnica del percorso e alle caratteristiche ambientali che ne determinano il livello di complessità, questo per facilitare la scelta di una determinata parete da scalare e per prevenire una situazione in cui l'arrampicatore si debba confrontare con dei passaggi o delle situazioni che vanno al di là delle sue capacità, come dichiarato da Gino Buscaini all'interno della prefazione di “Guide of Italian Mountains”.

Le varie tabelle che negli anni sono state sviluppate per la classificazione della difficoltà di una parete diventano quindi uno strumento per trasmettere le informazioni corrette e

creare una cultura di montagna che si fondi prima di tutto sulla sicurezza, e solo in seguito uno strumento per definire le performance dei più impavidi.

Attualmente la classificazione più utilizzata è quella della UIAA (International Union of Alpine Association) riportata nella Tabella 1, la quale è composta da simboli romani dall'I al VI seguiti da un "+" o un "-". Essa è divenuta un punto di riferimento, tuttavia, nel corso degli anni le abilità degli scalatori si sono molto evolute e di conseguenza anche i gradi di difficoltà hanno subito delle modificazioni; In particolare, è stato inserito all'interno della classificazione il settimo grado (VII) oltre il quale la prestazione raggiunge livelli estremi (Mandelli e Angriman, 2016).

| <i>DETAILS OF UIAA GRADES OF DIFFICULTY IN ROCK FREE CLIMBING</i> |                                      |                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>GRADE UIAA</b>                                                 | <b>LOWER LEVEL (-)<br/>UPPER (+)</b> | <b>GRADE UIAA READING</b>                      | <b>DESCRIPTION OF UIAA GRADES</b>                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>I</b>                                                          | -<br>+                               | <b>First Grade</b>                             | It is the easiest kind of scramble. Frequent use of hands is required to support balance and hand and foot-holds must be trusted                                                                                                                                                         |
| <b>II</b>                                                         | -<br>+                               | <b>Second Grade</b>                            | Here real climbing begins, that requires the movement of a limb at a time and a proper setting of the movements. Holds and supports are still abundant                                                                                                                                   |
| <b>III</b>                                                        | -<br>+                               | <b>Third Grade</b>                             | The rock structure, already more steep or even vertical, offers holds and supports the rarest and can already require the use of force. Typically the passages are not solved yet in an obliged manner                                                                                   |
| <b>IV</b>                                                         | -<br>+                               | <b>Fourth Grade</b>                            | Holds and supports become more rare and / or small. It requires a good climbing technique applied to the various rock structures (chimneys, crevices, corners, etc.) as well as a certain degree of specific training                                                                    |
| <b>V</b>                                                          | -<br>+                               | <b>Fifth Grade</b>                             | Holds and supports are very rare and small. The climbing becomes delicate (slabs, etc.) or hard (by opposition or interlocking in slits and chimneys). Usually requires the prior examination of the passage                                                                             |
| <b>VI</b>                                                         | -<br>+                               | <b>Sixth Grade</b>                             | Handholds and/or supports are small and arranged so as to require a particular combination of movements well studied. The rocky structure may force you to climb very delicate or very hard where overhanging. Requires special training and considerable strength in the arms and hands |
| <b>VII</b>                                                        | -<br>+                               | <b>Seventh Grade</b>                           | There are handholds and / or supports very small and widely spaced. It requires a sophisticated training with particular development of finger strength, skill in balancing and grip techniques                                                                                          |
| <b>VIII, IX, X, XI .....</b>                                      | -<br>+                               | <b>Eighth, ninth, tenth eleventh, etc. ...</b> | From VIII the difficulties increase to the current extreme level (XI c / a)                                                                                                                                                                                                              |
| <b>(The scale is open)<br/>.....</b>                              | -<br>+                               | <b>(The scale is open)<br/>.....</b>           | .....                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

**Tabella 1** Scale di difficoltà nell'arrampicata su roccia della UIAA. Immagine tratta da Mandelli e Angriman (2016).

Alla fine degli anni '80 emerge una nuova classificazione denominata "French Scale" (Tabella 2) ideata da Francois Labande, che si ispira alla classificazione della UIAA, ma sostituisce i numeri romani con i numeri arabi e rimpiazza i simboli "+" e "-" con le lettere



“a”, “b” e “c”, ad indicare con maggiore precisione le difficoltà di ogni passaggio (Mandelli e Angriman, 2016).

| UIAA GRADES | FRENCH SCALE GRADE | UIAA GRADES | FRENCH SCALE GRADE | UIAA GRADES | FRENCH SCALE GRADE |
|-------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|
| I           | 1                  | IV +        | 4b                 | VI +        | 6a/6a +            |
| II          | 2                  | V-          | 4c                 | VII-        | 6a +               |
| III         | 3a                 | V           | 4c/5a              | VII         | 6b/6b +            |
| III +       | 3b                 | V +         | 5b                 | VII +       | 6b + / 6c          |
| IV-         | 3c                 | VI-         | 5c                 | VIII-       | 6c +               |
| IV          | 4a                 | VI          | 5c/6a              | VIII        | 7a                 |

**Tabella 2** Scala di difficoltà francese. Immagine tratta da Mandelli e Angriman (2016).

Naturalmente, essendo le scale di difficoltà una misura della performance è normale che ogni scalatore o alpinista cerchi di creare la propria; infatti, al di là delle classificazioni della UIAA e di Labande che sono le maggiormente utilizzate in Europa, ogni nazione ha provveduto a definire la sua specifica scala. Tra queste, spicca quella americana denominata anche “Yosemite Decimal System” la quale suddivide i terreni di scalata in differenti categorie basate sulla tecnica che deve essere utilizzata per ognuno di essi. In principio questo sistema prevedeva la suddivisione in 5 classi alla cui ultima era affidato un punteggio decimale fino a 5.9. Tuttavia, in seguito all’evoluzione delle tecniche d’arrampicata, il punteggio decimale è arrivato fino a 5.15 (Mandelli e Angriman, 2016). Le suddette classificazioni riflettono le difficoltà tecniche del percorso di scalata, e pertanto non tengono conto di molti aspetti che risultano essere fondamentali da considerare nella scelta di una parete; a questo proposito nasce un ulteriore metodo di classificazione: la “Global Difficulties Scale”, avanzata dall’international Union of Alpine Association, che si propone di valutare fattori relativi alla lunghezza della via, al posizionamento dei chiodi, alla possibilità di ritiro, al grado di isolamento, alla discesa, ai pericoli oggettivi, alla ricerca del percorso e ad altri fattori che determinano in modo importante il successo dell’ascesa.

Questo nuovo criterio utilizza le seguenti lettere: F (facile), PD (leggermente difficile), AD (abbastanza difficile), D (difficile), TD (molto difficile), ED (estremamente difficile), EX (eccezionalmente difficile), che non corrispondono ai criteri di classificazione della UIAA Scale precedentemente analizzata, ma danno una definizione generale delle caratteristiche della via presa in considerazione, anche se attualmente risulta essere preferita la versione americana che sostituisce alle lettere i gradi di difficoltà globale dall’I al VII (Tabella 3) (Mandelli e Angriman, 2016).

| <b>GLOBAL COMMITMENT AMERICAN SCALE (BIG WALL)</b> |                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>I grade</b>                                     | Normally, the ascent takes a few hours, is easily accessible and in a short time, but it may have some short technical difficulty, not complicated                                                                                  |
| <b>II grade</b>                                    | The climb takes about half a day and has some technical difficulties                                                                                                                                                                |
| <b>III grade</b>                                   | The climb has a technical section that, to be overcome, takes about a day and presents average technical difficulties higher than those found in previous grades                                                                    |
| <b>IV grade</b>                                    | The climb has a technical part that takes a whole day for overcoming it, and usually the more difficult pitch of the route is not less than "5.7" (YDS scale)                                                                       |
| <b>V grade</b>                                     | The very long climb, big wall style, usually requires a day and a half to be completed, a bivouac on the wall and the more challenging pitch is generally equal to "5.8" or higher (YDS scale)                                      |
| <b>VI grade</b>                                    | The climb (big wall), to be completed, lasts for several days and has many difficult lengths of free and/or aid climbing                                                                                                            |
| <b>VII grade</b>                                   | Exasperation of previous grade, where the climb, to be completed, requires a long time, more than the previous one, has even more challenging lengths of free and/or aid climbing and requires an approach similar to an expedition |
| -----                                              | -----                                                                                                                                                                                                                               |

**Tabella 3** Scala americana di impegno globale. Immagine tratta da Mandelli e Angriman (2016).

Per quanto riguarda la classificazione delle difficoltà nella disciplina boulder, è possibile utilizzare sia la classificazione proposta da Labande (più comune) sia la classificazione americana, tuttavia la performance espletata in questa specialità risulta essere molto differente rispetto all'arrampicata in parete, di conseguenza è stata sviluppata da John Gill la "B Scale", appositamente pensata per rappresentare la difficoltà di completamento dei vari blocchi da affrontare e basata sul numero di ripetizioni che un determinato passaggio richiede per il completamento del percorso, che però attualmente non viene utilizzata.

### **1.3 Discipline olimpiche**

La prima delle specialità dell'arrampicata sportiva è detta "lead" che, ispirata alle scalate in falesia, consiste in un progressivo aumento della difficoltà durante la via, che raggiunge livelli al limite delle capacità umane. Ad ogni presa nel percorso verticale viene affidato un punteggio che può essere distinto in base al fatto che essa venga impugnata totalmente o venga solo utilizzata per cercare di raggiungere la successiva senza successo; inoltre, la scalata deve essere effettuata in un tempo massimo di 6 minuti. Il massimo punteggio si raggiunge inserendo la corda che assicura l'atleta all'interno dell'ultimo moschettone presente alla fine del percorso se si utilizza l'assicurazione con corda dal basso, oppure attraverso il posizionamento di entrambe le mani a livello dell'ultima presa presente in parete per dimostrare di essere in una condizione di equilibrio sufficiente, nel caso si utilizzi un'assicurazione con corda dall'alto.

Un'altra specialità particolarmente gettonata negli ultimi anni, nel campo dell'arrampicata sportiva, è il bouldering che si ispira al "sassismo" degli anni '60 ed è caratterizzato dallo svolgimento di pochi movimenti selezionati, tendenzialmente 7 o 8,

che permettano all'atleta di raggiungere con entrambe le mani il punto più alto del percorso, che in questo caso si trova ad un'altezza massima di 4 metri. La partenza prevede che l'atleta si disponga con tutti e quattro gli arti sulle prime prese del tracciato. La peculiarità di suddetta disciplina sta nel fatto che non è richiesto l'utilizzo dell'imbrago e dell'assicurazione tramite corda e rinvii, in quanto le altezze contenute permettono il solo utilizzo dei materassi protettivi alla base del tracciato; inoltre, date le dimensioni ristrette del percorso, richiede uno sforzo molto breve ma decisamente intenso rispetto alle altre discipline che si sviluppano su lunghezze molto superiori. Durante le competizioni le prestazioni vengono valutate dai giudici osservando quanti tentativi sono stati svolti dall'atleta per raggiungere la presa finale (top) con entrambe le mani, compito che deve essere ultimato in un tempo massimo di 4-5 minuti a seconda del regolamento della competizione. All'interno del tracciato di gara è presente anche una presa denominata "zona intermedia" che se raggiunta permette all'atleta di acquisire un ulteriore punteggio, sempre in base al numero di tentativi effettuati per raggiungerla.

L'ultima specialità dell'arrampicata è la "speed" ovvero la disciplina di velocità, che consiste nel dover completare nel minor tempo possibile un tracciato di difficoltà medio-bassa. La scalata si svolge su un muro di arrampicata dell'altezza di 15 metri, come voluto dal regolamento della IFSC, attraverso l'utilizzo di un'assicurazione dall'alto che per motivi di comodità attualmente è svolta da mezzi automatici che permettono all'atleta di concentrarsi esclusivamente sulla prestazione di velocità. I muri su cui vengono svolte le competizioni di speed sono inoltre forniti di un sistema di cronometraggio che viene arrestato dai concorrenti una volta arrivati alla fine del percorso.

Attualmente l'arrampicata sportiva è entrata a far parte delle discipline olimpiche, con esordio proprio nelle scorse Olimpiadi di Tokyo 2020 che si sono svolte però, in seguito alla pandemia, nel 2021. Dato il giovane debutto alle Olimpiadi il Comitato Internazionale Olimpico ha deciso, per questa prima edizione, di disporre una sola medaglia per l'arrampicata, imponendo così l'istituzione della combinata olimpica. Essa è caratterizzata dall'esecuzione di tutte e tre le specialità sopracitate per evitare di andare a penalizzare, tramite l'inserimento di alcune discipline a discapito di altre, gli atleti che le praticano. I concorrenti in gara devono competere, quindi, su tutte e tre le discipline partendo dallo speed, seguita dal boulder e infine dalla lead, e la vittoria va all'atleta in grado di eseguire la migliore prestazione in tutte.

