

Università degli Studi di Padova

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

TESI DI LAUREA

TECNOLOGIE PER LA VALUTAZIONE IN ACQUA DELL'EFFICACIA DEL TRATTAMENTO
DI IDROCHINESITERAPIA: REVISIONE DELLA LETTERATURA E CASE-STUDY SU
PAZIENTE AFFETTO DA CHARCOT-MARIE-TOOTH.

Technologies for assessing the effectiveness of hydrokinesitherapy treatment: A literature review
and a case study on a patient with Charcot-Marie-Tooth.

RELATORE: Dott.ssa Mag. Erika Ferlito
Correlatore: Dott.ssa Paola Contessa

LAUREANDO: Paolo Feroni

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

ABSTRACT	iv
INTRODUZIONE	1
SCOPO DELLO STUDIO	2
1. PRESUPPOSTI TEORICI	3
1.1 RIABILITAZIONE IN ACQUA	3
1.1.1 Inquadramento storico	3
1.1.2 Razionale d'utilizzo e proprietà	3
1.1.3 Applicazioni riabilitative	5
1.1.4 Neuroplasticità indotta dal mezzo acqua	6
1.1.5 Controindicazioni all'uso dell'idrochinesiterapia	7
1.2 ANALISI DEL MOVIMENTO UMANO	8
1.2.1 Inquadramento storico	8
1.2.2 Modalità di misurazione	9
1.2.3 Misurazione in acqua	13
2. REVISIONE DELLA LETTERATURA	14
2.1 STRATEGIA DI RICERCA	14
2.2 CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE	16
2.3 SELEZIONE DEGLI STUDI	16
2.4 ESTRAZIONE DEI DATI	22
3. RISULTATI	23
3.1 ANALISI DEI RISULTATI	23
4. CASE REPORT: Elaborazione di una proposta riabilitativa sulla base dei risultati ottenuti dalle valutazioni eseguite in acqua	25
4.1 CHARCOT-MARIE-TOOTH	25
4.1.1 Inquadramento storico	25
4.1.2 Fisiopatologia	26

4.1.3 Classificazione.....	27
4.1.4 Implicazioni funzionali e riabilitative	28
4.2 ELABORAZIONE DI UNA PROPOSTA RIABILITATIVA SULLA BASE DEI RISULTATI OTTENUTI DALLE VALUTAZIONI ESEGUITE IN ACQUA	29
4.2.1 Valutazione clinica.....	29
4.2.2 Analisi del movimento a secco e in acqua.....	33
4.2.3 Trattamento di Idrochinesiterapia.....	40
4.2.4 Gait analysis post trattamento	41
5. DISCUSSIONE	45
6. CONCLUSIONI	46
BIBLIOGRAFIA	48

ABSTRACT

Introduzione: L'uso dell'acqua a scopo riabilitativo ha una storia di poco più di un secolo, ha avuto origine a Los Angeles ed era indirizzata a pazienti con paralisi cerebrale. Attualmente, si riconoscono le numerose proprietà che rendono l'acqua, una valida opzione per la riabilitazione quali, il galleggiamento, la viscosità, la pressione idrostatica, la capacità di creare turbolenze e l'influenza termica. Esse sono sfruttate in diverse aree terapeutiche quali cardio-respiratoria, ortopedica e neurologica. Tuttavia, non tutte le patologie possono beneficiare dell'idrochinesiterapia a causa della loro eziopatogenesi e caratteristiche specifiche. Pertanto, una valutazione accurata è essenziale per comprendere i limiti e le potenzialità di ciascun paziente e sviluppare un piano riabilitativo individuale, sia attraverso l'esame clinico o esami di laboratorio, sia attraverso l'analisi qualitativa e quantitativa del movimento, durante attività funzionali.

Obiettivo: Il presente elaborato si pone in primo luogo, l'obiettivo di analizzare in letteratura i device, le loro caratteristiche e le metodologie più accreditate per svolgere l'analisi del movimento umano in acqua. In seconda istanza, ci si pone l'obiettivo di evidenziare i cambiamenti della cinematica in un paziente affetto da CMT durante l'analisi del movimento in acqua, per sviluppare un programma riabilitativo di idrochinesiterapia.

Materiali e metodi: È stata condotta una revisione della letteratura per verificare le caratteristiche dei dispositivi elettromiografici/biometrici e le metodologie seguite per effettuare l'analisi in acqua, sui principali motori di ricerca scientifici. Successivamente alla definizione dei criteri di inclusione ed esclusione sono stati inclusi 13 articoli.

Risultati: Dopo aver analizzato 13 articoli inclusi nella Scoping review è emerso che per l'analisi del movimento in acqua, i dispositivi indossabili vengono spesso affiancati da metodi a secco più complessi (sistemi optoelettronici e *motion capture*). Solamente due articoli analizzano il movimento in acqua su pazienti, rispettivamente con lesione midollare e morbo di Parkinson. Data la proprietà di galleggiamento offerta dall'acqua, essa risulta essere un valido metodo per riabilitare soggetti con condizioni che comportino un indebolimento muscolare. Questa limitazione suggerisce una possibile direzione per sviluppi futuri, finalizzati a ottimizzare la riabilitazione in acqua su tali pazienti.

Case report: È stata svolta una ricerca preliminare in letteratura nei principali motori di ricerca scientifici per analizzare studi che riportino l'uso della riabilitazione in acqua su pazienti con Charcot-Marie-Tooth, tuttavia non ha prodotto risultati. Si è deciso, pertanto, di proporre il trattamento di idrochinesiterapia effettuato su un paziente di 22 anni affetto da Charcot-Marie-Tooth, previa analisi tramite sensori inerziali (*IMUs*) e EMG di superficie attraverso 6 prove sia a

secco che in acqua (la quale ha evidenziato una normalizzazione delle fasi del passo e una riduzione dell'attivazione muscolare in acqua) e gait analysis effettuata in laboratorio. Il trattamento di 10 sedute si è concentrato sul rinforzo della muscolatura prossimale, sulla deambulazione controllata e sull'equilibrio. Si è riproposta l'analisi del movimento precedente e la gait analysis post-trattamento. Dai dati analizzati si evidenzia un significativo miglioramento della stabilità e dell'equilibrio, i quali comportano una maggior efficienza durante la deambulazione e più sicurezza sperimentata da parte del paziente, diminuendo il rischio di caduta e le complicanze ad esse associate.

Discussione e Conclusioni: In questo studio si è voluto portare alla luce i device, le tecniche e le modalità più accreditate per effettuare l'analisi del movimento umano in acqua. Si è tuttavia evidenziata una mancanza di studi che approfondiscano l'analisi del movimento in acqua su pazienti con patologie neurologiche. Tramite il case report, che descrive l'applicazione dell'idrochinesiterapia su un paziente affetto da Charcot-Marie-Tooth si possono constatare dei significativi benefici per quanto riguarda la stabilità e l'equilibrio. L'uso dell'acqua nella riabilitazione sembra offrire notevoli vantaggi anche per i soggetti affetti da CMT ma sono necessarie ulteriori ricerche per valutare e per sviluppare ulteriormente questa promettente forma di terapia.

Introduction: The use of water for rehabilitative purposes has a history of a little more than a century, originated in Los Angeles and addressed to patients with cerebral palsy. Currently, the many properties that make water a viable option for rehabilitation are recognized, such as buoyancy, viscosity, hydrostatic pressure, ability to create turbulence and thermal influence. These properties are used in various therapeutic areas, such as cardiorespiratory, orthopedic and neurological rehabilitation. However, not all pathologies can benefit from hydrokinesiotherapy due to their etiopathogenesis and specific characteristics. Therefore, accurate evaluation is essential to understand the limitations and potentials of each patient and develop an individualized rehabilitation plan, relying on clinical examinations, laboratory tests and qualitative and quantitative movement analysis during functional activities.

Objective: This study aims, first and foremost, to analyze the devices, their characteristics and the most accredited methodologies for human motion analysis in water as reported in the literature. Secondly, the goal is to highlight changes in kinematics in a patient with Charcot-Marie-Tooth (CMT) during aquatic motion analysis, with the intent of developing a hydrokinesiotherapy rehabilitation program.

Materials and Methods: A literature review was conducted to examine the characteristics of electromyographic/biometric devices and the methodologies employed for water-based motion analysis, on major scientific search engines. Following the definition of inclusion and exclusion criteria, 13 articles were included.

Results: After analyzing the 13 articles included in the scoping review, it was found that for aquatic motion analysis, wearable devices are often complemented by more complex dry methods (optoelectronic systems and motion capture). Only two articles examine aquatic motion in patients, specifically those with spinal cord injury and Parkinson's disease. Given the buoyancy property offered by water, it proves to be a valid method for rehabilitating individuals with conditions involving muscle weakness. This limitation suggests a potential direction for future developments aimed at optimizing aquatic rehabilitation on such patients.

Case report: A preliminary literature search was conducted on major scientific search engines to analyze studies reporting the use of water rehabilitation in CMT patients, however, it did not yield any results. Therefore, it was decided to propose hydrokinesiotherapy treatment on a 22-year-old patient with Charcot-Marie-Tooth, after analysis through inertial measurement units (IMUs) and surface electromyography (EMG) sensors during 6 trials both in dry land and in water (the analysis revealed a normalization of gait phases and a reduction in muscular activation during aquatic movement) and a gait analysis performed in the laboratory. The 10-session treatment focused on proximal muscles strengthening, controlled deambulation and balance. The pre-treatment motion analysis and post-treatment gait analysis were repeated. Data analysis reveals a significant improvement in stability and balance, which led to greater efficiency during deambulation and increase patient confidence, reducing the risk of falls and associated complications.

Discussion and Conclusion: This study aimed to elucidate the devices, techniques and most accredited methods for human motion analysis in water. However, a lack of studies investigating the analysis of movement in water on patients with neurological disorders was highlighted. Through the case report which describes the analysis of movement in water and the application of hydrokinesiotherapy on a patient with Charcot-Marie-Tooth, it can be observed that in water, there is reduced muscle activation and a normalization of gait. Furthermore, it has been confirmed that water therapy has brought significant benefits in terms of stability and balance. The use of water in rehabilitation appears to offer considerable advantages for individuals with CMT. However, there are limitations, such as a sample consisting of a single subject and a therapy of only 10 sessions. More researches are needed to assess and further develop this promising form of therapy.

INTRODUZIONE

L'utilizzo del mezzo acqua a scopi riabilitativi, o idrochinesiterapia, è stato introdotto nel 1911, da Charles Leroy Lowman, presso l'Orthopaedic Hospital a Los Angeles, per il trattamento di pazienti con paralisi cerebrale. Da allora, l'utilizzo dell'acqua come trattamento di pazienti con patologie diverse ha coinvolto molti studiosi e permesso la creazione di svariate metodologie riabilitative. Ad oggi infatti, vi sono numerose dimostrazioni di come l'idrochinesiterapia può essere un valido strumento per patologie muscoloscheletriche, cardiopolmonari, neurologiche e neuromuscolari. Le proprietà maggiormente accreditate al mezzo acqua sono: densità, che permette una variazione del peso, pressione idrostatica, la quale permette un ritorno venoso più efficiente, un grado di galleggiamento elevato permette un minor coinvolgimento delle strutture articolari, viscosità, utile per creare una resistenza al movimento attivo di un segmento corporeo, effetto termico, il quale comporta un effetto analgesico e decontratturante. (1)

Queste proprietà permettono un utilizzo polivalente e una creazione di programmi riabilitativi pensati ad hoc, al fine di incrementare le performance, diminuire la disabilità e migliorare la qualità di vita percepite dei fruitori di questo mezzo.

Oltre alle sole proprietà fisiche date dalla parziale immersione in acqua, vi è da considerare il suo effetto sul flusso ematico a livello cerebrale, il quale risulta essere notevolmente incrementato, permettendo una miglior irrorazione al tessuto. Inoltre è da considerare l'incremento del sistema parasimpatico e la diminuzione del sistema simpatico durante l'immersione, sia con esercizi passivi che attivi determinando così effetti positivi sul sistema nervoso autonomo.

Per i motivi sopracitati, nell'ultimo ventennio, si è registrato, nel mondo della riabilitazione, un crescente interesse verso l'uso del mezzo acqua a scopo riabilitativo, in diversi contesti e con patologie molto eterogenee, dalla riabilitazione cardio polmonare, a quella ortopedica e neurologica o neuromotoria. L'idrochinesiterapia viene utilizzata, ad esempio, per diverse patologie neurologiche e neuromuscolari fra le quali spiccano patologie come Sclerosi Multipla, Morbo di Parkinson, Ictus, Demenza e Paralisi cerebrali. (2)

D'altro canto, è evidente anche l'esponenziale perfezionamento e aumento delle tecnologie attualmente in uso, anche per misurazioni di esercizi e parametri fisiologici in acqua. Ogni giorno si può assistere alla commercializzazione di prodotti sempre più piccoli e compatti, ma sempre più potenti, efficienti e funzionali, anche in campo sanitario e anche per usi meno convenzionali come per l'ambiente acquatico.

In letteratura infatti, sono presenti numerosi studi che trattano pazienti con queste patologie tramite l'utilizzo dell'immersione in acqua. Tuttavia la maggior parte degli studi analizzano il movimento solo prima e dopo le sedute di idrochinesiterapia, risultano essere quindi scarse, le evidenze che mostrano i cambiamenti al movimento, durante l'immersione in acqua. Inoltre è necessario approfondire queste dinamiche su patologie neuromuscolari progressive, che necessitano di riabilitazione costante attraverso tutto l'arco di vita del paziente, come, ad esempio, la Charcot-Marie-Tooth.

La Charcot-Marie-Tooth indica un gruppo eterogeneo di neuropatie genetiche primarie, con coinvolgimento motorio e sensoriale. Inoltre è considerata la neuropatia ereditaria più comune, con una prevalenza di 1:2500. Tipicamente i pazienti con Charcot-Marie-Tooth si presentano con una polineuropatia sensorimotoria indolente, lunghezza-dipendente. Vi è una certa eterogeneità genetica che porta alla divisione della malattia di Charcot-Marie-Tooth in sottocategorie.

Il 90% dei pazienti con Charcot-Marie-Tooth, presenta la variante autosomica dominante, con coinvolgimento mielinico. Si può quindi notare come il quadro clinico evidenzia tipicamente una progressiva debolezza muscolare disto-proximale che culmina con atrofia muscolare dei quattro arti. (3)

SCOPO DELLO STUDIO

Il presente elaborato ha l'obiettivo di analizzare nelle fonti della letteratura, le strategie adottate per monitorare l'attività muscolare e le caratteristiche del movimento tramite ulteriori dati biometrici, quali velocità angolare e accelerazione dei diversi segmenti corporei, nell'ambiente acqua, ponendo l'accento sui dispositivi maggiormente utilizzati e sulle loro caratteristiche principali. Il quesito di ricerca si pone poi l'obiettivo di indagare in seconda istanza, il comportamento elettromiografico e biometrico in acqua, principalmente nell'arto inferiore, di un caso-paziente affetto da Charcot-Marie-Tooth, per elaborare e monitorare il programma riabilitativo individuale. Essa è una patologia neuromuscolare progressiva su cui non esistono ad oggi, esempi o prove dell'effetto dell'idrochinesiterapia, ma che potrebbe giovare particolarmente dato l'importante indebolimento dell'arto inferiore, bilateralmente e la progressiva atrofia muscolare alla quale è destinato. Viene poi descritto un trattamento interamente svolto in acqua, pensato e personalizzato per le caratteristiche e le necessità individuali del paziente.

Questo elaborato nasce dalla curiosità e dalla voglia di ampliare la conoscenza scientifica ponendo l'accento sulla possibile applicazione di un metodo riabilitativo sempre più usato come

l'idrochinesiterapia, oggettivando le misurazioni come per il trattamento a secco, per la gestione riabilitativa di una patologia progressivamente invalidante come la Charcot-Marie-Tooth.