#### **1.4 Regolamento agonistico**

Come riportato dal regolamento agonistico fornito dalla Federazione Italiana di Arrampicata Sportiva, le gare di specialità lead si svolgono con regole diverse in base alle categorie: per le categorie under 10 e under 12 è obbligatoria l'arrampicata in top rope; mentre invece per le categorie dalla under 14 alla under 20 è obbligatorio eseguire l'arrampicata da primo di cordata (*lead*). Per quanto riguarda le competizioni finali nazionali, per le categorie Under 10 e Under 12 sono previste due prove flash e una terza prova flash in cui viene registrato il tempo di salita e la classifica finale viene stilata sulla base del calcolo della media geometrica delle posizioni equalizzate ottenute da ogni atleta nei vari itinerari. Per quanto riguarda le categorie dalla Under 14 alla Under 20 è prevista una qualifica flash che viene anch'essa valutata sulla base della media geometrica delle posizioni equalizzate di ogni concorrente. In caso di pari merito viene decretato vincitore l'atleta con il miglior piazzamento in qualifica durante la via finale. La dimostrazione delle vie flash che vengono eseguite durante le competizioni è fornita agli atleti mediante dei video precedentemente registrati e condivisi su piattaforme digitali o direttamente forniti in loco.

Le gare di boulder giovanile prevedono per ogni categoria un minimo di sei e un massimo di 12 problemi da risolvere. Di norma il massimo numero di movimenti consentiti è 10 e la presa finale deve essere obbligatoriamente posta ad una altezza tale per cui, una volta raggiunta, l'atleta non si trovi al di sopra dei 3 metri rispetto ai materassi di protezione. Tutte le competizioni prevedono il raduno degli atleti che, senza la dimostrazione del percorso, devono eseguire un numero di tracciati differente a seconda della categoria, con il minor numero di tentativi sia per raggiungere il top che la zona intermedia. Per quanto riguarda la disciplina speed, i tracciati di gara devono essere inediti per tutti i concorrenti. L'altezza del muro varia a seconda della categoria in gara, infatti, per le categorie Under 10, Under 12 e Under 14 l'altezza massima consentita è di 10 metri, mentre invece per le categorie superiori l'altezza prevista è di 15 metri. È necessario disporre di un sistema di cronometraggio automatico che viene sistematicamente controllato da un giudice appositamente indicato, il quale ha la facoltà di far ripetere la prova agli atleti qualora ci fossero delle complicanze. La partenza viene data da un segnale acustico azionato dallo starter entro due secondi dal "pronti".

È fondamentale comprendere appieno le caratteristiche regolamentari dell'arrampicata sportiva e conoscerne le radici storiche al fine di cogliere, nei capitoli successivi, il contesto specifico nel quale vengono sviluppate ipotesi, studi ed analisi riferiti a determinati aspetti della prestazione sportiva. È necessario capirne l'evoluzione da un punto di vista ideologico quanto da un punto di vista tecnico per poter iniziare ad immergersi nella vera essenza di questo sport che si è visto protagonista di una crescente popolarità negli ultimi cinquant'anni. Tale popolarità ha infatti portato molti ricercatori a condurre degli studi per esaminare sotto tutti i punti di vista, compresi quello biomeccanico, neurofisiologico e fisiopatologico, quali fossero le caratteristiche proprie di questo sport. Saranno suddetti aspetti ad essere analizzati all'interno di questo elaborato nei seguenti capitoli, per delineare un profilo completo e attendibile della disciplina.

## CAPITOLO 2

### CONTROLLO MOTORIO DELLA MANO

#### 2.1 Gerarchia del controllo motorio

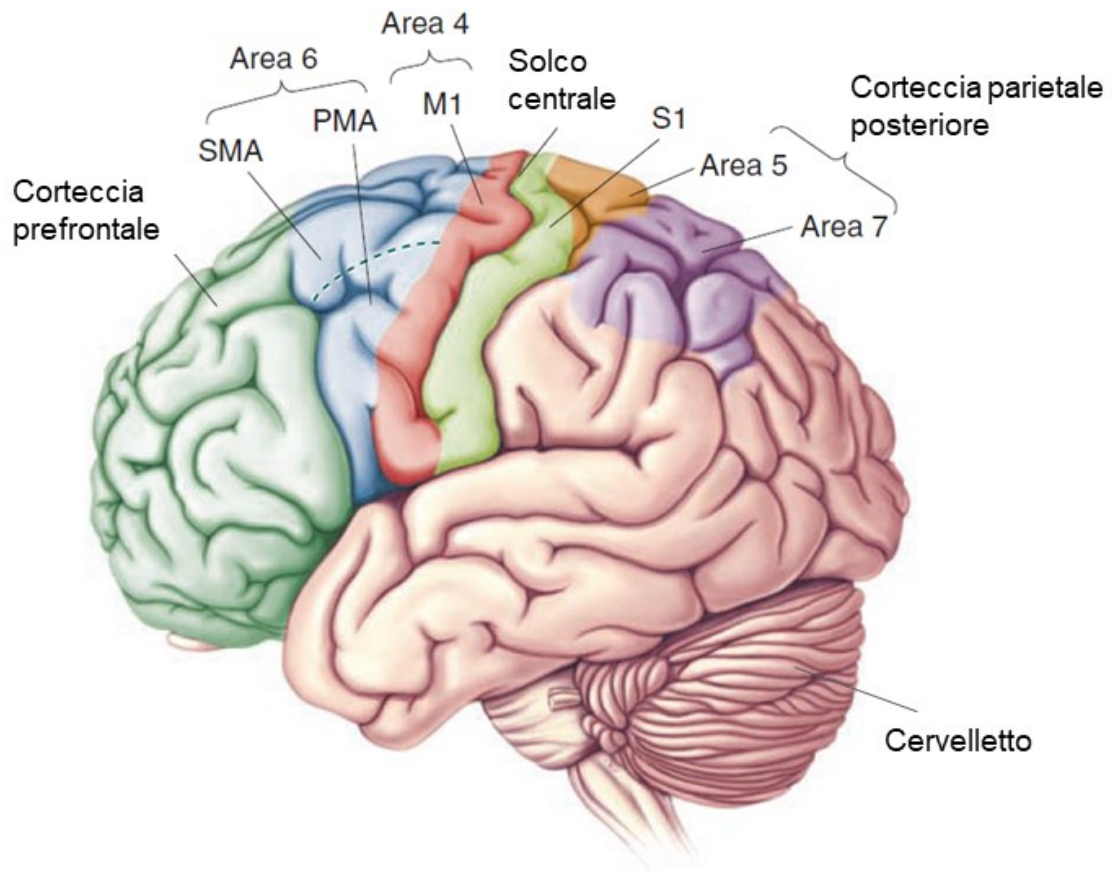
La mano è di certo uno dei segmenti corporei maggiormente utilizzati nella quotidianità di un essere umano, per interagire con l'ambiente esterno, esprimersi tramite la gestualità, dimostrare affetto, esprimere la propria creatività, fino alle necessità primarie come il nutrirsi e alle attività quotidiane come il vestirsi, il lavarsi, l'intimità sessuale e l'interazione con i simili. In questa serie di situazioni, in cui l'essere umano interagisce con l'ambiente circostante, il movimento è reso possibile dall'attivazione di una complessa rete neuronale che coinvolge diverse strutture poste a vari livelli gerarchici, incaricate dell'attivazione muscolare dei settori corporei interessati nell'azione programmata.

Il controllo volontario dei muscoli del corpo è affidato ad una divisione peculiare del sistema nervoso centrale. Il sistema motorio è caratterizzato da un'organizzazione gerarchica e parallela che vede alla base il sistema spinale, contenente circuiti neuronali deputati alla mediazione di riflessi e movimenti automatici di tipo ritmico; a livello centrale vi è il tronco encefalico, composto da diversi centri di elaborazione organizzati in due importanti sistemi: sistema ventro-mediale e sistema dorso-laterale. Il primo è a sua volta caratterizzato dalla suddivisione in diverse vie, rispettivamente via vestibolo-spinale, tetto-spinale, reticolo-spinale, le quali sono implicate nel controllo della postura e integrano informazioni visive, vestibolari e somatosensitive. Il secondo sistema, invece, risulta composto dalla via rubrospinale e dalla via corticospinale, le quali sono implicate nel controllo dei muscoli distali degli arti importanti per i movimenti finalizzati, specialmente quelli della mano e del braccio. All'apice del controllo motorio troviamo il sistema corticale, caratterizzato dalla suddivisione della corteccia encefalica in aree deputate all'organizzazione, alla scelta, all'apprendimento di un determinato movimento. A questo livello avviene anche l'integrazione di informazioni sensitive provenienti dalle vie ascendenti, necessarie per l'attuazione dei meccanismi di *feedback* e *feedforward* che governano la corretta esecuzione dell'azione. Le principali aree coinvolte nel controllo motorio sono: l'area motoria primaria, l'area premotoria e l'area associativa frontale, le quali sono connesse ad altre strutture corticali da cui ricevono informazioni utili al fine

di compiere il movimento (Bear, 2016) (Figura 1). Nel controllo motorio sono tuttavia coinvolte anche altre strutture incaricate di apportare maggiore precisione nel controllo della postura e dei movimenti: il cervelletto e i gangli della base. Il cervelletto è fondamentale nel coordinamento temporale delle sequenze che costituiscono i movimenti complessi, nella verifica del movimento eseguito rispetto al movimento progettato dalla corteccia, ed è responsabile dei vari aggiustamenti online in seguito a tale verifica. I gangli della base sono connessi con il talamo e con la corteccia cerebrale e svolgono un'importante funzione di selezione del movimento desiderato, impedendo ad altre azioni di sovrapporsi a quella identificata come corretta. L'input principale che porta all'attivazione della corteccia motoria primaria, e di conseguenza al movimento, deriva dalla corteccia associativa frontale e parietale, le quali integrano diverse informazioni provenienti da altre regioni cerebrali. La prima racchiude due aree: l'area motoria supplementare (SMA) e la corteccia premotoria (PMA). L'area motoria supplementare è importante nelle sequenze comportamentali di azioni ben apprese, nell'organizzazione di movimenti in sequenze motorie complesse che rispettino un preciso piano temporale e nella pianificazione del movimento. La corteccia premotoria è incaricata, invece, del controllo motorio sotto un aspetto più cognitivo, legato dunque alla presa di decisione e allo svolgimento di compiti visuo-motori associativi, e dell'apprendimento di movimenti sequenziali. In particolare, l'area premotoria si occupa di definire lo scopo generale dell'atto, il modo in cui può essere eseguito e la segmentazione temporale di questo nei movimenti elementari che lo compongono (Bear, 2016).

La corteccia premotoria e motoria supplementare sono entrambe coinvolte nella scelta di uno specifico movimento o di una sequenza, ma si diversificano nel contributo di stimoli esterni (che caratterizza la corteccia premotoria) e interni (che coinvolge maggiormente l'area motoria supplementare) nel processo di scelta. La corteccia parietale posteriore, invece, riceve afferenze somatosensoriali, visive e propriocettive che la informano sulla posizione del corpo nello spazio in modo tale che le sia possibile creare un modello di azione che verrà successivamente inviato all'area associativa frontale. Una volta scelto il movimento da compiere, attraverso l'attività della corteccia prefrontale e del lobo parietale superiore, la pianificazione del movimento avviene a livello dell'area motoria supplementare e dell'area premotoria, le quali integrano il programma motorio con ulteriori informazioni provenienti dal talamo e dei gangli della base.

Tutte le informazioni elaborate fino ad ora a livello corticale vengono poi inviate alla corteccia motoria primaria, adibita all'apprendimento e al mantenimento delle abilità motorie e incaricata della coordinazione dell'attività muscolare la quale, attraverso la via laterale, provvede all'esecuzione del movimento (Bear, 2016).



**Figura 1** Rappresentazione delle principali aree corticali implicate nel controllo motorio. Immagine modificata da Bear (2016).