1. PRESUPPOSTI TEORICI

1.1 RIABILITAZIONE IN ACQUA

1.1.1 Inquadramento storico

L'uso dell'immersione in acqua come strumento riabilitativo è stato ipotizzato per la prima volta da Charles Leroy Lowman, chirurgo ortopedico e fondatore dell'Orthopaedic Hospital di Los Angeles, nel 1911, il quale, ispirato dalla Spaulding School for Crippled Children a Chicago, dove immergevano pazienti con condizioni di paralisi in vasche di legno, bonificò lo stagno vicino all'ospedale per la creazione di due piscine terapeutiche.

Circa 13 anni dopo, nel 1924 Leroy Hubbard, in Georgia, sviluppò una particolare vasca che permette l'immersione completa del soggetto, la "Hubbard Tank", grazie alla quale poté accogliere il suo paziente più famoso, Franklin D. Roosevelt, affetto da poliomelite. Grazie anche a questo episodio, intorno agli anni '30 si iniziò sempre più a parlare nei giornali scientifici del trattamento in acqua per pazienti con artrite cronica.

Nel 1937, Charles Leroy Lowman pubblicò "*Technique of Underwater Gymnastics: A Study in Practical Application*", dove specificava nel dettaglio le caratteristiche, la frequenza e la durata del trattamento in acqua come "rimedio per deformità corporee e il ripristino della funzione muscolare". Intorno agli anni '50 la fondazione nazionale per le paralisi infantili supportò l'uso a scopo terapeutico della ginnastica in acqua. (1)

1.1.2 Razionale d'utilizzo e proprietà

Il razionale d'utilizzo del mezzo acqua è da ricercare nei principi fondamentali dell'idrodinamica. Le proprietà fisiche dell'acqua sono dunque galleggiamento, viscosità, pressione idrostatica, turbolenze e resistenze, effetto termico. Sono tutte proprietà derivate intrinsecamente dall'immersione in acqua. L'effetto termico risulta essere l'unica proprietà derivata dal setting riabilitativo, in quanto mediamente, la temperatura nelle piscine terapeutiche è di circa 34 °C. (1)

Galleggiamento

Secondo il principio di Archimede "un corpo immerso in un fluido subisce una spinta dal basso verso l'alto, pari al peso del liquido spostato". Basandosi su questo enunciato si può confermare uno

scarico di peso su articolazioni e tessuto osseo proporzionale al livello di immersione. Con immersione all'ombelico si ha uno scarico del 50% di peso, mentre se il livello dell'acqua arriva al processo xifoideo si ha una diminuzione di circa il 60% del peso corporeo, dipendente dal posizionamento degli arti superiori. Inoltre, l'azione delle forze di galleggiamento sui centri di rotazione di un corpo con densità disomogenea, come un corpo biologico, permette una costante instabilità e rende obbligatorie le reazioni di aggiustamento posturale. Questo principio diventa essenziale se si fa riferimento a persone con condizioni patologiche in cui la progressione del carico è fondamentale per la riabilitazione come fratture ossee o patologie neuromuscolari durante gli stadi intermedi. In aggiunta, l'instabilità posturale creata, determina una ricerca costante del punto di equilibrio, incrementando le afferenze sensitive e propriocettive alla corteccia somatosensoriale.

Viscosità

Essa è riferita alla frizione che avviene fra le molecole di un fluido. La frizione creata dall'acqua è necessariamente superiore rispetto all'aria. Maggiore è la turbolenza in acqua, maggiori saranno le forze fra le sue molecole. Ciò permette, una costante resistenza al movimento, creando una forma di esercizio a carattere isocinetico e un conseguente rinforzo muscolare del segmento coinvolto.

Pressione idrostatica

La pressione idrostatica è, secondo la legge di Pascal "una pressione uguale su tutte le superfici di un corpo immerso, a riposo, e a qualsiasi profondità. La pressione dipende dalla densità del liquido e dalla profondità in cui si trova il corpo. Un corpo immerso a 120 centimetri di profondità, ad esempio, riceve una pressione di 88,9 mmHg, leggermente superiore alla normale pressione sanguigna diastolica. Ne deriva un incremento del ritorno venoso ed un effetto benefico per tutte quelle condizioni che presentano edema o versamenti, specialmente agli arti inferiori.

Turbolenze

Ogni movimento effettuato in acqua genera uno spostamento di fluido e quindi delle turbolenze che creano in primis, un effetto massaggiante sui tessuti molli favorendo il miorilassamento, in secondo luogo destabilizza il punto di equilibrio, rendendo necessarie strategie di aggiustamento posturale globali.

Effetto termico

L'acqua ha la capacità di trasferire il calore 25 volte più velocemente rispetto all'aria. Con la giusta temperatura delle piscine terapeutiche, normalmente di circa 34 °C si ottiene un effetto benefico

immediato. Esso comporta una significativa vasodilatazione periferica con conseguente incremento degli scambi gassosi e miglioramento del trofismo tissutale, una azione miorelassante e decontratturante sui tessuti muscolari, una azione analgesica e sedativa e può aiutare a diminuire la spasticità in tutte quelle condizioni patologiche che comprendono ipertono.

1.1.3 Applicazioni riabilitative

Date le numerose proprietà offerte dal mezzo acqua precedentemente citate, ad oggi sono state provate numerose applicazioni riabilitative. Esse spaziano dalla riabilitazione cardiaca e cardiopolmonare, respiratoria, muscoloscheletrica, su pazienti geriatrici e/o con problematiche osteoporotiche, alla neuroriabilitazione. L'idrochinesiterapia infatti risulta essere un buon metodo riabilitativo per tutti quegli individui che presentano condizioni come parkinsonismi, sclerosi multipla (SM), demenza, lesioni mieliniche, paralisi cerebrale (PC). (2)

Riabilitazione cardiovascolare e cardiopolmonare

L'acqua fornisce una pressione sul corpo immerso proporzionale al livello di immersione, maggiore è il livello, maggiore è la pressione. Conseguenza diretta di ciò, è un maggiore ritorno venoso e linfatico dagli arti inferiori diretto al cuore, che aumenta la pressione venosa centrale. Dato un riempimento atriale maggiore e una minor frequenza cardiaca provocata dalla temperatura dell'acqua, si ha un aumento del volume centrale di circa 0,7 litri con immersione fino al collo, che permette un incremento del 60% del volume sanguigno. (1)

Si crea quindi un innalzamento della gittata sistolica di circa 1500ml/min, destinata, per il 50% al tessuto muscolare. L'aumento della gittata sembra essere legata all'età: soggetti giovani dimostrano un aumento fino al 59%, soggetti più vecchi fino al 22%. (4)

Alcuni studi supportano l'uso della riabilitazione cardiovascolare in acqua su soggetti con infarto miocardico e cardiomiopatia ischemica. L'ipotesi alla base nasce dalla scarsa capacità cardiaca di superare la resistenza vascolare periferica. È stato dimostrato come, in pazienti con insufficienza cardiaca congestizia, un aumento della temperatura dell'acqua (41 °C), durante una sessione di immersione di 10 minuti porta ad una vasodilatazione generalizzata e ad una minor resistenza dei vasi con conseguente diminuzione della pressione polmonare e atriale del 25% e un aumento della gittata sistolica. (5)

Rimangono tuttavia delle controindicazioni per quelle condizioni patologiche come insufficienza cardiaca grave o infarto miocardico recente, in quanto, l'esposizione ad acqua calda o l'immersione

in acqua profonda, seguita da un lavoro aerobico, può provocare importanti scompensi e meccanismi lesivi. (6)

Riabilitazione respiratoria

Le potenzialità dell'acqua nella riabilitazione respiratoria sono da ricercare nell'aumento del ritorno venoso, come precedentemente specificato, e nella compressione offerta dall'acqua sul petto. Questi cambiamenti determinano una diminuzione della capacità vitale (massima quantità di aria mobilizzata tramite una espirazione profonda, preceduta da una inspirazione profonda) dal 6 al 9% con immersione fino al collo, rispetto ad immersione fino al processo xifoideo. (7)

L'effetto compressivo dell'acqua garantisce un maggior lavoro dei muscoli deputati all'inspirazione come diaframma, intercostali esterni, sternocleidomastoideo, scaleni, grande e piccolo pettorale, gran dorsale, dentato anteriore e dentato postero-superiore offrendo una condizione allenante per questi ultimi, soprattutto in quelle condizioni patologiche che provocano debolezza dei muscoli inspiratori come insufficienza cardiaca congestizia od ostruzione polmonare cronica.

Riabilitazione geriatrica e osteoporosi

Grazie alle sue proprietà di galleggiamento e alle turbolenze create, l'acqua risulta essere un ottimo mezzo per sviluppare e allenare le capacità di equilibrio e coordinazione, in tutte quelle persone anziane che potrebbero avere un aumentato rischio di cadute, creando inoltre un ambiente sicuro nel quale muoversi.

Negli anni sono stati creati diversi programmi per il miglioramento dell'equilibrio e coordinazione in acqua come Tai Chi, Yoga, Pilates.

Vi sono, invece, alcuni dubbi per la riabilitazione di soggetti con quadri osteoporotici, in quanto, diversi studi hanno indagato i cambiamenti nella densità ossea su donne in post-menopausa, a seguito di programmi terapeutici in acqua che enfatizzavano il carico e l'impatto al suolo. Non sono stati riportati cambiamenti significativi della densità ossea né nelle regioni maggiormente soggette a fratture come quella vertebrale e femorale, né in altri distretti indagati. (8) (9)

1.1.4 Neuroplasticità indotta dal mezzo acqua

L'acquisizione di abilità motorie è un processo fondamentale per ogni individuo, si attua fin dai primi mesi e si protrae per tutto il resto della vita. È risaputo che per imparare nuove abilità è necessaria una reiterazione del nuovo movimento nel tempo. Tuttavia questo processo, non possiede degli schemi fissi e prestabiliti, ma vi è una grande variabilità interpersonale.

Vi sono diverse regioni nel Sistema Nervoso Centrale che si attivano maggiormente quando si effettuano movimenti in funzione dell'apprendimento come corteccia prefrontale, lobo temporale, corteccia sensitiva/sensorimotoria, cervelletto e striato. Nello specifico si è potuto constatare di come maggiore è l'eccitabilità nella corteccia motoria primaria durante l'apprendimento, maggiore sarà la consolidazione nel tempo del movimento appreso.

Durante l'immersione in acqua, le afferenze somatosensoriali (tattile, termica, di pressione e propriocettiva) dirette alla corteccia somatosensoriale primaria sono notevolmente incrementate. Quest'ultima risulta essere un'area strettamente connessa con l'area motoria primaria, in quanto le afferenze sensorimotorie vengono elaborate e integrate con le efferenze prodotte dall'area motoria, in modo da garantire un movimento quanto più coerente e preciso. Durante l'immersione in acqua si verifica una diminuzione nell'attivazione del circuito inibitorio implicato nel processo di integrazione. Risulta quindi una maggiore attività della corteccia somatosensoriale e motoria, e quindi neuroplasticità, dovuta all'incremento di input sensoriali provocato dall'acqua. (10)

1.1.5 Controindicazioni all'uso dell'idrochinesiterapia

L'idrochinesiterapia può essere un ottimo metodo riabilitativo per persone con condizioni di debolezza muscolare, capacità di carico alterata, problematiche legate all'equilibrio, condizioni neurologiche e condizioni di carattere viscerale precedentemente descritte. Vi sono tuttavia delle controindicazioni, legate sia alla condizione patologica, sia allo stato d'animo del soggetto riabilitato. L'uso dell'acqua in patologie cardiorespiratorie può essere un valido aiuto per il ricondizionamento allo sforzo, tuttavia in condizioni particolarmente compromesse è sconsigliato, poiché potrebbe sovraccaricare il sistema e rappresentare una fonte di danno, più che una risorsa. Vi è da considerare inoltre, l'igiene e la pulizia di tutti i soggetti che usufruiscono della piscina terapeutica, risultano perciò inadatte all'idrochinesiterapia le persone con malattie infettive contagiose o inquinanti per l'acqua, lesioni cutanee o dermatologiche e incontinenza urinaria e/o fecale.

Condizioni neurologiche che presentano episodi epilettici sono da considerare attentamente in quanto l'ambiente acquatico potrebbe rappresentare più un rischio che un beneficio.

Particolare attenzione va posta nelle preferenze del paziente poiché alcuni potrebbero provare gioia e piacere nell'immersione in acqua, altri potrebbero sperimentare una sensazione di discomfort e disagio legato alla fobia per l'acqua, pertanto, la mancanza di compliance al trattamento da parte di questi soggetti può rappresentare una controindicazione.

1.2 ANALISI DEL MOVIMENTO UMANO

1.2.1 Inquadramento storico

L'elettromiografia (EMG) è una tecnica utilizzata per analizzare l'attività elettrica dei tessuti eccitabili come i tessuti muscolare e nervoso. Luigi Galvani, a fine del XVIII secolo, scoprì come l'elettricità fosse coinvolta nell'attività muscolare, applicando una corrente elettrica al muscolo di una rana. Per le prime applicazioni di carattere diagnostico sul corpo umano però, bisognerà aspettare fino alla metà del XIX secolo, quasi un secolo dopo, grazie a Emil du Bois-Reymond che inventò il "galvanometro", uno strumento che rileva le deboli correnti elettriche generate dai muscoli e dai nervi. Tramite questo strumento si iniziò ad analizzare più nel dettaglio i meccanismi di eccitabilità e conduzione nel corpo umano. Verso gli anni '30 del '900, Edgar Adrian esaminò l'attività dei singoli motoneuroni tramite l'uso di EMG, aiutando a formare le basi per approfondire la neurofisiologia. Tra gli anni '50 e '60, questa tecnica si consolidò ulteriormente, con la creazione di sistemi EMG più sensibili e tecnicamente avanzati, che permisero segnali più accurati. Conseguentemente vi fu una applicazione maggiore nella diagnostica patologica soprattutto per lesioni nervose o patologie neuromuscolari come la SLA e la Miastenia gravis. Con la nascita dei computer verso gli anni '70 vi fu un ulteriore incremento delle capacità di registrazione e analisi dei dati. Grazie al forte avanzamento informatico intorno agli anni 2000 e alla nascita di software dedicati, l'elettromiografia divenne un solido strumento per l'analisi dell'attività muscolare e nervosa e quindi per la diagnosi di molte patologie a carattere nervoso. Attualmente l'EMG viene utilizzata in molti ambiti, dalla diagnosi di patologie alla progettazione di protesi bioniche.

L'uso dei sensori inerziali per valutare parametri biometrici a scopi medici, risale tra gli anni '50 e '60, in cui si usarono ingombranti giroscopi e accelerometri per analizzare il movimento umano. Verso gli anni '70 e '80, con l'avvento della microelettronica, i sensori inerziali diventarono sempre più compatti, leggeri e accessibili. In questo periodo, fino a fine degli anni '90 vi fu un crescente interessamento della comunità scientifica allo sviluppo di questi device, che portò alla nascita di device portatili, applicati direttamente al distretto del paziente da analizzare. Intorno agli anni 2000, oltre all'uso di carattere ortopedico, si iniziò ad utilizzare questi device anche nella riabilitazione, per monitorare il movimento di pazienti con malattie neurodegenerative come morbo di Parkinson o per analizzare meglio il progresso nella riabilitazione post-stroke. Attualmente i sensori inerziali vengono usati in svariati ambiti, dall'analisi della postura, all'andamento di molte patologie neuromuscolari, alla ricerca del gesto tecnico in ambito sportivo, fino alla chirurgia assistita da robot.

1.2.2 Modalità di misurazione

Risultano essere diverse le tecniche per il monitoraggio e l'analisi del movimento umano, le più accreditate in letteratura risultano essere l'analisi della contrazione muscolare tramite elettromiografia (EMG), l'analisi dei parametri cinematici quali velocità angolare e accelerazione, effettuata tramite l'uso di sensori inerziali (*IMUs*), oppure tramite strumentazioni più complesse come l'uso di un sistema optoelettronico e la *motion capture* 3D o 2D i quali si avvalgono di telecamere per indagare, oltre a velocità angolare e accelerazione anche la cinematica articolare (angoli di flessione-estensione, rotazione e abduzione). Un'ulteriore modalità di misurazione del movimento risulta essere data dall'uso di pedane dinamometriche, le quali analizzano la forza impressa al suolo dal soggetto analizzato, principalmente durante attività ad alto impatto articolare, come ad esempio i salti, ma anche durante esercizi di equilibrio statico.

Per analizzare il segnale elettrico durante la contrazione muscolare, vi è un processo che inizia con il prelievo del segnale tramite elettrodi di superficie o ad ago, si amplifica e si filtra il segnale e si analizza con l'uso di un computer e software dedicati.

Il segnale EMG è una rappresentazione dei potenziali elettrici generati dalla depolarizzazione e ripolarizzazione delle fibre muscolari. Per la cattura del segnale si usano elettrodi, i quali possono essere ad ago, dunque posizionati intramuscolo, o superficiali, posizionati sui muscoli più superficiali tramite l'uso di adesivi. Il corpo umano rappresenta un buon conduttore elettrico, vi sono però dei tessuti, come quello adiposo, che alterano il segnale, generando un effetto di filtraggio e una attenuazione del segnale catturato. Solitamente, si usano elettrodi di superficie bipolari, ovvero una coppia di elettrodi che misurano il segnale in due punti, sullo stesso muscolo, normalmente posizionati in direzione delle fibre, e il segnale registrato corrisponde alla differenza del potenziale elettrico misurato con i due elettrodi. Per il posizionamento degli elettrodi vi sono delle mappe indicanti gli esatti punti di fissaggio, in base al muscolo analizzato, in quanto a parità di task motorio, l'ampiezza e frequenza del segnale varia, in base al posizionamento degli elettrodi rispetto al ventre muscolare. Tipicamente, si vuole posizionare gli elettrodi sul ventre muscolare, dove il segnale è maggiore e dove si è più distante dai muscoli adiacenti, lontano dal punto di innervazione.

Durante una misurazione con EMG vi è inoltre da considerare, come il segnale elettromiografico abbia un pattern di interferenza casuale. Ciò indica come, a parità di task motorio, è estremamente improbabile osservare gli stessi pattern del segnale, in quanto vi è una certa irregolarità nell'attivazione delle unità motorie coinvolte e nella risposta delle singole fibre contrattili.

Il segnale che ne deriva, risulta essere quindi un segnale “grezzo” per l’importante variabilità nelle singole contrazioni muscolari, inoltre non è da escludere una cattura del segnale elettromiografico anche di muscoli vicini a quelli analizzati, che possono contribuire a rendere il segnale ancora più complesso. Per risolvere questo problema è necessario eliminare la parte non riproducibile del segnale tramite algoritmi specifici che evidenziano l’andamento del trend medio del segnale registrato. Tramite questo processo è possibile visionare un tracciato elettromiografico più nitido e “pulito”. Gli algoritmi utilizzati svolgono un lavoro di filtraggio e rettifica del segnale. Per analizzare, infine, il segnale elettromiografico, si terrà conto sia dei picchi del segnale, utili per indagare le unità motorie contratte in quel momento e quindi la forza massima esercitata dal muscolo, ma anche le variazioni di ampiezza nel tempo, delineanti la fatica muscolare nel tempo, estremamente importanti nella popolazione affetta con patologia neuromuscolare.

Si crea quindi un segnale, avente al suo interno notevoli informazioni quantitative, che permettono di delineare un approccio riabilitativo ancora più funzionale e specifico.

Esistono diverse risorse e dispositivi per l’acquisizione di dati dettagliati durante l’analisi del movimento umano. Uno di questi è rappresentato dagli “*Inertial Measurements Units*” (*IMUs*), conosciuti come sensori inerziali. Gli *IMUs* sono dispositivi compatti e leggeri che includono tre tipi di sensori: accelerometri, giroscopi e magnetometri. Essi misurano rispettivamente l’accelerazione, la velocità angolare e la direzione del movimento del segmento analizzato. La possibilità di implementare e applicare più *IMUs* consente un’analisi simultanea di diversi segmenti coinvolti nel movimento, fornendo una visione più completa.

Sistemi più avanzati e precisi sono costituiti dai sistemi optoelettronici. Questi sistemi utilizzano una serie di telecamere a raggi infrarossi (*fig. 1*), solitamente da 6 a 10 unità, per rilevare e registrare lo spostamento di *markers* rifrangenti applicati sul soggetto durante il movimento.

Successivamente, attraverso software dedicati, viene creata una rappresentazione virtuale estremamente accurata del soggetto analizzato (*fig. 2*). Questo consente un’analisi dettagliata dei



Fig. 1 – Fotocamere a infrarossi



Fig. 2 – Modello virtuale

parametri cinematici (ovvero angoli articolari nelle tre direzioni per le principali articolazioni e segmenti corporei), consentendo una valutazione oggettiva della postura e del movimento. Vengono riportate, sottostante, le classiche curve degli angoli di flessione-estensione di caviglia, ginocchio e anca durante un ciclo del passo (*fig. 3*).

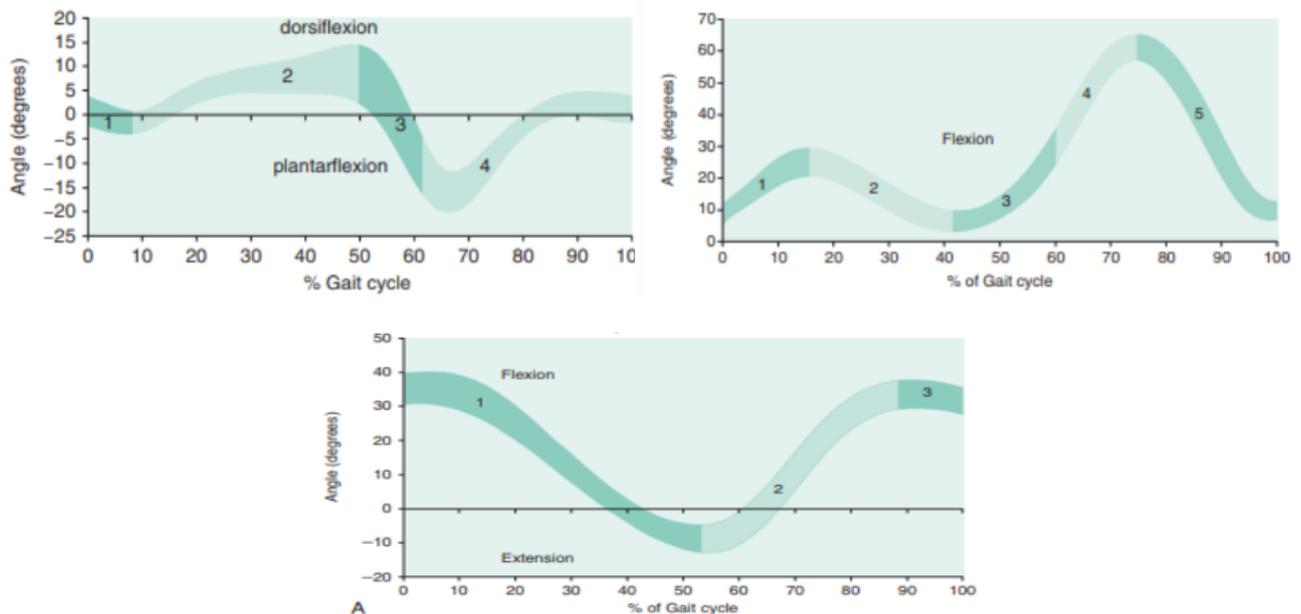


Fig. 3 – Flessione-estensione, in alto, di caviglia e ginocchio, in basso, di anca

Un'altra opzione per l'analisi del movimento è l'uso di pedane dinamometriche, che si concentrano sulla valutazione della forza applicata dal corpo su un piano (*fig. 4*). Queste pedane sono dotate di una matrice di sensori di pressione situati sotto la superficie, i quali misurano la pressione e la forza esercitata dal corpo durante attività come la deambulazione, la corsa, attività ad alto impatto come i salti o per l'analisi della postura. L'analisi di questi dati avviene attraverso software specifici, consentendo la valutazione dell'equilibrio, della postura, della simmetria del carico e della distribuzione delle forze durante attività specifiche. Queste pedane misurano la risultante delle forze applicate al terreno, composta da tre componenti (X, Y, Z) che indicano la forza di spostamento antero-posteriore (accelerazione e frenata durante il cammino), la medio-laterale e la verticale (o forza peso). Il punto di applicazione di queste forze corrisponde al centro di pressione (CoP). Lo stabilogramma è il tracciato temporale delle due coordinate del CoP (antero-posteriore e medio-laterale). Lo statokinesiogramma invece, è il tracciato della traiettoria seguita dal CoP durante un test di equilibrio statico, in cui il tracciato assume la nota forma a gomito. Da questo si possono derivare una serie di parametri ampiamente studiati per identificare deficit dell'equilibrio, come la Sway Path (mm/sec) (lunghezza della traiettoria normalizzata alla durata di acquisizione e perciò coincidente con la velocità media); la Sway Area (mm²/sec) (area spazzata dal raggio che connette il

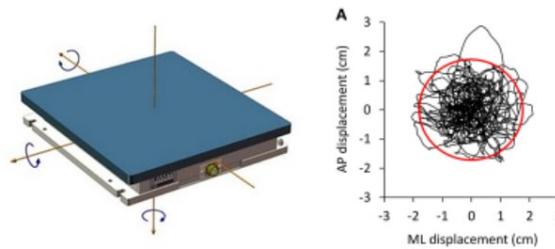


Fig. 4 – Pedana di forza e grafico Sway Area

punto medio della traiettoria a tutti i successivi punti della traiettoria stessa), il rapporto SA/SP (mm) (rapporto fra Sway Area e Sway Path); l'Area Ellisse (mm²) (il più piccolo ellisse che contiene il 95% dei punti della traiettoria. È un altro modo di valutare l'ampiezza delle oscillazioni). I dati delle pedane di forza si possono anche analizzare assieme alle variabili cinematiche derivate dai sistemi stereofotogrammetrici per misurare le variabili dinamiche, ovvero le forze e i momenti applicati alle articolazioni durante il cammino. La forza di reazione al suolo infatti genera momenti esterni alle articolazioni che devono essere contrastati da adeguata azione muscolare. Per esempio durante la risposta al carico la risultante delle forze di reazione al suolo si trova posteriormente al ginocchio flesso, creando un momento flessorio (fig. 5). Per stabilizzare il ginocchio è necessaria l'azione del quadricipite per una risposta estensoria. La potenza articolare è invece il prodotto tra momento articolare e velocità angolare del movimento, perciò quando la direzione del movimento coincide con la direzione del momento, si dice che l'articolazione sta generando potenza e, durante il cammino, può essere correlata ad una contrazione concentrica (il muscolo produce movimento). Altrimenti l'articolazione assorbe potenza e, nel cammino, può esserci una contrazione eccentrica (il muscolo frena il movimento generato da forze esterne).

Le pedane baropodometriche sono sistemi che permettono di misurare le pressioni plantari in fase statica e dinamica, ovvero la distribuzione delle forze sulla pianta del piede. L'esame baropodometrico permette di evidenziare la presenza di alterazioni posturali o elevata zona di

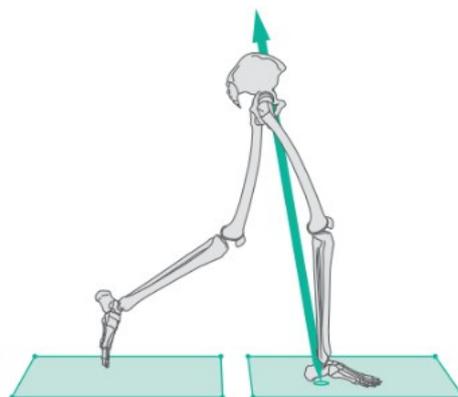


Fig. 5 – Risultante forza di reazione al suolo

pressione, di osservare l'efficacia di protesi e plantari e di valutare gli effetti di terapie farmacologiche (fig. 6).

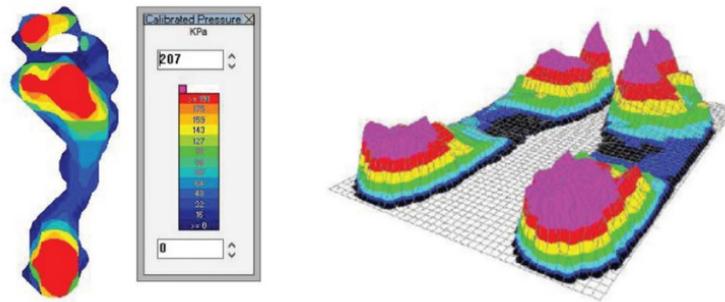


Fig. 6 – Zone di pressione all'esame baropodometrico

1.2.3 Misurazione in acqua

Come precedentemente descritto, l'elettromiografia e i sensori inerziali possono rivestire un ruolo importante per analizzare l'attività muscolare e i pattern di movimento sia in soggetti sani, come ad esempio sportivi che ricercano il gesto atletico, ma anche in soggetti con patologie ortopediche o neuromuscolari, per monitorare l'andamento e garantire un percorso riabilitativo quanto più coerente ed efficiente possibile, rispetto alla fase e alla natura evolutiva della patologia. Per questi ultimi soggetti, la riabilitazione in acqua può essere dunque sfruttata sia con una modalità facilitatoria, sia con una modalità allenante, rispetto agli esercizi e ai movimenti che si vogliono ricercare. Da questi presupposti, si è creata, negli anni la curiosità di implementare i dispositivi indossabili per l'analisi elettromiografica e cinematica anche in questo ambiente, per studiare eventuali modificazioni dell'attività contrattile e dei pattern motori.

Vi sono però degli importanti accorgimenti da adottare, per garantire un segnale pulito e quanto più preciso in acqua. Per il corretto funzionamento dei dispositivi elettromiografici risulta necessario depilare la pelle del soggetto e pulirla con alcol, per rimuovere eventuali residui di peluria e pelle morta, procedimento necessario per ridurre inoltre l'impedenza dell'elettrodo sia dentro che fuori dall'acqua. Successivamente all'applicazione degli elettrodi tramite adesivi, riveste un ruolo fondamentale per tutti i dispositivi indossabili, il processo di impermeabilizzazione tramite pellicole applicate direttamente sulla cute, siano essi impermeabili o meno. Questa operazione garantisce l'assenza del passaggio dell'acqua sul dispositivo, la quale potrebbe alterare il segnale registrato, inoltre limita i movimenti indesiderati sia del dispositivo, ma soprattutto dei cavi, che a contatto con l'acqua, potrebbero muoversi, generando artefatti e quindi un importante disturbo nel segnale

registrato. Inoltre, è necessario che i sistemi utilizzati siano in grado di registrare il segnale, utilizzando una memoria interna al sensore, in quanto la trasmissione del segnale in telemetria non è possibile attraverso il mezzo acqua. Vi è da considerare, infine, anche il completo isolamento del device dalla generazione di corrente elettrica, che risulterebbe pericolosa per il soggetto.