Il circuito di aree corticali qui descritte alla base del controllo motorio è implicato anche nel movimento di raggiungimento e prensione, una delle azioni compiute più di frequente dall'uomo, in quanto permette a quest'ultimo di entrare in contatto con l'ambiente che lo circonda e di agire su di esso. Di rilevanza per la presente trattazione, il movimento di raggiungimento e prensione è anche ampiamente utilizzato nell'arrampicata sportiva. Per quanto appaia un'azione semplice da svolgere, esso è il frutto di una complessa attivazione neuronale che richiede il processamento di informazioni sensoriali, propriocettive e visive



permettendo una regolazione fine del movimento, a partire dalla sua pianificazione fino al completamento dell'azione.

## **2.2 Attivazione del sistema sensorimotorio nell'arrampicata**

L'arrampicata è una disciplina che richiede un'attività fisica intensa e che richiede una plasticità strutturale e funzionale del sistema nervoso; tuttavia, le conoscenze che ad oggi possediamo sull'attività neurale che questa attività implica sono ancora molto ridotte. Uno studio di Carius et al. (2020) si è concentrato per l'appunto sull'indagine delle modifiche nell'attività neurale che si verificano durante la pratica della disciplina. In particolare, i ricercatori hanno testato 13 arrampicatori di livello *advanced*, ai quali è stato richiesto di eseguire per sei volte e con 20 secondi di pausa tra ogni prova due tracciati di arrampicata su una parete boulder di difficoltà differente: una via di difficoltà semplice e una via di difficoltà moderata. L'indagine dell'attività cerebrale è avvenuta attraverso l'utilizzo della spettroscopia funzionale nel vicino infrarosso (fNIRS), una tecnica di neuroimaging non invasiva che permette la misurazione dell'attività neurale durante il movimento. Tale tecnica ha permesso di analizzare le variazioni nella concentrazione dell'emoglobina ossigenata (Hb) e dell'emoglobina deossigenata (HHb), le cui variazioni rappresentano un indice della modificazione nell'attività cerebrale delle aree studiate. I risultati ottenuti durante la via di difficoltà semplice hanno evidenziato un aumento della concentrazione di emoglobina ossigenata e una riduzione dell'emoglobina deossigenata in particolare nella corteccia premotoria, motoria supplementare, motoria primaria, associativa somatosensoriale e a livello del giro sopra marginale in entrambi gli emisferi cerebrali. Nell'esecuzione della via di difficoltà moderata sono state riscontrate le stesse variazioni, ad eccezione della corteccia associativa somatosensoriale destra che non ha presentato variazioni rispetto allo stato basale. Suddetti risultati ci dimostrano che non ci sono differenze significative di attivazione delle aree cerebrali basate sulla difficoltà della via percorsa; tuttavia, è stata registrata una attivazione corticale inferiore nelle aree della corteccia premotoria, corteccia motoria supplementare e corteccia motoria primaria negli atleti più avanzati che hanno partecipato allo studio, suggerendo una correlazione tra la diminuzione dell'attivazione corticale e un livello di esperienza maggiore determinati dall'acquisizione automaticizzata del movimento (attuata dalla corteccia motoria

primaria) e una minore pianificazione fine del movimento (attuata dall'area motoria supplementare e premotoria).

È però fondamentale ricordare l'importanza di un'altra struttura coinvolta in modo notevole nell'arrampicata sportiva: il cervelletto; l'arrampicata, infatti, richiede oltre alla forza e alla resistenza muscolare anche l'integrazione delle informazioni posturali utili al mantenimento dell'equilibrio e alla coordinazione (Lin e Kuo, 2017).

## CAPITOLO 3

### PARAMETRI BIOMECCANICI DELL'ARRAMPICATA

#### 3.1 Parametri biomeccanici della prestazione

L'arrampicata è uno sport che richiede lo sviluppo di un livello di forza molto elevato, così come la resistenza muscolare per sostenere un impegno prolungato, e pertanto richiede un programma di allenamento che si concentri soprattutto su tali caratteristiche fondamentali per la prestazione.

È importante sapere però che l'arrampicata non coinvolge soltanto gli arti superiori, ma richiede un ingente sforzo anche da parte degli arti inferiori e del tronco, che in sinergia contribuiscono al mantenimento dell'equilibrio durante i movimenti e permettono di ridurre lo stress applicato alle strutture della parte superiore del corpo. Tale riduzione dello stress è dovuta in particolar modo ai piedi, che sono la seconda struttura corporea che prende contatto con le prese durante l'ascesa, e fornisce una spinta verticale notevole a favore delle braccia.

Ciò nonostante, sia la forza che la resistenza muscolare devono essere allenate in particolare a livello dei muscoli flessori del carpo e delle dita, in quanto responsabili primari dell'ascesa in parete, considerando anche una serie di fattori estranei alla sola capacità fisica dell'atleta, ovvero la tipologia di presa, l'inclinazione della parete e il suo grado di difficoltà.

L'analisi di parametri riguardanti lo sviluppo della forza e il grado di endurance che la muscolatura riesce ad esprimere durante un esercizio di arrampicata è utile non solo per monitorare i progressi della performance dell'atleta, ma anche per determinare il livello di ogni arrampicatore e capire la disciplina in cui è specializzato.

Per quanto riguarda la distinzione della specialità a cui appartengono gli atleti, Stien et al. (2019) hanno posto la loro attenzione su un parametro fin ora non utilizzato nell'ambito dell'arrampicata, ovvero il *rate of force development* (RFD), che rappresenta la capacità dei soggetti di sviluppare la massima forza nel minor tempo possibile, e dunque permette di misurare l'espressione della forza esplosiva. Questo parametro è stato selezionato sulla base di un'attenta riflessione che ha portato gli studiosi a chiedersi se effettivamente lo studio della forza massima, fino ad oggi utilizzato, fosse attendibile per determinare la categoria di appartenenza degli atleti presi in analisi; Sapendo infatti che

l'arrampicata è uno sport che richiede lo sviluppo di numerosi picchi di forza rapidi ed intervallati, è naturale pensare che sia più efficace utilizzare un test che permetta di rilevare la capacità di un soggetto di esprimere questi picchi anziché un test che permetta di analizzarne in generale la capacità di forza. Dunque, lo studio si è incentrato sull'analisi dell'RFD, senza tuttavia escludere dall'indagine il picco di forza e la forza massima che forniscono in ogni caso delle preziose informazioni sulla prestazione. L'analisi si è svolta attraverso quattro tipologie di test:

- 1- una trazione isometrica con presa completa;
- 2- una trazione isometrica con presa affidata all'estremità delle dita;
- 3- una trazione dinamica con presa affidata all'estremità delle dita;
- 4- un test intermittente.

I primi tre esercizi prevedevano l'utilizzo di un sensore di forza collegato al terreno e ad un imbrago indossato dai soggetti in analisi. L'utilizzo di questi strumenti aveva lo scopo di indagare l'RFD, la forza massima e il picco di forza sviluppato da 31 arrampicatori amatoriali, di cui 16 appartenenti alla categoria boulder e 15 alla categoria lead, posta l'ipotesi che gli atleti della sezione boulder avrebbero ottenuto risultati superiori ai lead. Tale ipotesi è stata avanzata sulla base delle caratteristiche della disciplina, che prevede degli spostamenti rapidi e una durata complessiva del percorso molto breve (30 secondi – 1 minuto) rispetto alla durata di una competizione lead che può protrarsi anche oltre i 5 minuti. I risultati hanno infatti confermato la migliore capacità di esprimere forza massimale ed esplosiva nei soggetti appartenenti alla categoria boulder rispetto alla lead. Questo esito trova riscontro anche da uno studio sulle differenze nell'espressione di forza tra le due categorie di arrampicatori di Fanchini et al. (2013) nel quale, attraverso un test di massima contrazione volontaria su un gruppo di 20 soggetti, è emersa una differenza sostanziale nella forza sviluppata tra le due categorie, con una forza nettamente superiore per gli arrampicatori della sezione boulder in entrambe le prese testate: *open crimp* e *crimp*.

A tal proposito, al fine di comprendere i metodi adottati negli studi riportati all'interno del capitolo, è fondamentale descrivere le tipologie di prese che caratterizzano l'arrampicata sportiva. Le prese più utilizzate sono tre: la *open crimp*, la *crimp* e la *slope*. La prima è caratterizzata dall'utilizzo di 4 dita (escluso il pollice) e da una iperestensione delle falangi distali; la seconda è pressoché identica alla prima con la differenza che il

pollice si trova a contatto con l'indice per creare una forza maggiore; infine, la terza presa è caratterizzata da una flessione di tutte le articolazioni interfalangee. Le prese *crimp* sono indicate per impugnature molto piccole per ottimizzare l'area di contatto tra la punta delle dita e la superficie, mentre la presa *slope* è solitamente utilizzata su impugnature più profonde che permettono l'adesione della mano su una superficie più ampia.

L'ultimo test intermittente descritto nella ricerca di Stien et al. (2019), invece, è stato eseguito per cercare una distinzione disciplinare basata sull'endurance della muscolatura dell'avambraccio; questo consisteva nel partire da una posizione seduta con una flessione al gomito di 90° e una presa *open crimp*, e prevedeva una contrazione di 7 secondi al 60% della forza massimale isometrica alternati a 3 secondi di riposo, fino all'insorgere dell'affaticamento.

La previsione era di ottenere una maggiore resistenza specifica a livello della muscolatura dell'avambraccio per la categoria lead, sempre in riferimento alle tempistiche richieste dalla disciplina. Tuttavia, contrariamente a quanto ipotizzato dagli studiosi, i risultati non hanno evidenziato alcuna differenza rilevante nella resistenza tra i due gruppi analizzati; ciò ha fatto scaturire una serie di interessanti considerazioni rispetto alla ragione che avrebbe portato a questo esito. Fryer et al. (2015) hanno ipotizzato che tale conclusione fosse dovuta ad un tempo ristretto di lavoro che non avrebbe lasciato modo di mettere in luce le differenze effettive nell'espressione di resistenza delle due classi di atleti, che sarebbero invece emerse con un abbassamento della percentuale della massima forza isometrica e un prolungamento del tempo di contrazione. Secondo Vigoroux et al. (2006), invece, l'esito poteva dipendere dal fatto che i soggetti presi in considerazione fossero degli arrampicatori amatoriali e che quindi sarebbe stato più probabile riscontrare evidenti differenze andando a comparare le prestazioni di atleti professionisti. A mio avviso, tenendo conto delle caratteristiche peculiari delle due discipline, è ragionevole pensare che entrambe le ipotesi sull'esito del test intermittente possano essere corrette, poiché da un lato è chiaro come soggetti che praticano questo sport a livello amatoriale non siano effettivamente specializzati in una disciplina piuttosto che nell'altra, e di conseguenza non riescano a produrre delle variazioni muscolari fisiologiche e metaboliche tali da sottolineare una così netta distinzione; dall'altro lato è pur vero che chi pratica con maggiore frequenza la disciplina lead, con una contrazione protratta più a lungo, avrebbe avuto modo di dimostrare un minore sforzo nell'esecuzione della prova. Nella categoria

lead, infatti, si ha un impegno muscolare maggiore a livello ossidativo, mentre nella categoria boulder si ha un impegno orientato principalmente a livello anaerobico lattacido, e dunque le modificazioni fisiologiche conseguenti ad un allenamento prevalente nella disciplina lead avrebbero potuto portare ad un esito favorevole nel test di endurance.

Per quanto riguarda invece la distinzione tra atleti professionisti e ricreazionali, uno studio di Ozimek et al. (2017) ha messo in luce, attraverso una serie di test relativi al livello di forza e di endurance, delle differenze importanti tra le categorie di atleti *élite* e *advanced*, al fine di determinare quali fossero le caratteristiche che identificano un atleta di alto livello. Innanzitutto, è fondamentale sapere che le diciture “*élite*” e “*advanced*” vengono assegnate agli atleti in base alla loro capacità di eseguire vie di grado più o meno elevato; in particolare, la categoria *advanced* è competente in percorsi dal grado 7+ fino al grado 8 della UIAA Scale, mentre invece la categoria *élite* è capace di eseguire vie di grado superiore all’8 fino al 12+ della UIAA Scale.