2. REVISIONE DELLA LETTERATURA

2.1 STRATEGIA DI RICERCA

Inizialmente è stata condotta una ricerca di tipo *Scoping review* sui principali motori di ricerca di carattere scientifico. L'obiettivo per questa fase è l'analisi dei device più utilizzati in acqua, delle metodologie e di eventuali linee guida, per effettuare l'elettromiografia di superficie e l'analisi biometrica su soggetti (sia soggetti sani, che affetti da patologia neuromuscolare) in acqua.

La ricerca è stata condotta interessando i principali motori di ricerca di carattere scientifico quali PubMed, PEDro, Cochrane library e Scopus.

La ricerca è stata effettuata usando gli operatori booleani "AND" e "OR" e tramite l'utilizzo delle seguenti parole chiave:

"technology" ; *"sensor*"* ; *"device*"* ; *"physical monitoring"* ; *"recording"*
"movement" ; *"joint angles"* ; *"muscles force"*
"neuromuscular disease" ; *"Charcot-Marie-Tooth"* ; *"Charcot-Marie-Tooth disease"*
"hydrotherapy" ; *"hydrokinesitherapy"* ; *"in-water"* ; *"water-based"* ; *"aquatic"*

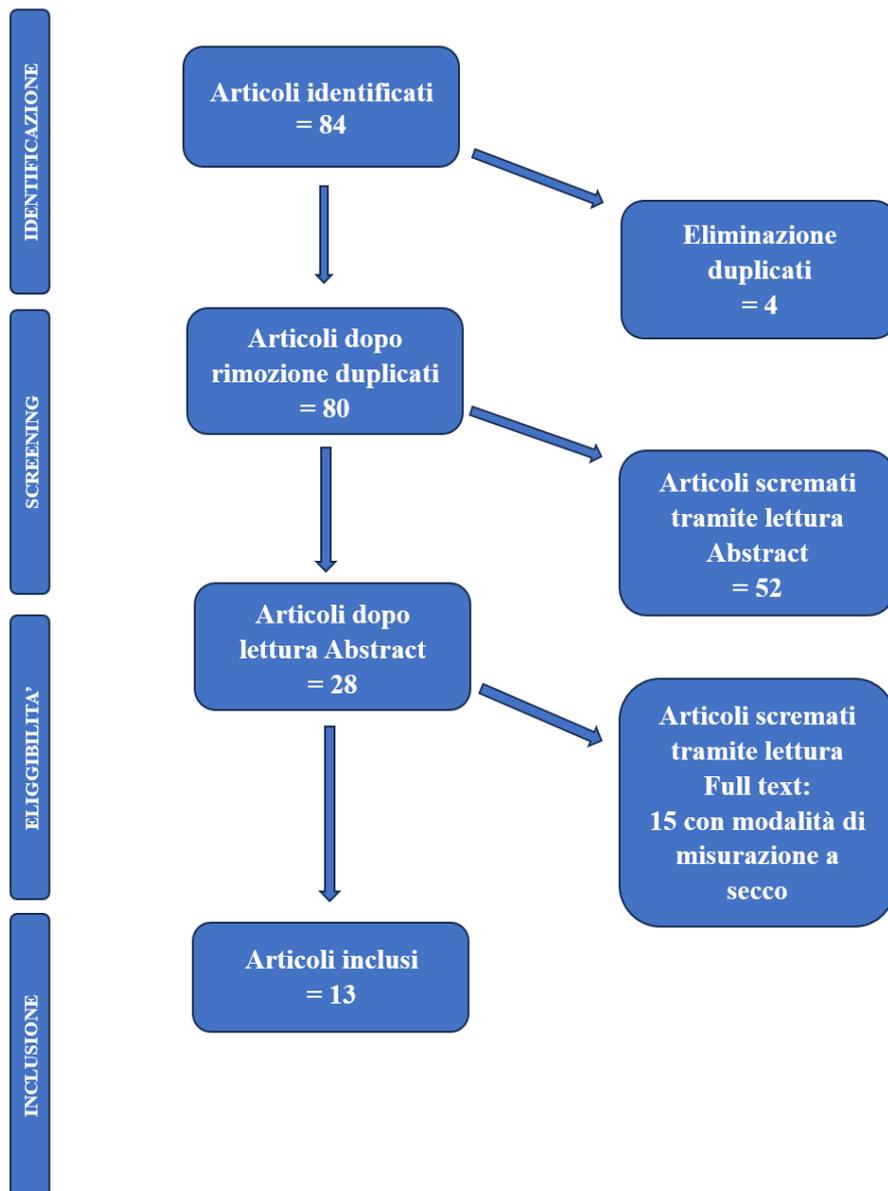
Le seguenti parole sono state successivamente combinate in diverse stringhe di ricerca in base alle disponibilità dei motori di ricerca effettuati. Non sono stati inseriti particolari filtri di ricerca, ad esclusione dell'anno di pubblicazione, non precedente al 2019. La selezione, comprendente solo gli articoli in lingua inglese, è stata condotta dapprima attraverso la lettura del titolo, successivamente dell'abstract e infine del full text, per determinarne l'idoneità. Tramite il titolo sono stati selezionati 84 articoli (*fig. 7*), di cui 4 duplicati. Degli 80 articoli inclusi, ne sono stati esclusi 52 successivamente alla lettura dell'abstract. I rimanenti 28 articoli sono stati analizzati tramite lettura del full text. Di questi, 15 analizzano il movimento fuori dall'acqua. Gli articoli inclusi risultano così essere 13, divisi in:

-2 studio osservazionale

-2 studi di fattibilità

- 1 studio di validazione
- 6 studi comparativi
- 1 Systematic Review
- 1 studio pilota

Fig. 7 - Diagramma di flusso articoli inclusi



2.2 CRITERI DI INCLUSIONE ED ESCLUSIONE

Per lo sviluppo della Scoping review, si sono determinati dei criteri di inclusione ed esclusione per garantire una ricerca coerente. Sono stati considerati tutti gli articoli, sia di studi primari, che secondari, per garantire un'analisi più ampia.

I criteri di inclusione risultano essere:

- studi non precedenti all'anno 2019
- tutte le tipologie di studio presenti nella letteratura esaminata
- studi svolti in lingua inglese
- presenza del *full text*
- qualsiasi soggetto preso in esame, sia esso sano o patologico (sia con patologie di carattere ortopedico che neuromuscolari)
- esecuzione di analisi del movimento umano
- analisi del movimento umano svolta anche in acqua

Sono stati, invece, esclusi articoli per i seguenti criteri:

- assenza del *full text*
- articolo svolto in una lingua diversa dall'inglese
- esecuzione dell'analisi elettromiografica e biometrica solo a secco
- studi precedenti al 2019

2.3 SELEZIONE DEGLI STUDI

Di seguito si propone una tabella sinottica che riassume gli studi presi in considerazione.

Titolo, autore, anno di pubblicazione	Obiettivi dello studio	Popolazione inclusa	Intervento	Controllo	Outcome	Risultati
Accelerometer-based prediction of ground reaction force in head-out water exercise with different exercise intensity countermovement jump, Chien et al., 2022 (11)	Determinare il miglior posizionamento degli accelerometri durante un salto con contro-movimento a diversa intensità. Determinare correlazioni fra Ground reaction forces e accelerazione	20 donne sane di età 23.6 ± 1.83	Posizionati 3 accelerometri triassiali (TSD109F, Biopac Systems Inc.), sopra il malleolo tibiale, su L5 e su C7 e una pedana dinamometrica (OR6-WP, AMTI). Applicazione di pellicola impermeabile. Si chiede di effettuare in acqua dei salti con contro-movimento a tempo con un metronomo		Accelerazione dei tratti presi in esame e forza applicata sulla pedana	Il pattern di accelerazione di C7 è coerente con quello della forza applicata. Sul tratto lombare si registra un pattern simile. A livello tibiale si determina una minor accelerazione rispetto alla forza applicata.
Reliability of measuring leg segments and joints angles using smartphones during aquatic exercise, Lee et al., 2022 (12)	Investigare l'affidabilità di misurare segmenti e angoli articolari su arto inferiore attraverso l'uso di uno smartphone durante la deambulazione in acqua	19 partecipanti sani	Posizionati smartphone (Samsung Galaxy S8) su terzo medio di coscia, terzo medio di gamba e a livello lombare, tramite fasce impermeabili. Si è chiesto di camminare per 14 passi in acqua (110 cm)		Angoli articolari	Le misure effettuate a coscia, gamba e tronco risultano avere una buona o eccellente affidabilità
Land and under-water gait analysis using wearable IMU, Monoli et al., 2021 (13)	Sviluppare e validare un metodo per monitorare la cinematica del passo sotto acqua usando IMU	Non definiti	Confrontare il cammino con IMU waterproof (BNO055) senza metodi di impermeabilizzazione esterni, sistema optoelettronico a 6 camere (Vicon-460, Oxford Metrics LTD) e motion capture a secco (ASUS Zenfone 3 + Sony Alpha A5000). Poi confronto cammino con IMU e motion capture in acqua		Analisi dell'angolo del ginocchio durante il passo	Comparando i risultati fra sistema optoelettronico, motion capture e IMU si è concluso che il sistema di IMU è efficace per un uso sia su terra che in acqua per valutare l'angolo del ginocchio durante il passo

Effect of walking speed during gait in water of healthy elderly, Fantozzi et al., 2020 (14)	Investigare l'effetto della velocità del cammino in acqua sui parametri spazio-temporali e sulla cinematica articolare. Confrontarlo poi con il cammino fuori acqua e con quello di soggetti giovani di studi precedenti	9 soggetti anziani sani (73.5 ± 5.8 anni)	Posizionati 5 sensori inerziali (Opal, APDM), su sterno, pelvi, coscia, tibia e piede inserite in box di plastica impermeabili. Si chiede deambulazione in acqua (1.2 m) per 10 m a velocità comfort	Angoli articolari durante il cammino e parametri spazio-temporali del cammino quali lunghezza del passo, tempo in monopodalica, tempo di swing, numero di passi e velocità del cammino	Riduzione della velocità di cammino in acqua, la fase monopodalica leggermente aumentata in acqua. Anziani presentano una riduzione del 50% della distanza del passo rispetto ai giovani, in acqua. Nel cammino vi in acqua degli anziani vi è maggior flex anca nello swing, e maggior flex ginocchio e meno flessione plantare del piede durante lo swing, ma maggior inversione durante la monopodalica	
Features of acceleration and angular velocity using thigh IMUs during walking in water, Kaneda et al., 2020 (15)	Comparare il cammino in acqua con quello a secco usando IMUs su coscia e registrando con videocamera	6 uomini e 4 donne (30 ± 6 anni) sani	Posizionati 2 IMUs (LP-WS0904) sul terzo medio di coscia (bilat.) rese impermeabili tramite buste con zip e nastro adesivo. Si chiede deambulazione per 10 m in acqua (1.35m) a velocità comfort e a secco + uso telecamere (DCR-TRV900, Sony)	Velocità del cammino, tempo in monopodalica, angoli di ginocchio, bacino e anche	In acqua il ginocchio è più flex durante l'appoggio del tallone e durante lo swing. Le anche presentano maggior flex e diventa maggiore all'aumento della velocità. Velocità del passo maggiore a secco come la fase monopodalica	
Muscle Activation and Distribution during Four Test/Functional Tasks: A Comparison between Dry-Land and Aquatic Environments for Healthy Older and Young Adults, Cuesta-Vargas, 2020 (16)	Comparare l'attività muscolare durante l'inizio del passo, la svolta durante il passo, il sit-to-stand e il gradino tra ambiente fuori acqua e dentro l'acqua usando l'elettromiografia di superficie. Inoltre analizza l'affidabilità dei device per EMG in entrambi gli ambienti	14 giovani adulti, 7 donne e 7 uomini di età 22 ± 3.1 14 vecchi adulti, 7 donne e 7 uomini di età 72.57 ± 5.43 Tutti sani, senza nessuna patologia	Posizionati 8 elettrodi (ME6000, Mega Electronics) su diversi muscoli. Fatti eseguire i movimenti seguendo un preciso protocollo, prima fuori acqua, poi in acqua	Esecuzione medesimi movimenti fuori dall'acqua	Dati EMG: -attivazione reale del muscolo definita come differenza tra minima e massima contrazione -attivazione muscolare individuale -coinvolgimento di un muscolo nel preciso movimento	Attività dei muscoli del tronco e schiena è maggiore in acqua che su terra, maggior attivazione dei muscoli AAII su terra che in acqua.

Wearable Biofeedback Suit to Promote and Monitor Aquatic Exercises: A feasibility study, Gandolla et al., 2020 (17)	Analizzare i biofeedback adattivi durante esercizi in acqua, per migliorare l'efficacia degli esercizi proposti, tramite l'uso di una prototipo di tuta	Effettuato un test pilota sia a secco che in acqua su volontari (numero non specificato)	Hanno progettato una tuta che comprende tronco, AASS e AAIL, con alloggiamenti impermeabili (tramite box di plastica) dove inserire i sensori IMU (BOSCH BNO055)		L'outcome principale dello studio è verificare la fattibilità di utilizzo del prototipo tuta. Essa analizza gli angoli articolari e fornisce dei feedback visivi a schermo in tempo reale (ampiezza di movimento, velocità del movimento predeterminato dal terapista) per migliorare l'esecuzione di un esercizio	Lo studio dimostra la fattibilità di utilizzo della tuta da loro progettata e testata sia fuori acqua che in acqua termale e non
--	---	--	---	--	--	--

A review of muscle activation behaviour during gait in shallow water and deep-water running and surface electromyography procedures, Silva et al., 2020 (18)	Analizzare l'attività elettromiografica durante la corsa in acqua poco profonda e profonda, comparate alla corsa fuori acqua e analizzare le procedure per l'elettromiografia di superficie in acqua	10 articoli che soddisfano i requisiti di ricerca, cercati in 8 database diversi. Tutti analizzano persone sane	Gli studi sono stati divisi in 4 gruppi: 1. comparazione fra camminata fuori acqua e in acqua bassa, 2. comparazione fra camminata fuori e dentro acqua su tapis roulant, 3. comparazione fra camminata in acqua su tapis roulant fra donne giovani e anziane, 4. comparazione fra corsa in acqua profonda e corsa fuori acqua su tapis roulant	Gli studi sono stati selezionati da 2 persone diverse, una revisione finale è stata fatta da una terza persona	I parametri analizzati sono: con o senza tapis roulant, con o senza carico extra, temperatura acqua, percentuale di immersione e muscoli valutati. Per EMG: tipo di elettrodo, frequenza, normalizzazione, descrizione della protezione dell'elettrodo	Per gruppo 1: attività muscolare maggiore nella deambulazione in acqua Per gruppo 4: attività muscolare inferiore in acqua rispetto a fuori acqua. Per EMG: attività soleo ridotta in acqua, attività gastrocnemio mediale, retto femorale e vasto mediale maggiore con velocità maggiore, attività bicipite femorale e gluteo maggiore in acqua
---	--	---	---	--	--	--