Le prime differenze indagate nello studio di Ozimek et al. (2017) riguardano le caratteristiche antropometriche relative al peso, alla massa grassa e all’altezza del soggetto: attraverso la plicometria è stata misurata la densità corporea di ogni atleta (6 *advanced* e 14 *élite*) e successivamente è stata usata l’equazione di Siri per determinare la massa grassa. I risultati di questi test antropometrici hanno stabilito un’altezza media superiore, una maggiore massa magra, una minore percentuale di grasso e un minor peso, oltre ad una minore circonferenza vita e del polpaccio negli atleti di *élite* rispetto agli *advanced*. Da un punto di vista della forza, invece, sono stati eseguiti due differenti test: il primo consisteva nella prensione verticale su una sporgenza di 2,5cm di spessore per 3 secondi con il massimo peso possibile attaccato ad una imbragatura e la presa richiesta prevedeva l’utilizzo di quattro dita (senza il pollice) alla larghezza delle spalle (Figura 2, immagine a sinistra); il secondo test prevedeva invece l’esecuzione di una trazione verticale su una barra circolare con lo scopo di portare il mento al di sopra di essa, sempre mantenendo il massimo peso possibile attaccato all’imbragatura (Figura 2, immagine a destra). Il primo test permetteva di analizzare la forza relativa, ovvero veniva considerata la forza in relazione al peso corporeo dell’atleta e al peso che esso aveva sollevato con l’imbragatura, mentre invece il secondo test forniva informazioni generali riguardo alla forza assoluta dei muscoli delle braccia.



**Figura 2** Test di forza delle dita (immagine a sinistra) e test di forza delle braccia (immagine a destra). Immagine tratta da Ozimek et al. (2017).

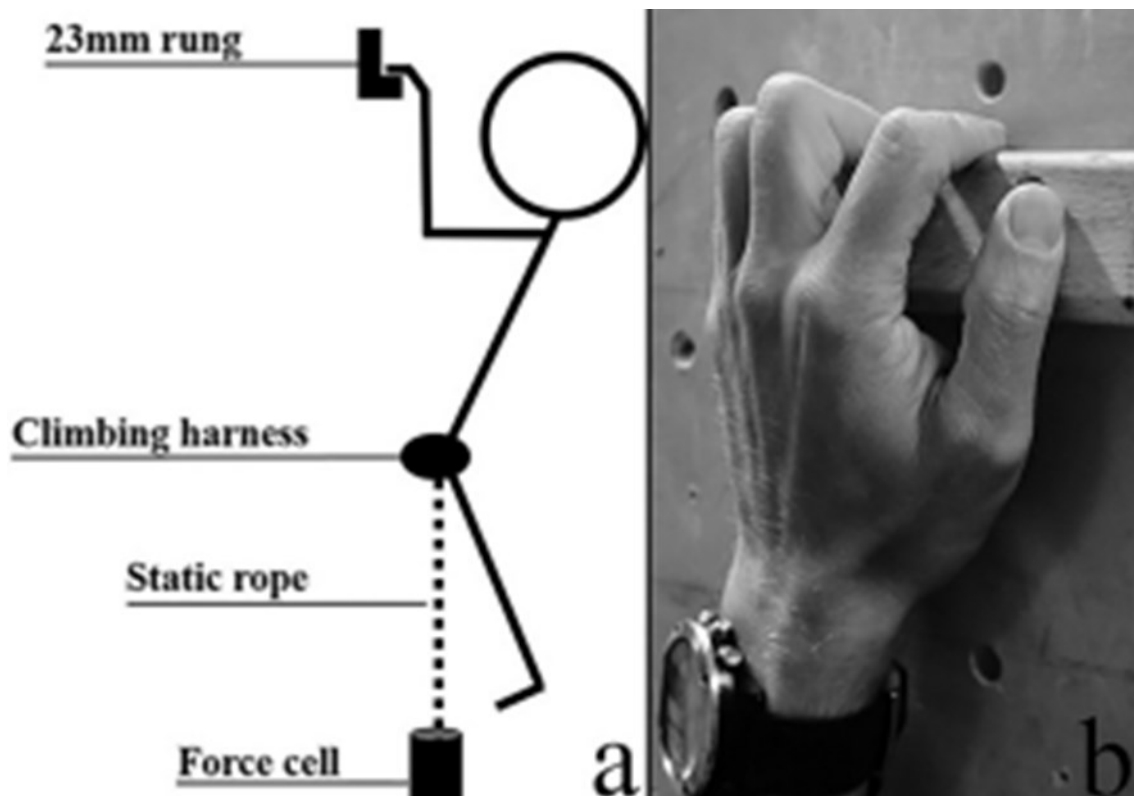
I risultati di suddette analisi hanno descritto un maggiore livello di forza relativa delle dita e delle braccia negli arrampicatori della categoria *élite* rispetto agli *advanced*; la forza relativa, infatti, è un dato determinante per ottenere risultati considerevoli in una disciplina che richiede, per il successo della prova, la sconfitta della forza di gravità. Gli atleti che si cimentano nella scalata, soprattutto di pareti di grado elevato come una parete 8b-8c, devono spostare il peso del loro corpo contro la gravità che determina il primo ostacolo della disciplina; è questa la ragione per cui una minore percentuale di grasso e un minore peso corporeo favoriscono, affiancati dallo sviluppo di una forza molto elevata da parte dei muscoli degli arti superiori, la prestazione. Infine, lo studio ha voluto indagare se ci fossero delle considerevoli differenze anche per quanto riguarda l'endurance della muscolatura degli arti superiori eseguendo dapprima un test di prensione su una sporgenza di 2,5 e 4 centimetri e successivamente un test sulle trazioni per misurare la resistenza alla fatica. Nel primo caso l'atleta doveva disporsi con una presa a quattro dita (senza il pollice) sulla sporgenza e, mantenendo gli arti superiori ben distesi, rimanere in tale posizione fino al punto in cui non fosse più in grado di resistere alla fatica. Nel secondo caso, all'atleta era richiesto di eseguire il maggior numero di trazioni possibili

fino all'insorgenza dell'affaticamento. I risultati dei test hanno mostrato che, analogamente alla forza, gli atleti della classe *élite* hanno un livello di resistenza alla fatica maggiore rispetto alla categoria *advanced* e un alto livello di resistenza alla forza nelle braccia, un requisito essenziale per acquisire un livello di performance elevato.

Sulla stessa linea si è sviluppato lo studio di Stien et al. (2021), in cui gli autori analizzano le caratteristiche che distinguono atleti di *élite* da atleti *advanced* e *intermediate*. In particolare, il loro scopo era capire quale fosse il test più affidabile per determinare il *rate of force development* (RFD) dei vari atleti, investigando se fosse necessario un tempo maggiore o un tempo minore di contrazione per effettuare una discriminazione di categoria attendibile. Sono stati presi in analisi 57 arrampicatori amatoriali, con un'abilità minima pari al livello 6b, e sono stati divisi nelle tre categorie *élite*, *advanced* e *intermediate*. Anche in questo caso sono stati analizzati l'altezza, il peso e la massa grassa dei partecipanti, i quali sono stati poi sottoposti a 15 minuti di riscaldamento ad intensità da lieve a moderata su una parete boulder. Il test prevedeva lo svolgimento di una trazione su una presa di 2,3 cm utilizzando una *half crimp grip*, fino ad avere il gomito flesso a 90 ° (Figura 3); tale posizione doveva essere mantenuta per circa un secondo e successivamente i ricercatori incoraggiavano gli atleti a eseguire il più velocemente possibile, e con la maggiore forza possibile, una trazione completa.

La forza esercitata veniva misurata utilizzando un sensore di forza attaccato al terreno e ai partecipanti tramite una corda e una imbragatura. Erano previsti tre tentativi con tre minuti di pausa tra uno e l'altro, e veniva considerata la prova che produceva il più alto picco di forza. I risultati hanno dimostrato significative differenze tra la categoria *élite* e le altre due, con un RFD notevolmente maggiore del gruppo *élite*; inoltre, sono state identificate delle differenze relative al tempo di raggiungimento del picco di forza, che è risultato minore per la classe *élite*, con un picco più intenso di forza e un tempo maggiore di mantenimento rispetto ai membri della categoria *advanced* e *intermediate*. Nessuna differenza particolare è stata invece rilevata tra la categoria *advanced* e *intermediate*. I suddetti risultati hanno confermato le ipotesi iniziali degli studiosi, i quali avevano predetto che gli *élite* climbers avrebbero prodotto un maggiore RFD rispetto alle altre due categorie.



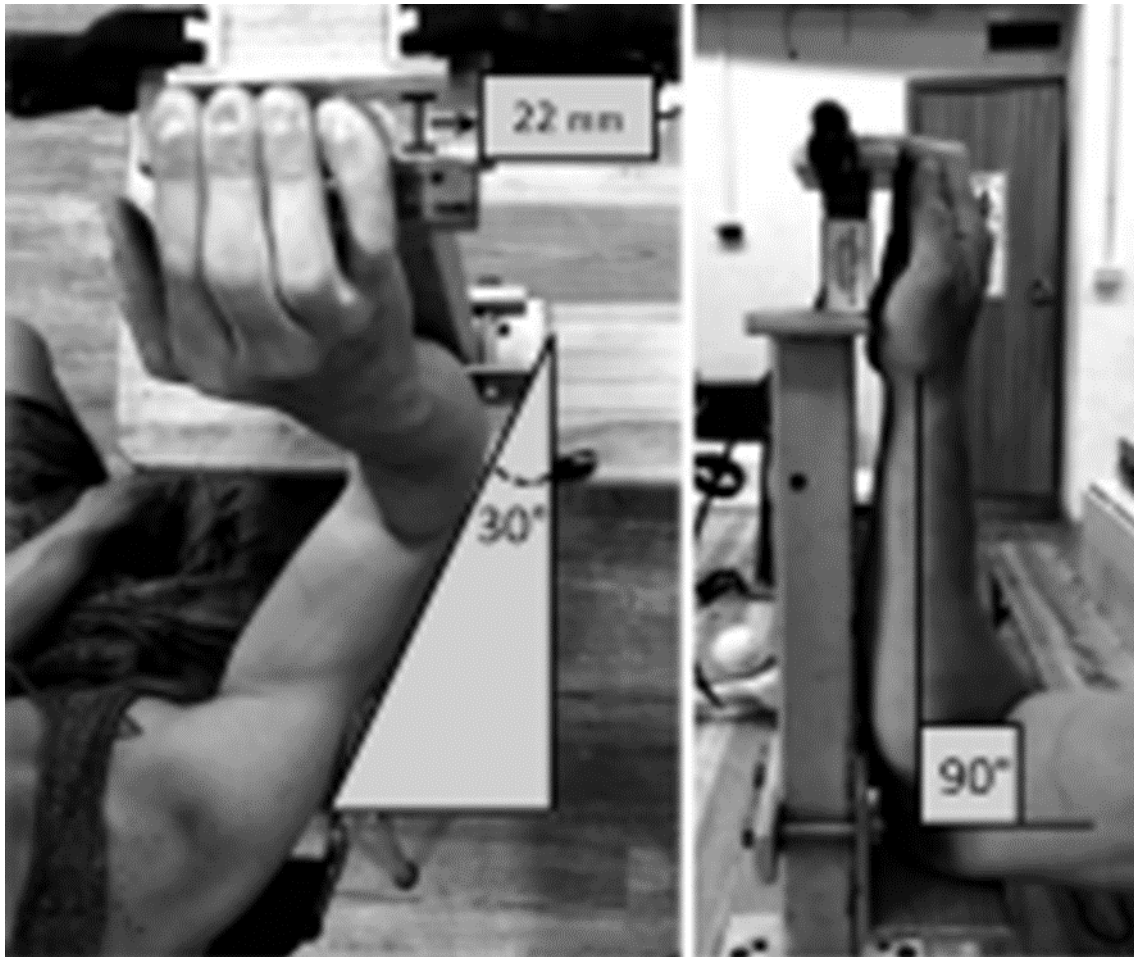


**Figura 3** a) Impostazione del test di trazione isometrica; b) Presa half crimp. Immagine tratta da Stien et al. (2021).

Per quanto riguarda invece il tempo necessario ad acquisire un risultato attendibile per l'RFD, si è notato che l'output del picco di forza con un breve periodo di contrazione porta ad una discriminazione tra i gruppi molto più dettagliata rispetto ad una contrazione prolungata, in quanto un atleta di alto livello è in grado di reclutare in un tempo minore il massimo numero di fibre, e quindi di esprimere la massima forza possibile rispetto ad atleti di livello inferiore. Di conseguenza i dati rilevati con test che richiedono tempi prolungati in contrazione, benché vadano a promuovere una discriminazione attendibile tra i livelli di forza massima delle tre categorie di atleti, rendono difficile la distinzione tra i livelli di forza relativa che rappresenta il dato più rilevante ai fini della ricerca.