Titolo, autore, anno di pubblicazione	Obiettivi dello studio	Popolazione inclusa	Intervento	Controllo	Outcome	Risultati
Effect of changing water depth on muscle activity	Analizzare se il cambiamento dell'altezza dell'acqua	11 partecipanti sani	Applicazione EMG (LP-WS1221) rese impermeabili tramite		Gli outcome sono: attività dei muscoli degli AAIL e del tronco,	-retto femorale più attivo in acqua bassa rispetto ad acqua profonda ma meno attivo rispetto alla terra

and motion kinematics during sit-to-stand motion, Kaneda, 2020 (19)	influenza attività muscolare e la cinematica durante il movimento di sit-to-stand (STS)		pellicola trasparente + sistema motion capture (VENUS 3D). I partecipanti eseguono STS con acqua ad 1 metro (profonda) e 0.6 metri (poco profonda)	angoli di AAIL, angolo di inclinazione tronco.	-correlazione maggiore del pattern di attività muscolare fra tibiale anteriore, retto femorale, erector spinae -tronco con inclinazione maggiore in acqua bassa rispetto alla terra ma meno che in quella alta -correlazione del pattern fra anca e inclinazione tronco su terra-acqua poco profonda che in acqua profonda -nessuna differenza significativa su altri muscoli
Investigation the EMG Activities of lower limb muscles when doing squatting exercise in water and on land, Yuen et al., 2019 (20)	Analizzare attività elettromiografica e le differenze di massima contrazione volontaria tra retto femorale e bicipite femorale con squat in acqua e su terra	10 partecipanti sani, tra 18 e 40 anni, capaci di effettuare uno squat	Applicati dei marker analizzati tramite camera (GoPro HERO3) e EMG (SX230 surface EMG sensor) rese impermeabili tramite pellicola e bendaggio liquido. Eseguito squat su terra, seguito da una massima contrazione volontaria di retto e bicipite femorale. Fare la stessa cosa in acqua	Attività muscolare tramite EMG.	Minor attività muscolare durante lo squat in acqua. Bicipite f. crea maggior contrazione su terra che in acqua. La contrazione massima di entrambi i muscoli è stata invece minore in acqua
The features of muscle activity during chair standing and sitting motion in submerged condition, Kaneda, 2019 (21)	Misurare l'attività muscolare e la cinematica durante sit-to-stand, in immersione e non immersione	20 partecipanti (maschi) sani	Applicati EMG (LP-WS1221) rese impermeabili tramite pellicola adesiva. Usato inoltre un sistema di motion capture (VENUS 3D) tramite il posizionamento di marker. Eseguiti 5 sit-to-stand fuori acqua su seduta senza schienale, eseguiti poi in acqua (1 m)	Attivazione muscolare per tib. Ant., gastrocnemio med., retto femorale, bicipite femorale, retto add., erector spinae	Attività gastrocnemio minore in acqua sia per sit-to-stand che stand-to-sit. Attività retto femorale minore in acqua per entrambi i movimenti. Attività bicipite fem., minore in acqua durante il sit-to-stand, durante il stand-to-sit l'attività è uguale in entrambi gli ambienti. Attività retto add., minore in acqua, per entrambi i movimenti. Attività erector spinae minore in acqua in entrambi i

movimenti eccetto nella fase di estensione del tronco in cui l'attività è maggiore in acqua. L'attività muscolare maggiore è stata trovata tuttavia sul bicipite fem. durante il stand-to-sit in acqua.

Titolo, autore, anno di pubblicazione	Obiettivi dello studio	Popolazione inclusa	Intervento	Controllo	Outcome	Risultati
Aquatic Therapy after Incomplete Spinal Cord Injury: Gait Initiation Analysis Using Inertial Sensors, Fantozzi, 2022 (22)	Comparare l'inizio della deambulazione in pazienti con lesione spinale tra un ambiente fuori acqua e uno in acqua con IMUs (1)	10 pz 1 M, 9 F 65 ± 8 anni Da L5 a C6 Con lesione mielica incompleta e con ASIA D Deambulazione come spostamento iniziale	Posizionamento 4 sensori waterproof (WaveTrack, Cometa, Milano). Si chiede di iniziare il passo, prima a secco, dopo in acqua (120 cm, 30°C)	Inizio del passo fuori dall'acqua	Dati IMUs: -durata APA (2) -durata primo passo -accelerazione in diverse direzioni	No differenze negli APA Durata primo passo maggiore in acqua Minor accelerazione del tronco nel primo passo
Muscular activation changes in lower limbs after underwater gait training in Parkinson's disease: A surface emg pilot study, Volpe et al., 2020 (23)	L'obiettivo è registrare EMG in acqua per dimostrare un beneficio dell'idroterapia per pz con Parkinson (con la deambulazione)	20 partecipanti, divisi in 2 gruppi, 10 e 10 di età comparabile	Analizzano il passo tramite sistema stereofotogrammetrico a 8 camere, 2 piastre (BTS) e una EMG (FREEEMG1000) , un gruppo a terra, un gruppo 40 minuti al giorno, 5 giorni/sett. per 3 settimane, deambulazione in acqua	Un gruppo di controllo che non svolgerà deambulazione in acqua, viene solo misurata l'attivazione muscolare su terra.	Analisi del passo e attività muscolare di retto femorale, bicipite femorale, tibiale anteriore e gastrocnemio laterale per ogni AI	Si dimostra una miglior attivazione concentrata, nelle componenti fondamentali per stacco e swing durante il passo. Vi è ancora da dimostrare la durata di questa normalizzazione dell'attivazione muscolare

Tab.1 - Tabella sinottica degli articoli inclusi

2.4 ESTRAZIONE DEI DATI

Sono stati analizzati 13 articoli inclusi nello studio. Tutti gli articoli si pongono l'obiettivo di valutare in modo oggettivo il movimento umano, attraverso l'uso di diversi sensori, in acqua. Gli articoli che prendono in considerazione l'analisi del movimento su partecipanti sani risultano essere 11. Solo due, sono gli articoli che analizzano soggetti con patologie: affetti da lesione mielinica (22) e con morbo di Parkinson (23). 9 articoli, confrontano il movimento sia a secco che in acqua. (13,15,16,17,18,20,21,22,23)

Alcuni articoli affiancano l'analisi del movimento tramite sensori indossabili, con tecniche molto precise come un sistema optoelettronico con fotocamere (13,23), o l'uso di un sistema di *motion capture* 3D (13,19,21) o 2D (15,20). Sono solo 2 gli articoli che affiancano ai sensori indossabili, anche le pedane dinamometriche (11,23).

Gli articoli che considerano tecniche di EMG di superficie risultano essere 6 (16,19,20,21,23). Solamente 1 articolo usa specificatamente un accelerometro (11), mentre sono 5 gli articoli che usano *IMUs* contenenti accelerometro, giroscopio e magnetometro (13,14,15,17,18,22).

Da riportare, la presenza di un articolo che utilizza 3 smartphone, contenenti accelerometro e giroscopio, per effettuare l'analisi del movimento tramite applicazione dedicata. (12)

Il posizionamento dei device è molto simile, focalizzando l'attenzione sugli arti inferiori e sulla pelvi. Sono 3 gli studi che analizzano anche segmenti più craniali come arti superiori e tratto cervico-toracico (11,14,17).

L'attività maggiormente analizzata sia per la valutazione di parametri spazio-temporali che per la performance muscolare risulta essere la deambulazione, esaminata in 8 studi. Altre attività valutate sono il salto con contro-movimento (11), il *sit-to-stand* (16,19,21), lo *squat* (20).

Gli outcome maggiormente interessati risultano essere accelerazione e velocità angolari dei segmenti presi in esame tramite l'uso di *IMUs* o accelerometri o smartphone e/o sistema di *motion capture*.

La contrazione muscolare risulta essere esaminata da 6 studi, tutti su soggetti sani (16,18,19,20,21), eccetto uno, che analizza la contrazione su pazienti con morbo di Parkinson (23). Risultano essere solo 2 gli studi che analizzano la forza impressa al terreno in concomitanza con l'analisi del movimento (11,23).

Per la misurazione della contrazione muscolare si può notare una eterogeneità nell'uso di specifici device sviluppati ad hoc. Si dimostra una certa omogeneità nella frequenza di campionamento durante l'acquisizione dati che si appresta maggiormente a 1 kHz. Solo uno studio ha utilizzato una frequenza di 2 kHz. (16)

Per l'analisi di parametri spazio-temporali vi è molta diversificazione nella frequenza durante l'acquisizione dei dati, con una frequenza di campionamento che varia da un minimo di 100 Hz ad un massimo di 1 kHz.

Mentre, riguardo l'analisi di parametri spazio-temporali, sia per dispositivi indossabili che per sistemi di acquisizione video, si può apprezzare come non tutti gli studi prendano in considerazione dispositivi progettati appositamente per questo utilizzo, infatti una parte di studi, considerano l'utilizzo di dispositivi normalmente destinati ad un pubblico più generico.

Tutti gli studi sono concordi nell'uso di materiali impermeabili per isolare maggiormente i dispositivi utilizzati, siano essi normalmente impermeabili o meno. Vi è una netta maggioranza di studi che prendono in considerazione l'uso di pellicole impermeabili adesive, ulteriormente assicurate dall'uso di nastro biadesivo o bendaggio liquido, solo 2 studi utilizzano dei casi di plastica, assicurati con nastro biadesivo per isolare i dispositivi (14,17).

3. RISULTATI

3.1 ANALISI DEI RISULTATI

L'obiettivo della Scoping review precedentemente riassunta, mira a individuare e illustrare le modalità più accreditate per l'analisi del movimento umano in ambiente acquatico tramite l'utilizzo di dispositivi indossabili. Dalla raccolta dei dati, sui 13 articoli presi in esame, emergono delle caratteristiche e delle peculiarità da evidenziare ed approfondire maggiormente.

I dispositivi indossabili attualmente disponibili sul mercato risultano essere una solida alternativa per il monitoraggio del movimento umano in acqua, caratterizzandosi per la loro economicità e versatilità. Alcuni studi, tuttavia, prediligono il confronto con sistemi più sofisticati, come i sistemi optoelettronici, caratterizzati dall'uso di una serie di telecamere che registrano il movimento da angolazioni e distanze diverse, integrando i dati acquisiti. Essi risultano essere estremamente funzionali e accreditati, ma risultano costosi, ingombranti e non idonei per una misurazione nell'ambiente acquatico. Altri studi, invece, ricorrono, per il confronto dei dati, a tecnologie meno complesse come la *motion capture* 3D e 2D. Tramite l'applicazione di marker sul soggetto e l'uso di normali fotocamere, anche impermeabili, consentono l'acquisizione, tramite l'uso di software dedicati, di dati essenziali per l'analisi del movimento sia in acqua che a secco.

Una porzione di studi invece, affianca la misurazione tramite device indossabili con quelle relative alla forza esercitata sul terreno utilizzando pedane dinamometriche. Queste ultime offrono

informazioni rilevanti, in particolar modo per movimenti ad alto impatto degli arti inferiori, come ad esempio, il salto, pertanto risultano più pertinenti negli studi *sport-oriented*.

Nell'attuale contesto di avanzamento tecnologico, si può osservare come alcuni studi si affidino esclusivamente ai dispositivi indossabili, quali gli *IMUs* ed EMG di superficie per effettuare le misurazioni del movimento. Questi dispositivi risultano essere particolarmente compatti, leggeri e intuitivi nell'utilizzo. Nonostante le dimensioni molto ridotte, gli *IMUs* includono al loro interno ben 3 sensori quali accelerometro, giroscopio e magnetometro. In tutti gli *IMUs* attualmente in commercio, i 3 sensori sopracitati risultano essere triassiali, cioè permettono la misurazione su tutti i piani di movimento, comportando una misurazione più precisa, anche di movimenti complessi, come ad esempio, il cammino. Inoltre, l'applicazione simultanea degli *IMUs* su diversi segmenti, consente un'analisi dettagliata dei singoli segmenti implicati nel movimento, permettendo una maggior comprensione dei punti di forza e di criticità del soggetto, per lo sviluppo del programma riabilitativo.

Analogamente, grazie alla loro praticità ed immediatezza d'uso le EMG di superficie risultano essere un valido strumento per analizzare la contrazione muscolare durante un preciso movimento. Per la valutazione in funzione riabilitativa, essi si configurano come un ottimo metodo per individuare le cause di un movimento alterato e orientare la pratica riabilitativa.

Si evidenzia invece, come uno degli articoli considerati non utilizzi dispositivi dedicati alla misurazione del movimento, ma adotti l'uso di comuni *smartphone*. Questi dispositivi presentano attualmente, una varietà di chip per svolgere le loro funzioni tra cui accelerometro e giroscopio. Grazie ad applicazioni dedicate, essi permettono un'accurata analisi del movimento, rivelandosi strumenti economici ed intuitivi.

In contrapposizione invece, si nota come nello studio di Gandolla et al. (17), si effettui una integrazione tra diversi *IMUs*, per la creazione di una tuta ideata per permettere l'analisi del movimento anche in acqua, dimostrando l'alto grado di adattamento di questi dispositivi per soddisfare esigenze specifiche di ricerca.

L'impermeabilizzazione dei dispositivi rappresenta un aspetto cruciale per la conservazione dell'integrità dei dati raccolti. La letteratura offre due metodi principali: l'uso di pellicole adesive impermeabili, ulteriormente sigillate da nastro adesivo o bendaggio liquido e l'applicazione di box rigide in plastica, sigillate anch'esse con nastro adesivo. Entrambi i metodi si sono dimostrati efficaci, in quanto nessuno studio ha dichiarato problematiche relative all'infiltrazione di acqua nell'impermeabilizzazione, tuttavia l'applicazione di box rigide sulla pelle potrebbe costituire un impaccio per il soggetto coinvolto nell'analisi.

Nonostante l'acqua, grazie alla proprietà di galleggiamento, rappresenti un ambiente favorevole per la riabilitazione di pazienti con condizioni patologiche che comportano indebolimento muscolare, si evidenzia poco interessamento nell'analizzare il movimento umano su queste tipologie di pazienti nell'ambiente acquatico. Risultano essere solo due, gli articoli che analizzano il cammino, rispettivamente su pazienti con lesione midollare e morbo di Parkinson. Entrambi gli articoli non dichiarano difficoltà ulteriori legate alla condizione patologica nell'analisi di questi pazienti. Questa limitazione suggerisce un'area di ricerca promettente e rilevante, finalizzata a esplorare gli effetti della riabilitazione in acqua su tali pazienti.

L'uso di dispositivi indossabili economici e versatili sta emergendo come una valida opzione, le future ricerche potrebbero continuare l'esplorazione di queste metodologie per approfondire la comprensione del movimento umano in ambienti acquatici e migliorare l'efficacia della pratica riabilitativa.

4. CASE REPORT: Elaborazione di una proposta riabilitativa sulla base dei risultati ottenuti dalle valutazioni eseguite in acqua

4.1 CHARCOT-MARIE-TOOTH

4.1.1 Inquadramento storico

La patologia di Charcot-Marie-Tooth (CMT) è un termine ombrello che comprende disturbi nervosi periferici, con carattere ereditario e fenotipico differente. In alcuni casi colpisce l'assone, in altri la mielina. Colpisce prevalentemente i piedi e gli arti inferiori e provoca una lenta e progressiva atrofia muscolare, data dalla scarsa conduzione nervosa. Può comportare, nelle regioni colpite, fibrillazioni e crampi e sintomi vaso motori. Tuttavia, le afferenze sensitive sono preservate. Nel Febbraio del 1886 Jean-Martin Charcot (*fig. 8*) e Pierre Marie (*fig. 9*) descrissero 5 casi, da 7 a 25 anni, affetti da una "particolare forma di atrofia muscolare progressiva". Riportarono un ispessimento del tendine d'Achille, atrofia distale di coscia e gamba, piede cavo, dita a martello, mani ad artiglio e deambulazione steppante. Notarono inoltre areflessia dell'arto inferiore e sensibilità conservata, escluso un caso. Tramite autopsia identificarono una demielinizzazione della colonna posteriore del midollo e un aumento del tessuto connettivo lungo le fibre nervose atrofizzate, avanzarono quindi l'ipotesi di una mielopatia.

Nello stesso anno Howard Henry Tooth (*fig. 10*) descrisse 5 casi con le medesime caratteristiche e constatò un maggiore interessamento ai muscoli peronei, bilateralmente e in alcuni casi ai muscoli

tibiale anteriore, estensore lungo delle dita, gastrocnemio. La descrisse come una “atrofia muscolare progressiva dei peronei” e additò la causa ad una disfunzione nervosa periferica.

Negli anni altri studiosi riportarono casi simili. Dejerine e Sottas ipotizzarono correttamente una disfunzione delle cellule di Schwann. Una prima classificazione fu creata nel 1960 da Dyck e Lambert che ipotizzarono 2 gruppi: CMT1 (polineuropatia ipertrofica con interessamento delle cellule di Schwann) a carattere autosomico dominante e CMT2 a carattere recessivo (con degenerazione nervosa). Nel 1978, Heimler dimostrò il carattere ereditario, autosomico dominante. (24)



Fig. 8 – Jean Martin Charcot



Fig. 9 – Pierre Marie

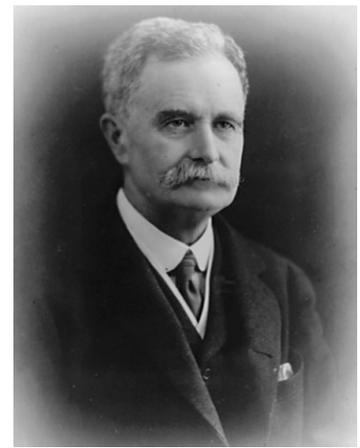


Fig. 10 – Howard Henry Tooth

4.1.2 Fisiopatologia

Attualmente la patologia di Charcot-Marie-Tooth viene utilizzata come termine ombrello per descrivere un gruppo geneticamente eterogeneo di neuropatia a carattere ereditario con interessamento motorio e/o sensitivo e con alcune caratteristiche comuni.

La CMT è la più comune neuropatia ereditaria, la sua prevalenza è di 1:2500, con un picco di prevalenza in Norvegia (1:1214) e una prevalenza minore in Giappone (1:9200).

Si può manifestare con diversi pattern in base all’ereditarietà (autosomica dominante, recessiva e legata al cromosoma X) e in base alla conduzione elettrofisiologica (assonale, demielinizzante, intermedia). Vi sono tuttavia alcuni casi che presentano mutazioni de novo.

Malgrado la diversificazione genetica, i pazienti con CMT presentano tipicamente una polineuropatia sensorimotoria, lunghezza dipendente e indolente. Indicatori di CMT sono rappresentati dalla natura progressiva e dalla debolezza, e successivamente atrofia, lunghezza dipendente, la maggioranza dei pazienti inoltre presenta inoltre piede cavo, usato come ulteriore indicatore. Ulteriori segni evidenziati possono essere displasia dell’anca, sindrome delle gambe senza riposo, tremori o perdita di udito. (25)

Una tecnica utile per diagnosticare il coinvolgimento di CMT è certamente l'elettromiografia, in cui si analizza la velocità di conduzione nervosa. Una velocità di conduzione tra 15 e 35 m/s descrive l'aspetto demielinizante. Una velocità superiore a 45 m/s descrive un interessamento assonale. Vi è inoltre una forma mista con velocità di conduzione tra 35 e 45 m/s.

In base all'ereditarietà e alla velocità di conduzione, le forme di CMT si possono quindi dividere in CMT1 (demyelinizzante), CMT2 (assonale), CMTX (intermedia) e CMT4 (demyelinizzante ma con carattere autosomico recessivo).

4.1.3 Classificazione

CMT1A è la neuropatia ereditaria più comune. La causa è da ricercare nella duplicazione del gene PMP22, che codifica per la mielina periferica. La duplicazione causa una neuropatia demielinizante. Tipicamente i pazienti si presentano con debolezza o atrofia distale agli arti inferiori, riflessi osteotendinei ipoelicitabili ai quattro arti, perdita di sensibilità e piede cavo. Il carattere demielinizante è confermato dalla biopsia del nervo e dalla velocità di conduzione nervosa che si assesta tra i 5 e 34 m/s.

CMTX1 è la seconda forma di neuropatia motoria e sensitiva ereditaria ed è causata da una mutazione del gene GJB1, che codifica per la proteina Cx32, responsabile dell'omeostasi delle giunzioni comunicanti normalmente presenti nelle cellule di Schwann del sistema nervoso periferico. L'ereditarietà risulta essere dominante e legata al cromosoma X in quanto non sono stati registrati casi di trasmissione da maschio a maschio. La velocità di conduzione è di circa 30-40 m/s nei maschi e 30 m/s indicando un interessamento misto. Il coinvolgimento nervoso rimane asimmetrico e non omogeneo. Tuttavia, è stato dimostrato un coinvolgimento con perdita di forza dell'eminenza tenar. (26)

CMT1B è causata dalla mutazione della proteina MPZ, che risulta essere il maggior costituente della mielina periferica. La presentazione clinica dipende dall'età d'insorgenza della patologia. Un'insorgenza infantile precoce, costituisce una forma demielinizante severa (velocità di conduzione < 10-12 m/s), conosciuta anche come Sindrome di Dejerine-Sottas che comporta importante debolezza motoria, areflessia, deformità del piede e conseguente ritardo dello sviluppo motorio.

L'insorgenza più tardiva, intorno ai 40 anni, comporta una neuropatia a chiazze con blocchi di conduzione e pupilla tonica. La velocità di conduzione risulta essere più simile ad una CMT2.

CMT2A è causata da una mutazione del gene MFN2, responsabile del metabolismo mitocondriale. La presentazione clinica è caratterizzata da atrofia del nervo ottico, paralisi delle corde vocali e anomalie midollari. Può esserci inoltre, un coinvolgimento cerebrale. (25)

4.1.4 Implicazioni funzionali e riabilitative

La presentazione clinica dei pazienti affetti da CMT può essere molto eterogenea in base al tipo di patologia. La CMT1A rimane la più comune. Come precedentemente descritto, porta, intorno alla prima decade di vita, a un progressivo indebolimento, e successiva atrofia, dei muscoli distali della gamba, come peroneali e tibiale anteriore. Molto comuni risultano essere deformità del piede come piede cavo, dita a martello e atteggiamento in supinazione o equino dato dall'alterata co-contrazione/tono dei muscoli supinatori e flessori plantari. È nota inoltre la presenza di deficit sensoriali agli arti inferiori descritti come sensazione di uno spillo, dolore bruciante oppure alterazioni propriocettive. Possono essere ulteriormente presenti debolezza dei muscoli respiratori e fonatori. Dalla presentazione clinica ne consegue, a livello funzionale, un importante impaccio durante il cammino, con piede cadente e la necessità di effettuare una deambulazione steppante. La progressiva debolezza muscolare porta inoltre ad uno scarso controllo del ginocchio, che, sommato ai frequenti deficit sensoriali, porta il soggetto a frequenti cadute, date dall'incapacità di attuare i meccanismi posturali compensatori. Con la progressione della patologia e quindi il raggiungimento dell'atrofia muscolare, può essere necessario l'uso della carrozzina. Le deformità del piede inoltre, costringono l'uso di tutori piede-caviglia.

Attualmente in letteratura non esistono linee guida per il trattamento di pazienti con Charcot-Marie-Tooth. Si è visto però, come una riabilitazione basata su esercizi di forza, dei muscoli principalmente compromessi dalla patologia, e resistenza, affiancati all'uso di ortesi per l'arto inferiore, specificatamente per il piede (AFO), comporti un miglioramento del ROM di arto inferiore, dell'equilibrio, della velocità di deambulazione e della sua qualità, diminuendo la flessione d'anca e la caduta del piede durante la fase di swing. (27)

4.2 ELABORAZIONE DI UNA PROPOSTA RIABILITATIVA SULLA BASE DEI RISULTATI OTTENUTI DALLE VALUTAZIONI ESEGUITE IN ACQUA

Il presente case report ha come obiettivo la presentazione di un approccio riabilitativo basato sull'idrochinesiterapia per la gestione riabilitativa di un paziente affetto da patologia di Charcot-Marie-Tooth (CMT). Nonostante l'idrochinesiterapia sia ampiamente utilizzata in ambito clinico da molti anni, la sua applicazione come strumento riabilitativo nei soggetti affetti da CMT non è stata considerata in letteratura.

Il paziente in questione è un uomo di 22 anni, affetto da CMT X-Linked, quindi legata al cromosoma X ed è stato preso in carico da un medico specialista in Medicina Fisica e Riabilitazione con un'ampia esperienza nel campo della neurofisiologia. Nel corso del 2017, il paziente è stato sottoposto a una serie di interventi chirurgici, tra cui allungamento del tricipite surale, tenopessi del tibiale anteriore, tenotomia del flessore lungo delle dita e abduzione dell'alluce, release della fascia plantare, osteotomia del 1° metatarso al piede sinistro.

Attualmente il paziente fa uso di plantari in entrambe le scarpe e riferisce di utilizzare un supporto come i "Dictus", bilateralmente, solo durante camminate prolungate. Inoltre, il paziente riporta notevoli difficoltà nella manipolazione fine degli oggetti.

Questo studio mira a fornire un'analisi dettagliata dell'applicazione dell'idrochinesiterapia in questo caso specifico e valuterà i risultati ottenuti nella gestione riabilitativa del paziente.

4.2.1 Valutazione clinica

Si può osservare una marcia steppante bilateralmente, a velocità comfort, con compenso dei muscoli Peronieri durante la fase di swing e chiaro deficit del muscolo Tibiale anteriore ed estensori delle dita. La stazione eretta sulle punte è possibile solo con appoggio, ma risulta impossibile sui talloni. Presenta i piedi con le caratteristiche tipiche dei pazienti affetti da Charcot-Marie-Tooth: piede cavo e dita en griffe bilateralmente. Il ROM articolare dell'articolazione Tibiotarsica risulta essere limitato attivamente. Passivamente, invece, si nota come la dorsiflessione non risulta eseguibile, mentre la flessione plantare arriva passivamente alla posizione neutra della tibiotarsica. All'esame della forza muscolare si apprezza una forza conservata dei muscoli prossimali quali, ileopsoas, quadricipite, ischiocrurali. Distalmente invece si verifica una notevole perdita di forza, su scala MRC si nota come il tibiale anteriore bilateralmente registri 0/5 MRC, gli estensori delle dita

0/5 MRC bilateralmente, i flessori delle dita registrino 2/5 MRC, il tricipite della sura segni 4/5 MRC. I muscoli peronieri non risultano essere valutabili.

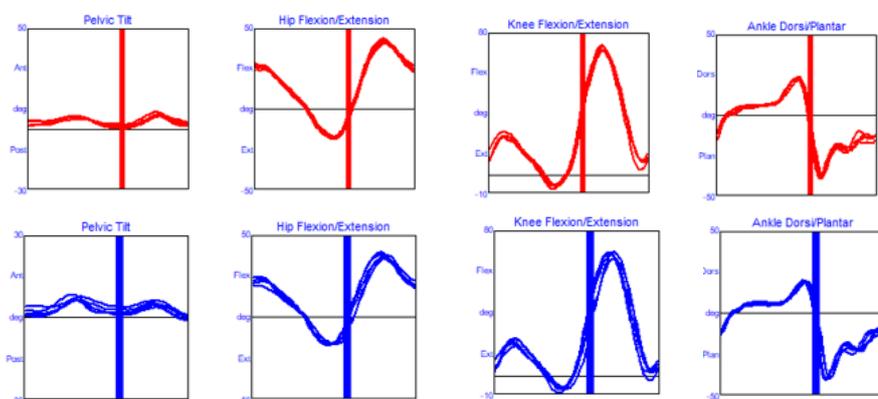
I muscoli prossimali dell'arto superiore/cingolo scapolare risultano essere conservati.

Durante la valutazione della funzionalità della mano si può osservare una prensione palmare valida, una pinza 1°-2° raggio ipovalida, l'opposizione del pollice risulta essere possibile bilateralmente ma più deficitaria a destra.

All'esame neurologico si osserva come i riflessi rotuleo e achilleo siano assenti bilateralmente, presente il riflesso cutaneo palmare in flessione bilateralmente. Tuttavia non risultano elicetabili i riflessi degli arti superiori. La sensibilità tattile superficiale e dolorifica rimane globalmente conservata.

Neurografia motoria

Nel primo trimestre del 2023, è stata eseguita una neurografia motoria la quale ha evidenziato: assenza del potenziale d'azione del nervo peroneo sinistro, registrato dal muscolo estensore delle dita. Si evidenzia riduzione dell'ampiezza del potenziale d'azione del nervo peroneo bilaterale con ridotta velocità di conduzione, ma peggiore a sinistra, registrando dal muscolo tibiale anteriore. Si registra una marcata riduzione dell'ampiezza del potenziale d'azione del nervo mediano destro con riduzione della velocità di conduzione. L'EMG eseguita al muscolo tibiale anteriore ha evidenziato minima attività volontaria a sinistra e attività volontaria caratterizzata da singole unità motorie di ampiezza aumentata a destra. La neurografia evidenzia un peggioramento rispetto alla precedente valutazione, eseguita nel 2015, in particolare a carico degli arti superiori. Tale quadro risulta confermato dalla valutazione clinica e dal peggioramento riferito dal paziente stesso.



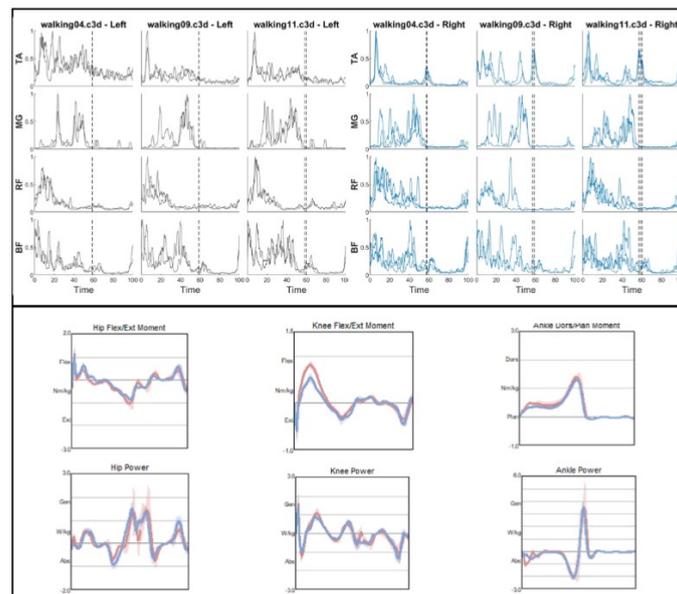
Gait analysis

È stata eseguita inoltre una *Gait analysis* che ha riportato:

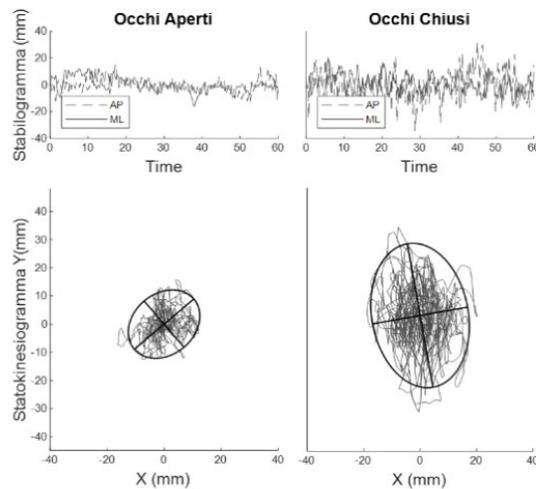
-parametri spazio-temporali: lieve riduzione della velocità del cammino (1 m/s) con conservato rapporto della durata relativa delle fasi del passo (fase di appoggio pari al 58% del ciclo del passo e fase di volo pari al 42% del ciclo del passo). Rispetto alla precedente valutazione, simmetria conservata a riduzione della larghezza del passo (0,62 m).