Le stesse caratteristiche della prestazione sono state indagate anche da Marcolin et al. (2022) con lo scopo di identificare quali fossero le determinanti della prestazione nell'ambito dell'arrampicata sportiva, attraverso lo studio di 34 arrampicatori di differenti livelli (*intermediate* e *advanced*) e di 15 non arrampicatori. Lo scopo dello studio era quello di comparare la forza e la resistenza dei muscoli flessori delle dita di arrampicatori e non arrampicatori e di predirne il livello di abilità sulla base di test di forza e di

resistenza alla fatica. La forza delle dita è stata misurata attraverso un meccanismo che prevedeva una *open crimp grip* a livello di un supporto di metallo e l'appoggio del gomito a 90° sul tavolo sul quale era installato il dispositivo (Figura 4). Il protocollo di indagine prevedeva 15 minuti di riscaldamento prima dell'esecuzione dei test e questi dovevano essere svolti con l'arto dominante.



**Figura 4** Meccanismo per la misurazione della forza dei muscoli flessori delle dita. Immagine tratta da Marcolin et al. (2022).

Il primo test consisteva nell'esecuzione di 4 contrazioni massimali isometriche della durata di 5 secondi ciascuna con degli intervalli di 30 secondi tra una e l'altra.

Dopo un recupero di 4 minuti ai soggetti era richiesta l'esecuzione di 3 contrazioni massimali isometriche con un dinamometro idraulico e successivamente si passava all'esecuzione dei test di endurance i quali erano suddivisi in due prove: la prima consisteva nell'esecuzione di 20 contrazioni isometriche massimali della durata di 5 secondi ciascuna con intervalli di 5 secondi tra l'una e l'altra e dopo 4 minuti una

sospensione su una barra di legno con una presa *open crimp* e gomiti a 90° fino all'insorgenza di affaticamento; conclusa la prima prova senza recupero, la seconda prova prevedeva una reiterazione delle 20 contrazioni isometriche massimali.

Dallo studio di Marcolin et al. (2022) è emerso che il test per la forza delle dita proposto attraverso le 4 contrazioni massimali isometriche, rispetto a un test più generico come quello eseguito al dinamometro per la forza della mano, risulta più predittivo del livello di performance nelle contrazioni massimali isometriche. Il test dinamometrico non permette infatti di identificare differenze di alcun genere fra gli arrampicatori del gruppo *advanced* e *intermediate*, di conseguenza l'utilizzo di test specifici per la forza delle dita permette una discriminazione del livello prestativo più ragionevole. Inoltre, vengono confermate le tesi avanzate da Stien et al. (2021) sulla necessità di utilizzare nei test di forza tempi di esecuzione brevi per via di una differenza negli adattamenti fisiologici degli arrampicatori in base alla loro disciplina e livello di prestazione, che permette di eseguire una distinzione di livello più affidabile rispetto all'utilizzo di tempi prolungati. Per quanto concerne invece i dati relativi ai test di endurance Marcolin et al. (2022) hanno evidenziato una riduzione della forza tra il trial 1 e 2 minore negli atleti della categoria *advanced* rispetto alla categoria *intermediate* e non climbers a riprova del fatto che l'analisi della resistenza alla fatica è predittiva del livello di performance dell'arrampicatore. In conclusione, in seguito all'analisi degli studi sopra riportati, è possibile affermare che nel panorama dell'arrampicata sportiva le qualità richieste interessano in egual modo sia le caratteristiche antropometriche dell'atleta, sia la sua capacità di forza e di resistenza alla fatica; in particolar modo è necessario che egli abbia la capacità di sviluppare un'elevata percentuale di forza nel minor tempo possibile a carico della muscolatura flessoria delle dita e del carpo e una elevata resistenza alla fatica negli stessi distretti muscolari per via dello sforzo prolungato dettato dalla disciplina. Inoltre, è necessaria una elevata capacità di reclutamento delle fibre muscolari che risulta essere determinante non solo nella distinzione delle discipline che caratterizzano l'arrampicata sportiva, ma anche e soprattutto nella capacità di esprimere forza nel minor tempo possibile.

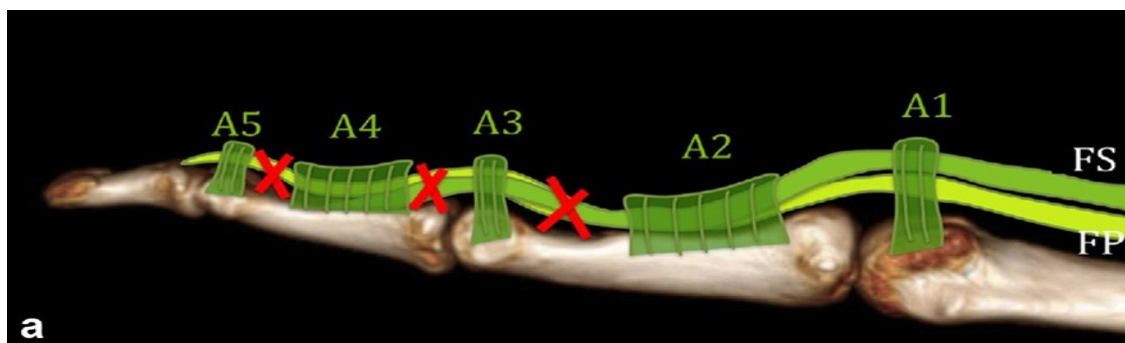
## CAPITOLO 4

### PATOLOGIE NELL'ARRAMPICATA

#### 4.1 Lesione delle pulegge flessorie delle dita

Come in tutti gli sport, anche nell'arrampicata i rischi di infortunio sono presenti e coinvolgono diversi distretti corporei. Uno dei più ricorrenti è quello all'anca, dovuto alla caduta da altezze elevate (Woollings et al., 2015), insieme agli infortuni dell'avambraccio, del gomito, dei piedi e delle mani; tuttavia, all'apice della classifica troviamo le lesioni alle pulegge flessorie delle dita della mano (Schöffl et al. 2003) con un'incidenza del 30% rispetto ai traumi su altri distretti (Miro et al. 2021). Come affermato da Lapegue et al. (2015) le pulegge flessorie sono delle strutture legamentose anulari posizionate nella parte palmare delle dita allo scopo di mantenere in sede il muscolo flessore profondo e superficiale delle dita, indicati all'interno della Figura 5 con le rispettive sigle FP e FS. Ogni dito è caratterizzato dalla presenza di 5 pulegge disposte in punti differenti: A1, A2, A3, A4 e A5 (Figura 5) le quali sono situate rispettivamente sulla porzione distale del metacarpo, sulla parte anteriore della prima falange, sulla testa della falange prossimale, sulla parte anteriore della seconda falange e sulla testa della seconda falange. Inoltre, come evidenziato dalle croci rosse presenti nella Figura 5, le pulegge A2, A3, A4 e A5 si alternano a delle pulegge crociate che vanno a rinforzare l'adesione dei tendini alle falangi delle dita (Lapegue et al. 2015).

Tali strutture sono di fondamentale importanza per il corretto trasferimento della forza sviluppata dai muscoli flessori profondo e superficiale delle dita; di conseguenza un'eventuale lesione porterebbe a un deficit di forza, nonché ad un ridotto range articolare, che andrebbero ad incidere sulla prestazione (Schöffl e Schöffl, 2006).



**Figura 5** Sistema flessorio delle quattro dita. Immagine tratta da Lapegue (2015).

Prima di analizzare nel dettaglio le lesioni alle pulegge, è bene delineare una panoramica delle tipologie di infortuni che si verificano nell'arrampicata che, a livello della mano, possono essere suddivisi in traumi chiusi e aperti. I traumi chiusi si riferiscono principalmente a infortuni del tendine del muscolo flessore digitale superficiale, strappo di un muscolo lombricale e avulsione dell'inserzione distale del flessore digitale profondo. Questi infortuni sono meno comuni rispetto alla lesione delle pulegge, ma rappresentano comunque una piccola porzione dei possibili infortuni dell'arrampicata e sono tutti caratterizzati da un'iperestensione forzata rispettivamente della falange prossimale, dei muscoli lombricali e del flessore distale profondo, con le dita flesse. I traumi aperti invece coinvolgono, oltre ai tendini dei muscoli flessori, i vasi sanguigni e i nervi; questi ultimi sono tuttavia meno comuni nell'arrampicata sportiva (Lapegue et al., 2015).

Gli eventi traumatici più frequenti a carico dell'arrampicatore sono dunque le lesioni delle pulegge flessorie e rappresentano un grandissimo limite alla prestazione per via della alterazione della biomeccanica del movimento (Schöffl et al., 2009 a). Nel capitolo precedente abbiamo avuto modo di analizzare diversi studi di Stien et al. (2019) (2021), Fanchini et al. (2013), Ozimek et al. (2017) e Marcolin et al. (2022), i quali ci hanno permesso di delineare un profilo delle qualità biomeccaniche necessarie per una prestazione di alto livello: forza rapida, forza esplosiva, capacità di reclutamento delle fibre muscolari e resistenza. Facendo riferimento a tali aspetti, è naturale capire come la lesione di una struttura come la puleggia, così importante per l'orientamento della forza e il mantenimento in sede dei muscoli più importanti nell'esecuzione di una presa, port all'alterazione dei parametri di forza, resistenza e reclutamento discussi in precedenza. Se le lesioni alle pulegge causano variazioni biomeccaniche, è pur vero che è la biomeccanica stessa del movimento di prensione nell'arrampicata a causare tali lesioni, e ciò genera un circolo causa-effetto ambivalente in cui la lesione e il movimento in sé rappresentano sia la causa che l'effetto. Questa tesi viene confermata da uno studio di Lin et al. (1990) e Schweizer (2001), i quali hanno riscontrato che con l'esecuzione di una presa *open crimp*, effettuata su superfici molto limitate, il carico dell'intero corpo viene distribuito sulle pulegge in modo non uniforme e in una posizione non fisiologica caratterizzata da una flessione di 90° delle falangi prossimali e da una iperestensione delle falangi distali. Questa posizione porta ad esprimere un elevato livello di forza da parte

del flessore profondo delle dita, che ha un braccio di leva aumentato sulla falange prossimale e sulla falange media, e pertanto trasferisce la maggior parte della forza sviluppata a livello delle pulegge A2 e A4. È questa la ragione per cui, in seguito a ripetuti carichi di questa portata, le pulegge A2 e A4 subiscono con frequenza maggiore delle lesioni o delle rotture. Ma qual è la portata del carico? Secondo una ricerca condotta da Miro et al. (2021) le 5 pulegge possiedono rigidità differenti, con una minore deformabilità per A2 e A4 e una maggiore deformabilità per A1, A3 e A5; ciò si traduce nella necessità di applicare un carico maggiore per portare A2 e A4 alla rottura rispetto alle altre pulegge. La suscettibilità delle pulegge deriva dal fatto che un arrampicatore ricreazionale è in grado di imprimere in A2 una forza compresa tra i 380 e i 700 Newton (N) che eccede notevolmente il carico naturalmente sostenibile stimato da Miro et al. (2021) di 431 N. È chiaro quindi come una ripetuta applicazione di carichi eccessivi per il sistema muscolare e legamentoso porti ad una sindrome da sovra uso che sfocia, il più delle volte, nella lesione vera e propria delle strutture. Questa condizione di rischio infortunio è legata alla tipologia di presa che l'atleta utilizza durante l'ascesa; infatti, come riportato da uno studio di Schöffl et al. (2009 a), l'assunzione di una presa *crimp* è legata ad una maggiore incidenza di infortuni alle pulegge rispetto alla presa *slope*, poiché permette di massimizzare il contatto tra la punta delle dita e la superficie della parete, sviluppando la maggiore forza possibile, ma con una distribuzione non uniforme (Lin et al., 1990) (Schweizer, 2001). La forza applicata sulle due pulegge più esposte a lesioni, A2 e A4, differisce notevolmente in base al dito preso in analisi; lo dimostra uno studio di Vigoroux et al. (2008) che chiarisce le ragioni biomeccaniche della distribuzione eterogenea delle forze. Sono stati presi in esame 8 arrampicatori maschi con arto dominante destro e sono stati sottoposti ad un test per la misurazione della forza espressa da ogni dito durante l'esecuzione di una presa *crimp*. La procedura di indagine prevedeva la disposizione degli atleti in posizione seduta, con il braccio abdotto a 90° e l'avambraccio verticale, con il palmo della mano destra adeso ad un sensore di forza e le dita disposte ognuna su un sensore di forza a sé stante. La richiesta era quella di tirare verso il basso i sensori delle dita e mantenere la trazione per sei secondi. Il test ha permesso di risalire alla forza applicata a livello delle pulegge, e i risultati hanno evidenziato una forza media nettamente superiore a livello della puleggia A2 nel dito medio (419,5N) e anulare (276,5N) rispetto alle altre dita, mentre invece per la puleggia

A4 è stata riscontrata nel dito indice (115,7N). Per quanto riguarda A2 le forze maggiori sono state riscontrate per il dito medio e anulare poiché in questi l'angolo tra la puleggia e i tendini flessori è minore rispetto alle altre dita e ne deriva che la forza applicata sulle pulegge è maggiore, in accordo con le equazioni delle forze che agiscono su di esse; inoltre, nella presa *crimp* si ha una fisiologica supinazione del polso che si traduce in un carico maggiore a livello del terzo e del quarto dito. Per quanto riguarda A4, invece, la forza rilevata a livello dell'indice (115,7N) è determinata dal fatto che la falange distale subisce una iperestensione maggiore rispetto alle altre dita a causa della supinazione del polso ma, ciò nonostante, il carico risulta molto inferiore al punto di rottura della puleggia; infatti, come riportato da uno studio di Schöffl et al. (2006), gli infortuni a livello dell'indice sono abbastanza rari in quanto durante l'esecuzione di una presa arcuata viene stabilizzato dal dito medio e dal pollice.

#### **4.2 Fattori di rischio**

Come accennato nel paragrafo precedente, gli infortuni alle pulegge sono determinati dal sovra uso e sono delle patologie progressive e prevedibili (Miro et al. 2021). La loro prevedibilità è determinata dal fatto che esistono alcuni presupposti alla loro insorgenza, di natura intrinseca o estrinseca (Woollings et al., 2015). Secondo una revisione di Woollings et al. (2015) i fattori intrinseci comprendono: sesso, età, anni di esperienza dell'atleta e livello di difficoltà della parete; mentre invece i fattori estrinseci comprendono: specialità dell'arrampicata e volume di arrampicata. Per quanto riguarda i fattori intrinseci è molto difficile trarre delle conclusioni attendibili, in quanto tutti gli studi presi in esame nella revisione erano caratterizzati da popolazioni e metodi di indagine differenti che non hanno permesso di giungere a sviluppare una regola sicura; tuttavia, è stata trovata una relazione positiva tra il livello di difficoltà della parete e l'aumento del rischio di infortunio che si riconduce agli studi di Jones et al. (2008), Neuhof et al. (2011), Wright et al. (2001) e Shahram et al. (2007), i quali hanno osservato una maggiore incidenza di infortuni all'aumentare della difficoltà della via percorsa dagli atleti. Tale considerazione può, a mio avviso, essere relata alla presa utilizzata dagli atleti in quanto, come riportato in precedenza da uno studio di Schöffl et al. (2009 a), all'aumentare della difficoltà diminuisce la superficie a disposizione per la presa ed è quindi necessario massimizzare il contatto delle dita con la parete attraverso una presa

*crimp*. Per quanto concerne i fattori estrinseci, invece, è stata trovata in tutti gli studi analizzati da Woollings et al. (2015) un'incidenza di infortuni maggiore nella disciplina lead rispetto all'arrampicata con assicurazione in *top rope* poiché in quest'ultima, nel caso di caduta per scivolamento, lo spazio percorso verso il basso è notevolmente ridotto e solitamente non costringe gli atleti a tentare di mantenere la presa andando a stressare le pulegge attraverso una contrazione eccentrica. Nella disciplina lead, invece, l'assicurazione viene effettuata dal basso e ciò si traduce in uno spazio di caduta molto ampio che spinge gli atleti a tentare di mantenere la presa per evitare la discesa; in tal modo le pulegge vengono sollecitate eccessivamente da una contrazione eccentrica con l'applicazione del carico di tutto il corpo. In seguito all'analisi presente nella revisione di Woollings et al. (2015), possiamo osservare come siano emerse due condizioni rilevanti nell'insorgenza degli infortuni: la presa *crimp* e la contrazione eccentrica. La presa *crimp* come fattore di rischio è stata analizzata da uno studio di Schöffl et al. (2009 a) che ha preso in analisi 21 dita (14 da uomini e 7 da donne) prese da 10 cadaveri a cui sono stati rimossi i tessuti sottocutanei per esporre il sistema delle pulegge. Le dita sono state successivamente fissate ad un macchinario isocinetico per caricarle ed osservare in quale presa, *crimp* (12 dita) o *slope* (9 dita), si sarebbero verificate delle rotture alle pulegge. I risultati hanno evidenziato che una rottura delle pulegge è stata riscontrata in 13 dita, di cui 7 in A2 e 6 in A4, e che su queste due pulegge nella condizione *crimp* sono state registrate delle forze due volte superiori rispetto alla presa *slope*. Inoltre, è stata riscontrata una maggiore incidenza di infortuni relativi a danneggiamento osseo e avulsioni nel carico con presa *slope* rispetto alla presa *crimp*, per la quale è stata confermata una maggiore incidenza di infortuni alle pulegge.

La relazione tra una contrazione eccentrica e la rottura delle pulegge è stata invece analizzata da Schöffl et al. (2009 b) con un test di carico effettuato su 39 dita provenienti da 10 cadaveri. La procedura prevedeva il collegamento di ogni dito ad un macchinario isocinetico attraverso il quale veniva applicato un carico simulando una contrazione eccentrica e concentrica. I risultati hanno riportato 16 rotture in A2 e 11 in A4; le rotture avvenute nella condizione eccentrica erano associate all'applicazione di una forza nettamente minore rispetto alla condizione concentrica; ciò nonostante, non sono state evidenziate grandi differenze tra le due contrazioni da un punto di vista biomeccanico nelle forze applicate alle pulegge. Un'ulteriore osservazione riguarda la distribuzione



degli infortuni, che nella condizione concentrica erano equamente ripartiti tra le pulegge A2 e A4, mentre nelle contrazioni eccentriche vedevano una prevalenza (59%) sulle pulegge A4. In sintesi, tra i fattori di rischio che determinano la lesione alle pulegge, abbiamo identificato: un elevato livello di difficoltà della parete, la disciplina lead, la presa *crimp* e la contrazione eccentrica; tuttavia, esiste un'altra condizione che determina un aumento del rischio in relazione all'esecuzione di una contrazione eccentrica: la frizione. La frizione è un fenomeno caratterizzato dallo sfregamento tra le pulegge e i tendini dei muscoli flessori, in particolare del flessore profondo, che durante l'estensione delle dita nell'esecuzione di una presa risulta fisiologico e garantisce una forza maggiore (Moor et al., 2008). Uno studio di Moor et al. (2008) ha indagato l'azione di sfregamento attraverso l'analisi di 8 dita appartenenti a due cadaveri; queste sono state collegate ad un macchinario isocinetico per applicare un carico durante la flessione e l'estensione delle dita e determinare le forze di sfregamento che si verificavano nelle due condizioni. I risultati hanno riscontrato che durante l'estensione della falange prossimale, la forza di frizione si somma alla forza che estende la falange poiché i vettori di forza hanno la stessa direzione, mentre invece durante una flessione la forza di frizione viene sottratta alla forza che flette poiché i vettori hanno direzione opposta; ne deriva che, la forza che agisce sulla falange distale durante l'estensione supera quella in flessione. La minor forza di frizione durante la flessione delle dita permette di agevolare la chiusura delle dita; mentre invece la frizione in estensione, seppure sia una condizione fisiologica, può determinare a lungo andare, e con l'applicazione di carichi elevati come quelli richiesti dall'arrampicata, un'usura dei tessuti tendinei e legamentosi.

### **4.3 Diagnosi e terapia**

Le lesioni alle pulegge possono essere suddivise in vari gradi in base alla loro gravità dal 1° al 4° grado.

Ognuno di essi è caratterizzato da diversi livelli di complessità che pertanto richiedono terapie di recupero differenti. La diagnosi, che permette il riconoscimento della gravità della lesione, è possibile attraverso l'utilizzo di risonanza magnetica (MRI) o ultrasuoni. Come riportato da uno studio di Miro et al. (2021) le due modalità diagnostiche differiscono sotto numerosi aspetti. La risonanza magnetica è uno strumento tanto utile quanto costoso, e permette di ottenere un'immagine nitida e di qualità; tuttavia, non è in

grado di fornire un'analisi dinamica e risulta utile solo qualora le lesioni siano visibili con una flessione delle dita non inferiore ai 60°. Gli ultrasuoni, per contro, richiedono spese contenute e permettono la valutazione dinamica del sistema delle pulegge a diversi gradi di flessione, ciò nonostante, possiedono due limiti: l'accuratezza dipende dall'operatore e il trasduttore può limitare la flessione oltre i 60°. Entrambe le procedure diagnostiche hanno lo scopo di esaminare la distanza tra tendine e falangi per accertare eventuali rotture delle pulegge e per determinare se tale distanza è fisiologica oppure patologica. Per quanto riguarda invece la prima visita diagnostica Schöffl et al. (2003) hanno identificato i segni tipici delle lesioni alle pulegge, che si presentano sottoforma di: dolore acuto sotto sforzo, rigonfiamento a livello della falange prossimale e media, ematoma. Nelle lesioni di grado elevato, invece, è possibile osservare un inarcamento delle dita e, qualora fossero coinvolti anche i muscoli lombricali, un deficit nell'estensione dell'articolazione interfalangea prossimale.

La scala di gravità degli infortuni stilata da Schöffl e Schöffl (2006) è composta da 4 livelli:

- Primo grado di lesione che comprende lo strappo di una puleggia senza avulsione ossea;
- Secondo grado che prevede una rottura parziale di A2 o A3;
- Terzo grado di lesione che prevede una rottura completa di A2 o A3;
- Quarto grado di lesione che è caratterizzato da rotture multiple, il più delle volte accompagnate da una lesione dei muscoli lombricali.

La terapia differisce in base alla gravità della lesione e, in particolare, prevede un approccio conservativo per i primi tre gradi di infortunio e un approccio chirurgico per il quarto grado (Schöffl et al., 2003). La terapia conservativa consiste in un periodo di immobilizzazione iniziale di 10-14 giorni accompagnata da una terapia di controllo dell'edema e prevede, dopo 6-8 settimane dall'infortunio, l'inizio delle attività sport-specifiche più semplici come il movimento graduale delle dita coinvolte nell'infortunio e lo svolgimento di allenamento funzionale per il ripristino della qualità del movimento; dopo 3 mesi è possibile iniziare a praticare arrampicata con l'ausilio del tape sportivo. Il *taping* consiste nell'applicazione di un nastro adesivo elastico e resistente a livello delle pulegge compromesse, seguendo la direzione anatomica delle fibre legamentose in modo da aumentare la resistenza di queste strutture; infatti, questa tecnica conservativa permette

l'innalzamento della soglia di rottura delle pulegge con una forza di rottura pari a 500N (Schöffl e Schöffl, 2006). Per quanto riguarda la terapia chirurgica, questa viene utilizzata nelle lesioni di quarto grado e prevede una completa ricostruzione delle pulegge tramite la tecnica "*loop and a half*" ideata dal chirurgo ortopedico James R. Doyle, che consiste nell'asportazione di una parte del tendine del muscolo palmare lungo e nella ricostruzione, tramite esso, della puleggia compromessa. La tecnica di Doyle non è l'unica tecnica esistente, infatti, due studi biomeccanici di Widstrom et al. (1989 a) hanno messo a confronto la tecnica di Doyle con la tecnica Weilby basata sulla sutura della puleggia con inserimento di un innesto tendineo intrecciato alle fibre del legamento. I risultati del confronto hanno evidenziato un migliore recupero funzionale nei pazienti trattati con la tecnica Weilby, ma una maggiore resistenza alla rottura nei pazienti trattati con la tecnica di Doyle. Di conseguenza, ad oggi viene preferito l'utilizzo della tecnica di Doyle in quanto garantisce più efficacemente l'integrità delle pulegge all'applicazione dei carichi tipici dell'arrampicata.