-cinematica: vi è un aumento della rotazione del bacino durante tutto il ciclo del passo. L'anca bilateralmente presenta iperestensione nella fase di *terminal stance* e iperflessione in fase di volo per favorire l'avanzamento dell'arto già visibile alla precedente valutazione. Anomala cinematica a carico della caviglia bilateralmente, con appoggio di avampiede correlato a deficit dei muscoli dorsiflessori, picco di dorsiflessione in fase di *terminal stance*, da correlare a estensione dei segmenti prossimali dell'arto inferiore bilateralmente. Tali comportamenti articolari risultano presenti anche nella precedente valutazione.

-cinetica e sEMG: Ridotta attività muscolare globale pur presentando generale conservazione dei pattern. La valutazione con EMG di superficie ha evidenziato una marcata riduzione dell'attività del muscolo tibiale anteriore di sinistra che appare in contrazione costante. Discreta alternanza dell'attività agonista/antagonista dei muscoli distali a dx, pur in un quadro di netta riduzione dell'attività del m. tibiale anteriore. Si evidenzia co-contrazione agonista/antagonista dei muscoli prossimali bilateralmente.



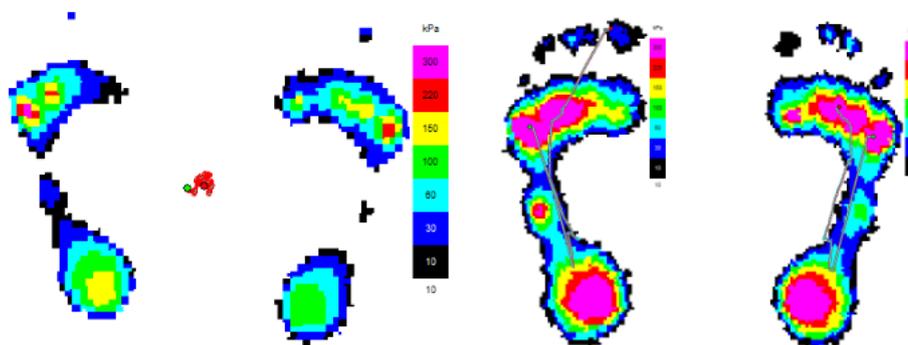
-stabilometria: incremento dell'area del kinesiogramma in particolare a occhi chiusi, come da compromissione sensoriale compatibile con neuropatia nota.



Conclusioni: quadro di deambulazione a velocità lievemente ridotta, con anomalie a carico delle porzioni distali degli arti inferiori e compensi prossimali finalizzati all'avanzamento.

Esame baropodometrico:

- Statica: quadro di cavismo bilateralmente con iperpressione più marcata a sinistra dove si evidenziano minori superfici di appoggio dell'avampiede e del calcagno
- Dinamica: iperpressione nei punti di appoggio evidenziati già in statica e anomala traiettoria del centro di pressione con iniziale anomalo appoggio dell'avampiede, da correlare alla alterata cinematica di caviglia sopra descritta.



4.2.2 Analisi del movimento a secco e in acqua

Dopo aver fatto leggere e firmare il consenso informato al paziente, è stato scelto di condurre una analisi del movimento tramite l'uso di *IMUs* e di EMG di superficie per analizzare le performance motorie attraverso 6 prove, condotte prima a secco, poi in acqua. Questa operazione è stata svolta sia pre che post intervento riabilitativo per verificare i cambiamenti nella cinematica, offerti dal mezzo acqua. L'analisi del movimento attraverso sensori indossabili e la riabilitazione sono stati condotti interamente nella piscina terapeutica dell'ospedale S. Antonio di Padova.

Per la valutazione del movimento, si è deciso di usare come *IMUs* i “WaveTrack, (Cometa Srl, Milano, Italia)”(fig. 11), sensori impermeabili sviluppati appositamente per monitorare il movimento in acqua. Come EMG sono stati usati i “MiniWave Waterproof, Cometa Srl, Milano, Italia)”(fig. 12), anch'essi sviluppati per monitorare il segnale EMG in acqua.



Fig. 11 – WaveTrack, Cometa (*IMUs*)



Fig. 12 – MiniWave Waterproof, Cometa

Il posizionamento degli EMG di superficie è stato valutato prediligendo i principali muscoli motori della deambulazione, quali:

- Retto femorale destro e sinistro
- Tibiale anteriore destro e sinistro
- Gastrocnemio mediale destro e sinistro
- Erector spinae destro e sinistro

Per il posizionamento degli *IMUs*, data la quantità limitata di sensori a disposizione, si è scelto come target:

- Femore destro e sinistro, sul terzo medio
- Tibia destra e sinistra, 3 centimetri sopra il malleolo
- Sacro, sulla linea di congiunzione fra le due SIPS



I sensori EMG hanno permesso di registrare il segnale di attivazione muscolare con una frequenza di campionamento di 2,000 Hz. I sensori *IMUs* hanno permesso di registrare i segnali di accelerazione e velocità angolare dei segmenti corporei su cui sono stati posizionati (Tibia, Femore e Bacino) nelle tre direzioni X, Y, Z che, a seconda del posizionamento corrispondevano approssimativamente alla direzione verticale (X), antero-posteriore (per gambe) o medio-laterale per bacino (Y), e medio-laterale (per gambe) o antero-posteriore (per bacino) (Y).

Gli *IMUs* usati hanno frequenza di campionamento di 284 Hz, interpolati a 2,000 Hz dal software di acquisizione, e fondo scala di 16g (accelerometri) e 2,000 dps/s (giroscopi).

Dopo aver rasato e deterso con alcol le zone interessate si sono applicati i sensori precedentemente illustrati. Nonostante siano essi dotati di certificazione IPX7, e quindi impermeabili, si sono comunque isolati con dei fogli di pellicola impermeabile adesiva (Dealfa), per garantire maggior sicurezza dei device e per assicurare minore disturbo possibile nel segnale registrato, causato dal solo spostamento creato dall'acqua a contatto con i sensori.

Il paziente, previo consenso, è stato sottoposto a 6 prove motorie, prima a secco e poi in acqua, per l'acquisizione dei dati relativi al movimento dei segmenti indagati e alla contrazione muscolare dei principali muscoli motori della deambulazione. Le prove scelte quindi, risultano essere in ordine:

- Stazione eretta statica ad occhi aperti, per 30 secondi
- Stazione eretta statica ad occhi chiusi, per 30 secondi
- Stazione eretta monopodalica destra, per almeno 20 secondi
- Stazione eretta monopodalica sinistra, per almeno 20 secondi
- Deambulazione a velocità comfort, per circa 10 metri
- Deambulazione in tandem, per circa 5 metri

Sono state poi effettuate le medesime prove anche all'interno della piscina, con acqua a circa 32,9°C e ad una altezza di 1,20 metri, all'altezza di L1-L2.

Per l'analisi dei dati, i segnali EMG sono stati filtrati tra 20-450 Hz, mentre i segnali *IMUs* sono stati filtrati tra 0,1 e 50 Hz. Per le prove in stazione eretta (bipodalica e monopodalica), l'ampiezza dei segnali EMG e IMU è stata misurata calcolando il valore root-mean-square (RMS) durante un intervallo di tempo di 20-25 secondi durante la prova per non considerare eventuali istanti di transizione all'inizio o al termine dell'esercizio. Per le prove di cammino (normale e tandem), la risultante dei segnali di accelerazione a livello della tibia è stata analizzata tramite "Wavelet transform" per definire l'istante di appoggio del tallone (Heel Strike o HS) e quello di stacco delle dita (Toe Off o TO) (28). Sono stati poi analizzati tutti i cicli del passo completi (da HS a HS successivo dello stesso piede, per entrambi i lati) normalizzati in percentuale del ciclo del passo (da 0 a 100% del ciclo del passo). Dall'identificazione di HS e TO sono stati calcolati i seguenti parametri spazio-temporali:

- "step time", il tempo intercorso tra HS a HS della gamba opposta (in secondi);
- "stride time", il tempo intercorso tra due HS successivi dello stesso piede (in secondi);
- "stance time", il tempo tra HS e TO (in secondi e in % del ciclo del passo);
- "swing time", il tempo tra TO e HS successivo dello stesso piede (in secondi e in % del ciclo del passo);
- "cadence", numero di steps al minuto

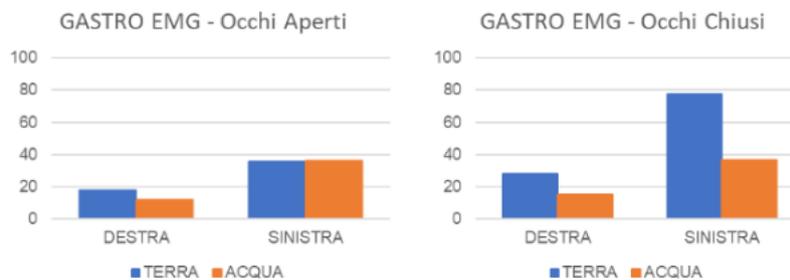
Abbiamo calcolato l'involuppo dei segnali EMG tramite root mean square (RMS) con una finestra di 25 ms. Da questi segnali, abbiamo calcolato poi l'area sotto la curva RMS nel ciclo del passo (normalizzato da 0-100%).

Stazione eretta ad occhi aperti e con esclusione della vista

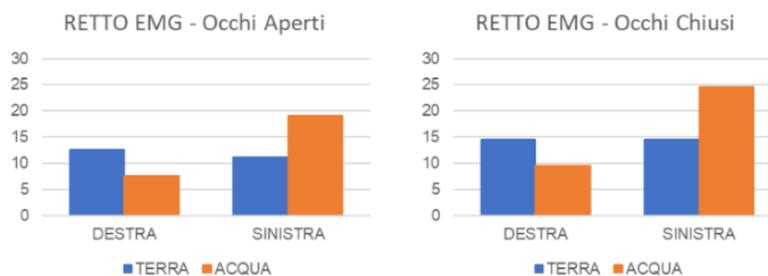
Dai grafici riportati si può constatare come vi sia una minor attivazione muscolare generalizzata ai muscoli degli arti durante l'analisi del movimento in acqua. Il muscolo Tibiale anteriore presenta una maggior attivazione a destra rispetto che a sinistra (seppure senza normalizzazione), confermando il risultato durante la neurografia. Inoltre, si dimostra una minor attivazione muscolare in acqua per entrambi i lati, soprattutto per il lato sinistro.



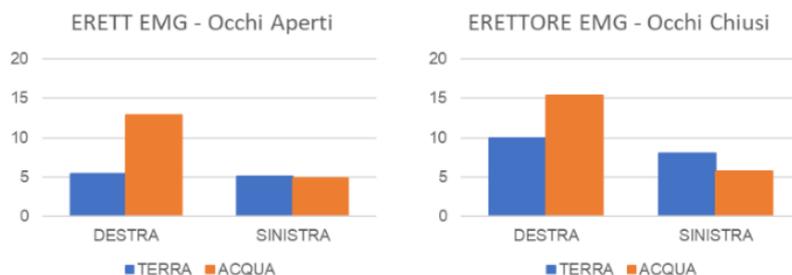
Il muscolo Gastrocnemio mediale risulta essere maggiormente implicato nel mantenimento della stazione eretta ad occhi aperti che chiusi, sia a secco che in acqua, mentre l'aumento dell'attivazione ad occhi chiusi è relativamente minore in acqua. Questo dato è da considerare, in quanto, nel lungo termine, potrebbe aiutare una corretta attivazione muscolare e ritardare eventuali retrazioni del tricipite surale. Anche per il Gastrocnemio si nota generalmente una minor attivazione muscolare in acqua.



La contrazione del muscolo Retto femorale risulta essere molto simile in entrambe le prove effettuate a secco. In acqua risulta evidente una maggior contrazione a sinistra, dimostrando una maggior tendenza del soggetto a preferire il lato sinistro per l'appoggio durante la stazione eretta statica, soprattutto durante l'esclusione della vista.



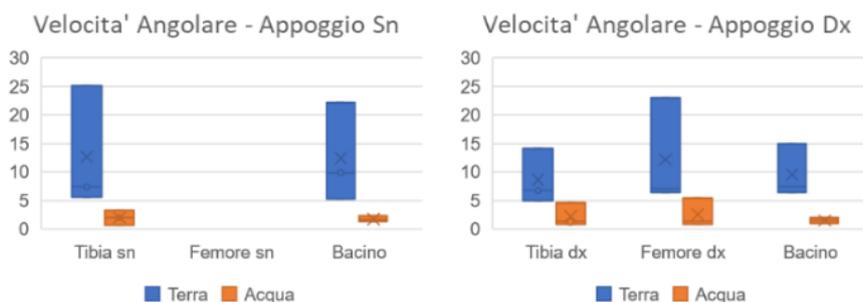
Questa considerazione si può confermare dall'evidente maggior attivazione dei muscoli Erettori Spinali di destra, in acqua. Vi è dunque una tendenza da parte del soggetto a prediligere l'appoggio sul lato in cui si sente più sicuro, ovvero il sinistro. Questo dato risulta utile per il trattamento riabilitativo in acqua, in quanto potrebbe suggerire di applicare degli esercizi per l'equilibrio e la stabilità da effettuare in egual misura, con entrambi gli emilati.



Stazione eretta monopodalica

Il paziente è riuscito a rimanere in equilibrio per tutti i 20 secondi richiesti sulla gamba sinistra, ma non sulla destra (16 secondi), mentre è riuscito a mantenersi in equilibrio su entrambe le gambe per oltre 20 secondi in acqua.

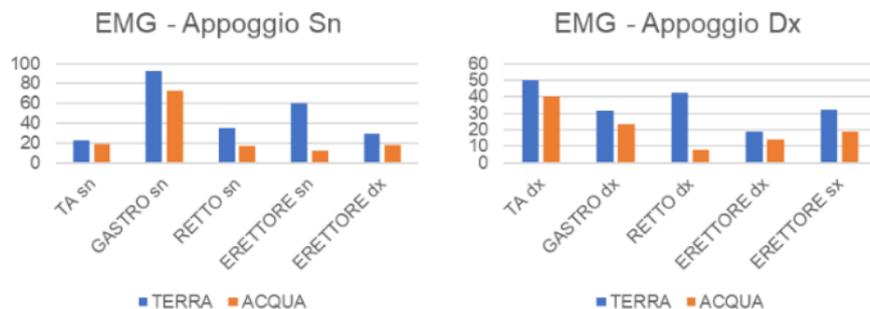
I sensori IMU durante gli esercizi di stazione eretta monopodalica hanno dimostrato una tendenza alla diminuzione della velocità angolare tra la condizione a secco e in acqua (-81%, -86% per tibia e bacino durante appoggio sulla gamba sinistra; -41%, -36%, -8% per tibia, femore, e bacino durante appoggio con la gamba destra).



Similarmente, tutti i muscoli hanno dimostrato una diminuzione dell'ampiezza del segnale EMG RMS tra condizione a secco e in acqua, sia durante l'appoggio a sinistra (-89%, -96%, -16%, -68% per i quattro muscoli e -39% per il muscolo Erettore destro) che a destra (-19%, -88%, -65%, -3% e -42% per il muscolo Erettore sinistro).

Si noti come, il muscolo Gastrocnemio mediale sia utilizzato per compensare, a sinistra, la scarsa attivazione del muscolo Tibiale anteriore, confermando i risultati della neurografia. Tuttavia in

acqua la contrazione del muscolo gastrocnemio risulta essere meno coinvolta in entrambi gli arti, confermando le potenzialità precedentemente descritte che l'uso dell'acqua potrebbe offrire nel ritardare eventuali retrazioni.