## **CAPITOLO 5**

### **PROPOSTA DI ALLENAMENTO**

#### **5.1 Esercizi per lo sviluppo della forza e della resistenza**

Molto spesso soggetti inesperti che approcciano per la prima volta l'arrampicata sportiva si trovano in difficoltà non tanto per via della tecnica che la disciplina richiede, quanto per la forza e l'adattamento dei tessuti che viene richiesto in particolare a livello degli arti superiori. In questo capitolo andremo a descrivere quali sono gli esercizi da svolgere per promuovere un potenziamento della muscolatura flessoria delle dita e migliorarne la resistenza, con i dovuti accorgimenti per evitare di incorrere negli infortuni alle pulegge. Tendenzialmente per soggetti inesperti si utilizza una programmazione bi-settimanale che prevede una seduta sullo sviluppo della forza, e l'altra sull'acquisizione della tecnica di base per poter svolgere la disciplina. Le sedute iniziali sono molto intense per i principianti, che non hanno alcun adattamento muscolare a questo sport; pertanto, è necessario che una seduta non duri oltre l'ora e mezza per evitare un eccessivo affaticamento. Con l'acquisizione di maggiori adattamenti diventerà naturale aumentare la durata delle sedute di allenamento variandone volume e intensità. Ma perché parliamo di soggetti inesperti e non di soggetti esperti? La risposta è molto semplice: i soggetti che praticano arrampicata già da lungo tempo, indipendentemente dal fatto che utilizzino o meno una tecnica corretta e sicura per l'ascesa, hanno già subito un completo adattamento del tessuto muscolare e cutaneo tale per cui non è necessario lavorare sullo sviluppo della forza e della resistenza da zero come non è più possibile far sì che questi adattamenti siano a basso rischio; in questo caso, è possibile solamente adottare delle strategie di protezione delle zone a rischio e sperare che, con i dovuti accorgimenti, non si incorra in qualche infortunio.

Gli strumenti utili per potenziare e salvaguardare le strutture muscolo-tendinee e legamentose delle mani sono: il trave, la pallina, il muro boulder, gli elastici e la twist bar.

|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Il trave è uno strumento molto utilizzato dagli arrampicatori, ed è caratterizzato da una superficie abbastanza ampia e ricca di prese di differenti misure, alcune molto strette, altre molto comode, che permettono di sviluppare la forza variando la posizione delle mani e quindi lavorando sulla muscolatura delle dita a diverse angolazioni e con l'ausilio di prese differenti.</p>                                                                                                                         |
|    | <p>La pallina è uno strumento sferico di gomma che si trova in commercio con diversi livelli di durezza e che viene molto spesso utilizzato come ausilio nel riscaldamento specifico all'inizio di una seduta allenante.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|   | <p>Il muro boulder, invece, è una parete per l'arrampicata in stile boulder che è particolarmente indicata per iniziare a sviluppare una buona tecnica con pochi movimenti e su una via semplice in quanto, come accennato nel secondo capitolo, queste pareti non si sviluppano in altezza e non richiedono l'assicurazione con la corda; di conseguenza, il principiante ha la possibilità di svolgere le prime ascese in totale sicurezza con il solo ausilio dei materassi di protezione ai piedi del pannello.</p> |
|  | <p>Gli elastici sono degli strumenti utili per creare un carico crescente all'aumentare della contrazione muscolare.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|  | <p>La twist bar è un tubo di gomma che può avere differenti livelli di durezza e che è utile a rinforzare la muscolatura flessoria delle dita e del polso attraverso la sua torsione.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Nell'elenco sotto riportato è possibile consultare gli esercizi specifici utilizzati per il potenziamento dei muscoli flessori delle dita accompagnati da una descrizione dello svolgimento e degli strumenti necessari alla pratica, e da una indicazione generale del numero di serie e ripetizioni da eseguire. Tuttavia, è importante sapere che le proposte sotto riportate non costituiscono un'attività a sé stante, ma fanno parte integrante del programma di allenamento e sono quindi accompagnate da altri esercizi per lo sviluppo della forza e della resistenza di altri distretti muscolari.

- **Flessioni delle dita**

Questo esercizio prevede l'utilizzo della pallina, la quale deve essere scelta sulla base della sua durezza. L'esecuzione consiste nell'impugnare e comprimere la pallina con tutte le dita o con una soltanto a seconda che si voglia lavorare sulla muscolatura flessoria di un dito in particolare o di tutta la mano. L'esecuzione può prevedere una contrazione isometrica oppure una contrazione concentrica. È necessario eseguire 3x15 ripetizioni. La progressione prevede l'utilizzo di una pallina sempre più rigida e la riduzione delle ripetizioni. Questo esercizio viene solitamente utilizzato come riscaldamento specifico dei muscoli flessori prima di una seduta di allenamento, per aumentare la temperatura dei muscoli, aumentare la produzione di liquido sinoviale e favorire in tal modo una maggiore ampiezza di movimento delle articolazioni coinvolte e un aumento della flessibilità di tendini e pulegge (Hochholzer e Schoeffl, 2007).

- **Estensioni delle dita**

Questo esercizio prevede l'utilizzo di appositi elastici in cui inserire le dita della mano ed eseguire delle estensioni mono-dito o di tutte e cinque le dita. L'esecuzione può prevedere una contrazione isometrica oppure una contrazione concentrica. È necessario eseguire 3x15 ripetizioni. La progressione prevede l'utilizzo di elastici progressivamente più rigidi e una riduzione delle ripetizioni. Questo esercizio viene solitamente utilizzato come riscaldamento dei muscoli estensori delle dita prima di una seduta di allenamento per aumentare la temperatura dei muscoli, aumentare la produzione di liquido sinoviale e favorire in tal modo una maggiore ampiezza di movimento delle articolazioni coinvolte e un aumento della flessibilità di tendini e pulegge (Hochholzer e Schoeffl, 2007). È fondamentale eseguire questo esercizio in quanto l'arrampicata prevede un sovraccarico dei muscoli flessori, e un contemporaneo indebolimento dei muscoli estensori causerebbe

una perdita di stabilità delle articolazioni delle dita, favorendo l'insorgenza di condizioni patologiche.

#### - **Flesso-estensione dei polsi**

Questo esercizio prevede la torsione di una twist bar effettuata tramite la flessione di un polso e l'estensione dell'altro. L'esecuzione può prevedere una contrazione isometrica oppure una contrazione concentrica. È necessario eseguire 3x15 ripetizioni. La progressione prevede l'utilizzo di twist bar progressivamente più rigide e la riduzione delle ripetizioni. Anche questo esercizio è fondamentale per evitare di incorrere in stati patologici, in quanto permette la stabilizzazione dell'articolazione del polso la quale, nell'arrampicata, viene sempre e soltanto sollecitata in flessione.

#### - **Sospensioni**

Questo esercizio consiste nell'impugnare particolari prese del trave e mantenere tale posizione con le braccia e il corpo estesi senza toccare terra. L'esecuzione prevede una contrazione isometrica. È necessario eseguire 4 serie da 15" con pause di 2' tra una serie e l'altra. La progressione prevede che si aumentino nei mesi successivi le serie da 4 a 6 e successivamente è possibile aumentare il tempo di permanenza in sospensione o aumentare il carico; tuttavia, l'aggiunta di un carico viene sconsigliata per atleti principianti. Questo esercizio favorisce considerevolmente lo sviluppo della resistenza alla forza nelle dita che, come abbiamo potuto osservare nel capitolo 3, riveste un ruolo fondamentale nell'arrampicata sportiva e favorisce inoltre l'adattamento dei tessuti cutanei alla pratica su prese artificiali e rocciose, abituando gradualmente la pelle alla frizione rendendola più spessa. La particolarità di questo esercizio è che, se eseguito sul trave con l'ausilio di diverse prese, permette di andare a lavorare sulla muscolatura flessoria delle dita a diversi gradi di flessione portando in tal modo ad uno sviluppo omogeneo della forza su tutte le fibre.

#### - **Percorsi di arrampicata**

Questo esercizio consiste nell'esecuzione di un'arrampicata semplice su un muro boulder, partendo da una via che richieda un massimo di 20 o 30 movimenti. L'esecuzione prevede contrazioni concentriche ed eccentriche ed è necessario eseguire l'ascesa e la discesa per almeno 4 volte. La progressione prevede l'aumento graduale delle serie da 4 a 8 e successivamente la scelta di vie sempre più complesse che richiedano un tempo di esecuzione maggiore.

La scelta di far eseguire esercizi concentrici (con accorciamento delle fibre muscolari) o isometrici (senza variazioni di lunghezza delle fibre) dipende dalle caratteristiche della prestazione che si desidera sviluppare maggiormente; infatti, l'esecuzione di contrazioni isometriche permette di sviluppare sia la forza massima che la forza resistente, entrambe qualità richieste dall'arrampicata sportiva. Inoltre, la contrazione isometrica permette ad un allievo principiante di andare ad allenare il reclutamento del massimo numero di fibre muscolari (Marcolin et al., 2022). La contrazione concentrica è invece utile per migliorare l'espressione della forza massima e la rapidità nel reclutamento delle fibre, questo in quanto è una contrazione dinamica che prevede un accorciamento della muscolatura e può essere eseguita a diverse velocità. La velocità di esecuzione è un altro punto cardine dell'allenamento in quanto una variazione di tale parametro permette di lavorare su diverse caratteristiche; ad esempio, l'esecuzione di un movimento concentrico molto rapido con sovraccarico permette di sviluppare principalmente la forza rapida, mentre invece l'esecuzione di un movimento lento con sovraccarico permette di focalizzare il lavoro sulla forza resistente.

## **5.2 Lo stretching**

Fondamentale al fine di salvaguardare le strutture tendinee e legamentose delle dita è la pratica di un corretto stretching, a livello dei muscoli lombricali e interossei e a livello dei flessori del carpo e delle dita. Tali esercizi di stretching permettono di aumentare la coordinazione e mantenere una funzionalità adeguata della muscolatura, e una corretta stabilizzazione delle articolazioni delle dita.

Il primo esercizio fondamentale per i muscoli interossei e lombricali consiste nel disporre il palmo della mano su un piano, con il polso leggermente flesso per non coinvolgere nell'allungamento anche i muscoli flessori, e con la mano libera andare a piegare la falange media di un dito e successivamente tirare quest'ultimo verso l'alto. L'operazione va ripetuta per ogni dito e per entrambe le mani mantenendo la trazione verso l'alto per circa 30 secondi (Figura 6).





**Figura 6** Primo esercizio di allungamento dei muscoli interossei e lombricali. Immagine tratta da Hochholzer e Schöeffl (2007).

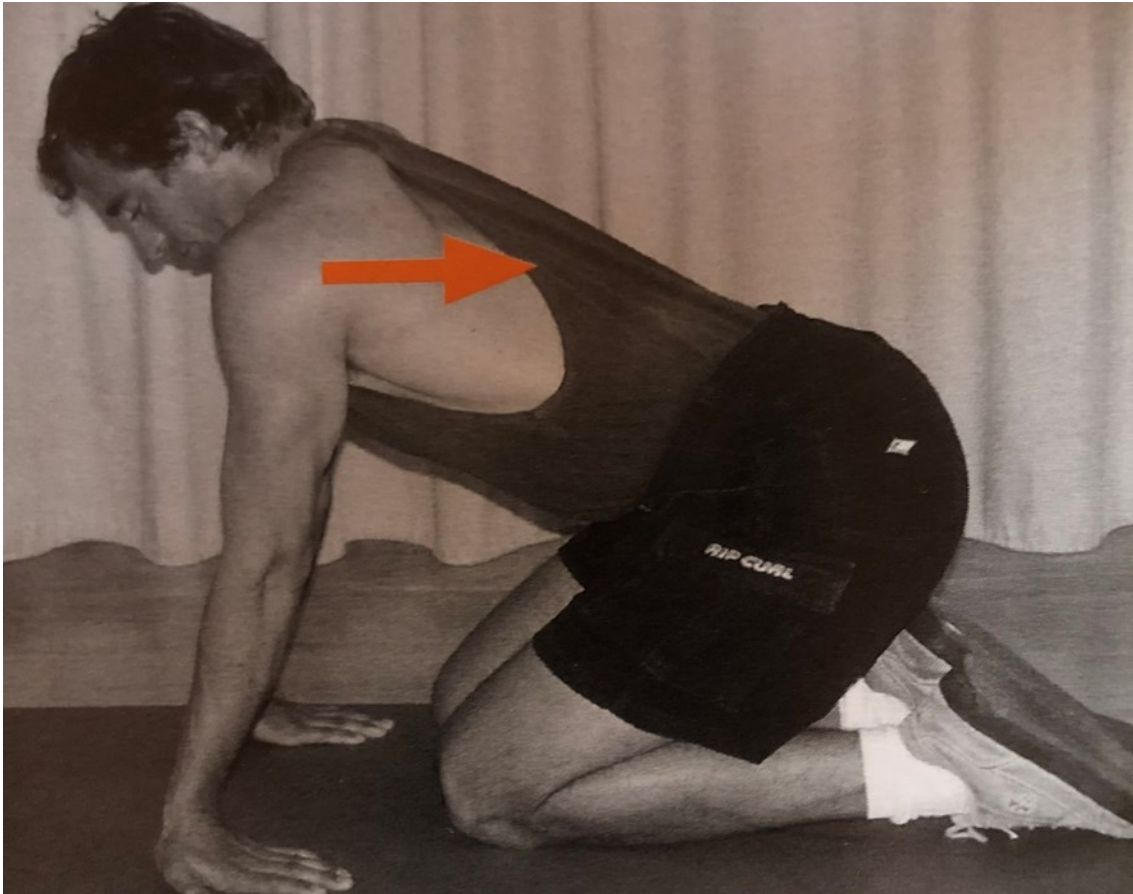
Il secondo esercizio per i muscoli interossei e lombricali prevede la flessione del gomito a 90° con il palmo rivolto verso l'alto, da questa posizione si può procedere piegando il dito a livello della falange media e spingendolo verso il basso per circa 30 secondi. L'operazione anche in questo caso va ripetuta per tutte le dita di entrambe le mani (Figura 7).



**Figura 7** Secondo esercizio per l'allungamento dei muscoli interossei e lombricali. Immagine tratta da Hochholzer e Schöeffl (2007).

Per quanto riguarda l'allungamento dei muscoli flessori, l'esercizio più indicato prevede la disposizione in quadrupedia con i palmi appoggiati a terra e le dita rivolte verso le ginocchia e da questa posizione, arretrando gradualmente con il busto, si dovrebbe sentire una tensione crescente a livello dell'avambraccio che è sintomo dell'allungamento (Figura 8). La posizione deve essere mantenuta per 30 secondi.

Questo esercizio è particolarmente importante in quanto l'arrampicata impone un forte sovraccarico dei muscoli flessori che a lungo andare si traduce in una crescente rigidità che compromette sia la flessione che l'estensione del polso, portando all'insorgenza di condizioni patologiche (Hochholzer e Schoeffl, 2007).



**Figura 8** Esercizio di allungamento per i muscoli flessori del carpo e delle dita. Immagine tratta da Hochholzer e Schöeffl (2007).

In conclusione è possibile affermare che le caratteristiche necessarie allo sviluppo di una buona prestazione nell'arrampicata nascono da un adattamento dei tessuti delle mani, a partire dalla cute fino alla muscolatura e ai tessuti legamentosi; ciò avviene applicando stimoli paralleli riguardanti la tecnica e il condizionamento fisico, incentrato sul raggiungimento di un discreto livello di forza e di resistenza muscolare, e l'allungamento che riveste una funzione preventiva di notevole importanza qualora eseguito correttamente e nel rispetto dei tempi previsti dalla programmazione. La fase del condizionamento fisico nel principiante, come anticipato all'inizio del capitolo, richiede uno sviluppo graduale e progressivo che tenga conto dello stato attuale delle strutture coinvolte nell'allenamento e, nel caso dei giovani, della loro età biologica che si riferisce allo stato di ossificazione, di sviluppo clinico e della dentatura; questi parametri devono essere assolutamente valutati al fine di calibrare al meglio l'intervento sulle strutture, che si riflette in seguito anche sul raggiungimento della prestazione desiderata. Al fine di raggiungere gli obiettivi sportivi desiderati è possibile introdurre un principiante

all'arrampicata attraverso l'utilizzo di strumenti molto semplici e di facile reperibilità, come quelli sopra citati, che non richiedono specifiche abilità motorie e permettono di raggiungere in modo controllato e sicuro tutti gli adattamenti richiesti dalla disciplina.



## CAPITOLO 6

### CONCLUSIONI

Il presente elaborato fornisce un'analisi degli aspetti essenziali caratterizzanti le discipline dell'arrampicata sportiva quali: parametri biomeccanici, aspetti neurali, principali tipologie di infortunio e relative misure preventive, diagnostiche e terapeutiche. Dal punto di vista biomeccanico è possibile affermare che i parametri più influenti nella prestazione dell'atleta siano la forza e la resistenza dei muscoli flessori del carpo e delle dita, i quali forniscono secondo quanto affermato da Stien et al. (2019) una distinzione attendibile degli atleti in base alla disciplina specifica da essi praticata, mentre invece, secondo Ozimek et al. (2017) forniscono importanti informazioni sul livello prestativo degli atleti permettendo una distinzione tra professionisti e ricreazionali.

Per quanto riguarda gli aspetti neurali è invece risultata determinante l'esperienza dell'atleta ai fini di un adattamento a lungo termine delle strutture corticali attivate durante l'esercizio le quali, in seguito ad una stimolazione continua, associata a delle sedute di allenamento regolari nel tempo, favoriscono un'acquisizione automaticizzata del movimento e una minore pianificazione fine del gesto motorio.

Un altro aspetto fondamentale riguarda gli infortuni alle pulegge, i più comuni nella popolazione degli arrampicatori, che portano ad una notevole alterazione biomeccanica del movimento. Essi possono essere trattati attraverso un approccio chirurgico nei casi più gravi, oppure conservativo nel caso di lesioni di grado inferiore. Tali infortuni risultano legati all'utilizzo di una presa *crimp*, che va ad applicare un'eccessiva tensione ai tendini dei muscoli flessori delle dita a livello della falange distale, a causa della iperestensione che la zona subisce nell'esecuzione della presa su appigli di superficie ridotta.

È fondamentale in tal senso un intervento di prevenzione, che si traduce concretamente in una proposta di allenamento mirata a lavorare, con strumenti specifici, a livello dei muscoli della mano per lo sviluppo di forza, resistenza e flessibilità, riducendo così, significativamente, il rischio di infortuni.

In conclusione, ogni qualità richiesta nell'arrampicata sportiva, analizzata all'interno di questo elaborato, è strettamente dipendente dall'allenamento che si propone all'atleta, in

quanto ne influenza la performance da un punto di vista biomeccanico, neurale e, se correttamente eseguito, ne salvaguarda lo stato di salute fisica.

## **Bibliografia**

- Bear Mark F. Connors Barry W. Paradiso Michael A. (2016). *Neuroscienze: esplorando il cervello*. Milano: Edra.
- Buscaini G. Guide of Italian Mountains. Preface to the volumes.
- Cabiati, R. (2004). Storia Dell'alpinismo.
- Carius, D., Hörnig, L., Ragert, P., & Kaminski, E. (2020). Characterizing cortical hemodynamic changes during climbing and its relation to climbing expertise. *Neuroscience letters*, 715, 134604.
- Fanchini, M., Violette, F., Impellizzeri, F. M., & Maffiuletti, N. A. (2013). Differences in climbing-specific strength between boulder and lead rock climbers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 310-314.
- Federazione Arrampicata Sportiva Italiana: <https://www.federclimb.it/>
- Fryer, S. M., Stoner, L., Dickson, T. G., Draper, S. B., McCluskey, M. J., Hughes, J. D., ... & Draper, N. (2015). Oxygen recovery kinetics in the forearm flexors of multiple ability groups of rock climbers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(6), 1633-1639.
- Gnaccarini M. (2015). Storia dell'arrampicata Sportiva. *Scuola di Alpinismo e Scialpinismo Sesto Gnaccarini CAI*.
- Hochholzer, T., Schoeffl, V., (2007). *Un movimento di troppo*. Milano: Versante Sud.
- Jones, G., Asghar, A., & Llewellyn, D. J. (2008). The epidemiology of rock-climbing injuries. *British journal of sports medicine*, 42(9), 773-778.
- Lapegue, F., Andre, A., Brun, C., Bakouche, S., Chiavassa, H., Sans, N., & Faruch, M. (2015). Traumatic flexor tendon injuries. *Diagnostic and interventional imaging*, 96(12), 1279-1292.
- Lin, C. Y., & Kuo, S. H. (2017). The role of the cerebellum in rock climbing. *Journal of the neurological sciences*, 383, 158-160.
- Lin, G. T., Cooney, W. P., Amadio, P. C., & An, K. N. (1990). Mechanical properties of human pulleys. *Journal of Hand Surgery*, 15(4), 429-434.

- Mandelli, G., & Angriman, A. (2019). Scales of difficulty in climbing. *Retrieved*, 22, 2019.
- Marcolin, G., Faggian, S., Muschietti, M., Matteraglia, L., & Paoli, A. (2022). Determinants of climbing performance: When finger flexor strength and endurance count. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(4), 1099-1104.
- Miro, P. H., Sabb, D. M., & Schöffl, V. (2021). Finger flexor pulley injuries in rock climbers. *Wilderness & Environmental Medicine*, 32(2), 247-258.
- Moor, B. K., Nagy, L., Snedeker, J. G., & Schweizer, A. (2009). Friction between finger flexor tendons and the pulley system in the crimp grip position. *Clinical biomechanics*, 24(1), 20-25.
- Neuhof, A., Hennig, F. F., Schöffl, I., & Schöffl, V. (2011). Injury risk evaluation in sport climbing. *International journal of sports medicine*, 32(10), 794-800.
- Ozimek, M., Rokowski, R., Draga, P., Ljakh, V., Ambroży, T., Krawczyk, M., ... & Mucha, D. (2017). The role of physique, strength and endurance in the achievements of elite climbers. *PLoS One*, 12(8), e0182026.
- Schöffl, I., Oppelt, K., Jüngert, J., Schweizer, A., Bayer, T., Neuhuber, W., & Schöffl, V. (2009b). The influence of concentric and eccentric loading on the finger pulley system. *Journal of Biomechanics*, 42(13), 2124-2128.
- Schöffl, I., Oppelt, K., Jüngert, J., Schweizer, A., Neuhuber, W., & Schöffl, V. (2009a). The influence of the crimp and slope grip position on the finger pulley system. *Journal of Biomechanics*, 42(13), 2183-2187.
- Schöffl, V. R., & Schöffl, I. (2006). Injuries to the finger flexor pulley system in rock climbers: current concepts. *The Journal of hand surgery*, 31(4), 647-654.
- Schöffl, V., Hochholzer, T., Winkelmann, H. P., & Strecker, W. (2003). Pulley injuries in rock climbers. *Wilderness & Environmental Medicine*, 14(2), 94-100.
- Schweizer, A. (2001). Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. *Journal of biomechanics*, 34(2), 217-223.



- Schweizer, A. (2001). Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. *Journal of biomechanics*, 34(2), 217-223.
- Shahram, A., Farzad, A., & Reza, R. (2007). A study on the prevalence of muscular-skeleton injuries of rock climbers. *Facta universitatis-series: Physical Education and Sport*, 5(1), 1-7.
- Stien, N., Saeterbakken, A. H., Hermans, E., Vereide, V. A., Olsen, E., & Andersen, V. (2019). Comparison of climbing-specific strength and endurance between lead and boulder climbers. *PloS one*, 14(9), e0222529.
- Stien, N., Vereide, V. A., Saeterbakken, A. H., Hermans, E., Shaw, M. P., & Andersen, V. (2021). Upper body rate of force development and maximal strength discriminates performance levels in sport climbing. *Plos one*, 16(3), e0249353.
- Vigouroux, L., & Quaine, F. (2006). Fingertip force and electromyography of finger flexor muscles during a prolonged intermittent exercise in elite climbers and sedentary individuals. *Journal of sports sciences*, 24(2), 181-186.
- Vigouroux, L., Quaine, F., Paclet, F., Colloud, F., & Moutet, F. (2008). Middle and ring fingers are more exposed to pulley rupture than index and little during sport-climbing: a biomechanical explanation. *Clinical biomechanics*, 23(5), 562-570.
- Widstrom, C. J., Doyle, J. R., Johnson, G., Manske, P. R., & McGee, R. (1989 b). A mechanical study of six digital pulley reconstruction techniques: Part II. Strength of individual reconstructions. *The Journal of hand surgery*, 14(5), 826-829.
- Widstrom, C. J., Johnson, G., Doyle, J. R., Manske, P. R., & Inhofe, P. (1989 a). A mechanical study of six digital pulley reconstruction techniques: Part I. Mechanical effectiveness. *The Journal of hand surgery*, 14(5), 821-825.
- Woollings, K. Y., McKay, C. D., & Emery, C. A. (2015). Risk factors for injury in sport climbing and bouldering: a systematic review of the literature. *British journal of sports medicine*, 49(17), 1094-1099.
- Wright, D. M., Royle, T. J., & Marshall, T. (2001). Indoor rock climbing: who gets injured?. *British journal of sports medicine*, 35(3), 181-185.