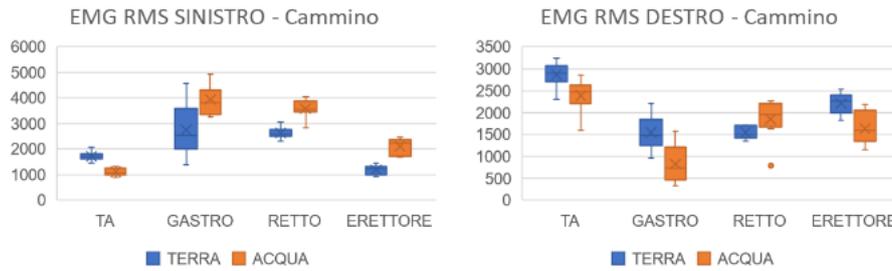


Deambulazione a velocità comfort

I parametri spazio-temporali del cammino hanno dimostrato una riduzione della velocità del cammino e dei tempi di appoggio e volo in acqua rispetto alla condizione a secco. Un'osservazione interessante si può fare sulla suddivisione del passo nelle fasi di appoggio e volo, a secco e in acqua, in quanto si è vista una tendenza verso la normalizzazione per la fase di stacco dal 50-51% a secco, fino al 58-63%, in acqua e una relativa riduzione della fase di volo in entrambi i lati.

	Sinistro			Destro		
	Terra	Acqua	Variazione %	Terra	Acqua	Variazione %
Step Time (s)	0,67±0,05	1,29±0,06	+87%	0,67±0,06	1,37±0,16	+104%
Stride Time (s)	1,33±0,07	2,63±0,17	+91%	1,35±0,09	2,55±0,13	+89%
Stance Time (s)	0,68±0,05	1,52±0,16	+121%	0,70±0,11	1,63±0,19	+133%
Swing Time (s)	0,66±0,05	1,11±0,10	+62%	0,65±0,07	0,97±0,15	+48%
Stance Time (%)	50,81±2,77	57,84±3,71	+14%	51,47±5,54	62,66±5,81	+22%
Swing Time (%)	49,19±2,77	42,16±3,71	-14%	48,53±5,54	37,34±5,81	-23%
Cadence (steps/min)	90,02±6,36	46,59±2,26	-51%	89,62±7,11	44,29±5,13	-51%

L'attivazione muscolare ha inoltre evidenziato un generale aumento dell'area sotto la curva RMS di tutti i muscoli e in entrambi i lati, a parte il muscolo Tibiale anteriore destro e sinistro, il gastrocnemio mediale destro e l'Erettore spinale destro, la cui attivazione è diminuita in acqua rispetto alla condizione a secco.

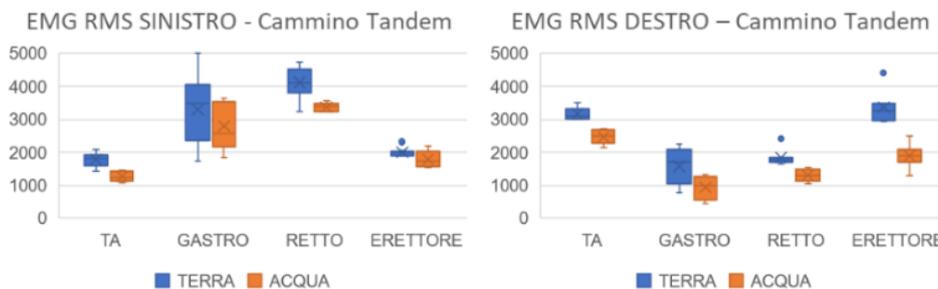


Deambulazione in tandem

I parametri spazio-temporali del cammino in tandem, hanno dimostrato un'ulteriore riduzione della velocità del cammino e dei tempi di appoggio e volo in acqua rispetto alla condizione di cammino normale e a secco.

	Sinistro			Destro		
	Terra	Acqua	Variazione %	Terra	Acqua	Variazione %
Step Time (s)	0,92±0,15	1,29±0,39	+40%	0,71±0,07	1,53±0,21	+115%
Stride Time (s)	1,67±0,12	2,78±0,20	+66%	1,61±0,10	2,54±0,41	+58%
Stance Time (s)	1,06±0,13	1,77±0,28	+67%	0,92±0,06	1,76±0,22	+92%
Swing Time (s)	0,61±0,10	1,02±0,28	+66%	0,69±0,11	0,78±0,34	+13%
Stance Time (%)	63,33±5,69	63,55±9,93	+0%	57,06±5,24	70,06±9,86	+23%
Swing Time (%)	36,67±5,69	36,45±9,93	-0%	42,94±5,24	29,94±9,86	-30%
Cadence (steps/min)	66,39±11,12	50,80±19,74	-23%	85,08±8,71	39,79±5,31	-53%

L'attivazione muscolare ha inoltre evidenziato una generale diminuzione dell'area sotto la curva RMS di tutti i muscoli e in entrambi i lati in acqua rispetto alla condizione a secco.



4.2.3 Trattamento di Idrochinesiterapia

Il trattamento riabilitativo si è suddiviso in 10 sedute da 50 minuti ciascuna, nell'arco di 4 settimane ed è stato svolto interamente in acqua, con l'aiuto di una fisioterapista della struttura con oltre 20 anni di esperienza nel campo della riabilitazione a secco e in acqua.

Gli obiettivi concordati e perseguiti rappresentano:

- Rinforzo globale muscolatura arti inferiori
- Miglioramento equilibrio statico e dinamico
- Sviluppo propriocezione arti inferiori

Il trattamento si è quindi concentrato sugli arti inferiori e sul miglioramento della deambulazione.

Sono stati scelti esercizi da effettuare sia "a corpo libero", sia tramite l'ausilio di materiale galleggiante predisposto all'idrochinesiterapia come tavolette, cavigliere, cinture e calzari (*fig. 13*).



Fig. 13 – Strumenti per idrochinesiterapia

Gli esercizi svolti risultano essere i seguenti:

RINFORZO MUSCOLATURA
Rinforzo glutei, adduttori e flessori in abduzione ed estensione Deambulazione e skip alto ; Affondi in avanzamento Deambulazione con fase in abduzione anca Stazione eretta monopodolica dinamica
EQUILIBRIO
Skip sul posto con tavoletta destabilizzante con enfasi su equilibrio Deambulazione con enfasi su controllo tavoletta Deambulazione con cavigliere Deambulazione con enfasi su rotazione/abduzione anca
PROPRIOCEZIONE
Deambulazione all'indietro con enfasi su appoggio talloni Skip sul posto con tavoletta destabilizzante con enfasi su controllo tavoletta Deambulazione con tavoletta destabilizzante con enfasi su equilibrio

Tab. 2 – Tabella degli esercizi proposti

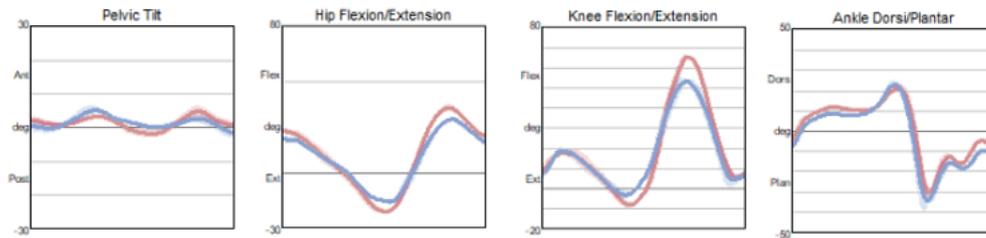
4.2.4 Gait analysis post trattamento

È stata eseguita inoltre una *Gait analysis* post trattamento per evidenziare possibili benefici della terapia la quale ha riportato:

-parametri spazio-temporali: pressoché invariati. Lieve riduzione della velocità del cammino (0,9 m/s) con conservato rapporto della durata relativa delle fasi del passo (fase di appoggio pari al 61% del ciclo del passo e fase di volo pari al 39% del ciclo del passo). Simmetria conservata nella riduzione della lunghezza del passo (0,58 m).

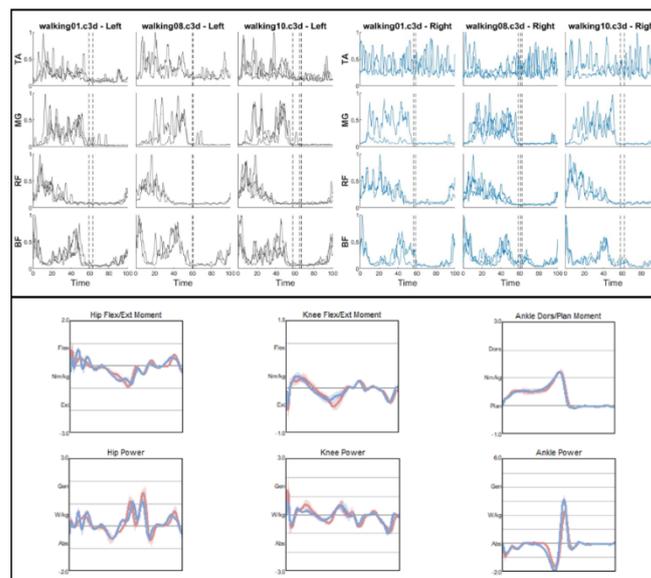
-cinematica: vi è un aumento della rotazione del bacino durante tutto il ciclo del passo. L'anca bilateralmente presenta iperestensione nella fase di *terminal stance* e iperflessione in fase di volo per favorire l'avanzamento dell'arto già visibile alla precedente valutazione. Anomala cinematica a carico della caviglia bilateralmente, con appoggio di avampiede correlato a deficit dei muscoli dorsiflessori, picco di dorsiflessione in fase di *terminal stance*, da correlare a estensione dei

segmenti prossimali dell'arto inferiore bilateralmente. Tali comportamenti articolari risultano presenti anche nella precedente valutazione.

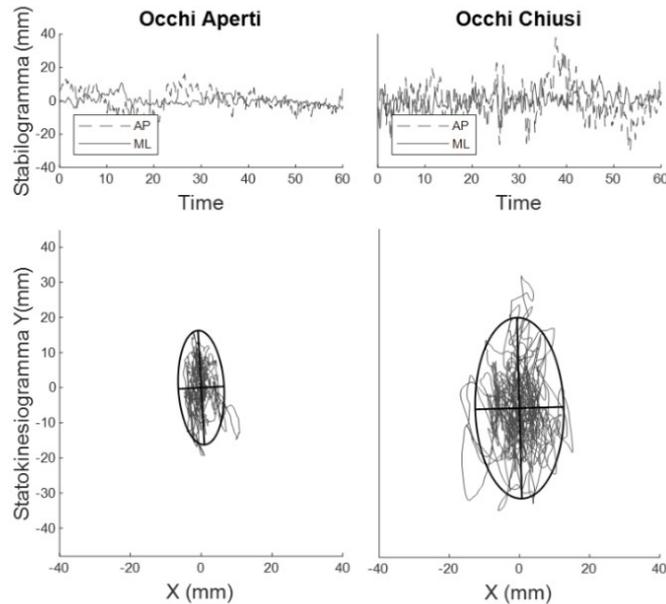


-cinetica e sEMG: Ridotta attività muscolare globale pur presentando generale conservazione dei pattern. La valutazione con EMG di superficie ha evidenziato una marcata riduzione dell'attività del muscolo Tibiale anteriore di sinistra che appare in contrazione costante.

Discreta alternanza dell'attività agonista/antagonista dei muscoli distali a destra, pur in un quadro di netta riduzione dell'attività del m. tibiale anteriore. Si evidenzia co-contrazione agonista/antagonista dei muscoli prossimali bilateralmente.



-stabilometria: incremento dell'area del kinesiogramma in particolare a occhi chiusi, come da compromissione sensoriale compatibile con neuropatia nota, ma miglioramento rispetto alla valutazione precedente.

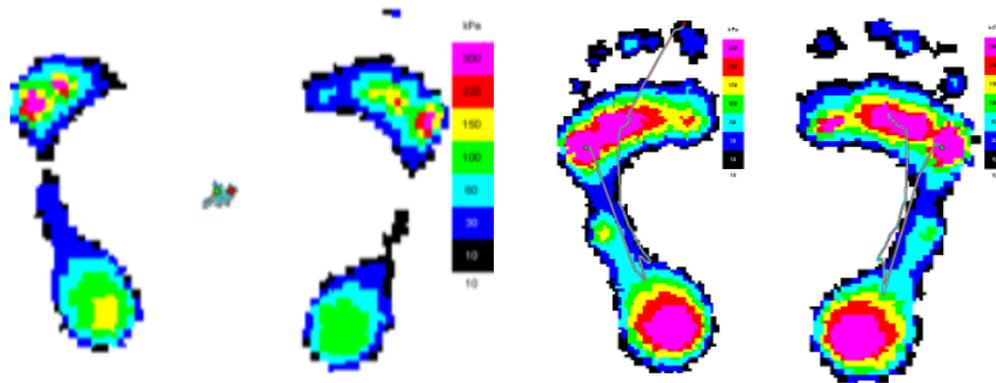


Rispetto alla precedente valutazione diminuzione delle principali misurazioni relative al mantenimento dell'equilibrio, sia ad occhi aperti che chiusi.

	Occhi Aperti			Occhi Chiusi		
	Pre	Post	Variazione %	Pre	Post	Variazione %
Sway Path Over Time (mm/s)	19.86	19.63	-1%	60.80	47.97	-21%
Sway Area Over Time(mm2/s)	39.43	28.78	-27%	192.37	123.09	-36%
Sway Area/Path (mm)	1.98	1.47	-26%	3.16	2.57	-19%
AP Osc (mm)	4.81	6.5	+35%	10.50	10.52	+0.19%
ML Osc (mm)	4.39	2.48	-44%	6.86	4.58	-33%
Ellipse Area (mm2)	465.37	329.9	-29%	1399.38	1030.51	-26%

Esame baropodometrico:

- Statica: quadro di cavismo bilateralmente con iperpressione più marcata a sinistra dove si evidenziano minori superfici di appoggio dell'avampiede e del calcagno.
- Dinamica: iperpressione nei punti di appoggio evidenziati già in statica e anomala traiettoria del centro di pressione con iniziale anomalo appoggio dell'avampiede, da correlare alla alterata cinematica di caviglia sopra descritta.



Impressioni del paziente

Oltre all'analisi del movimento a secco e in acqua e la Gait analysis effettuata in laboratorio, è stato chiesto al paziente di fornire impressioni strettamente personali ed eventuali cambiamenti provati dopo il trattamento di idrochinesiterapia.

Il paziente descrive come si senta più stabile e sicuro nella deambulazione, sia per una sensazione generalizzata di stabilità sia per una sensazione di maggior controllo e migliore segmentazione degli arti inferiori descrivendo *“prima li sentivo più rigidi e “legnosi”, ora li sento più “fluidi”*.

Il paziente descrive come, la sensazione di aumentata stabilità ed equilibrio sia presente durante tutta la giornata post-seduta, tuttavia, nel giorno successivo, le sensazioni risultano essere più simili al periodo pre-trattamento.

Il soggetto risulta essere interessato nel continuare, almeno per un primo periodo, la riabilitazione in acqua.

5. DISCUSSIONE

Dalla ricerca in letteratura svolta per approfondire i principali dispositivi indossabili, metodiche e approcci per l'analisi del movimento in acqua siamo riusciti a trarre i seguenti risultati.

1. Non vi è una univoca metodologia per l'analisi del movimento umano in acqua, in quanto esiste molta eterogeneità legata ai dispositivi indossabili usati, ai sistemi di analisi a secco impiegati per effettuare il confronto, alle modalità di applicazione e alle modalità di acquisizione dei dati.
2. Scarsa attenzione è posta, in letteratura, nell'analisi del movimento umano in acqua, su soggetti con patologie, i quali potrebbero trovare dall'immersione nel mezzo acqua, un possibile aiuto e un'azione facilitatoria per molte attività considerate troppo difficoltose e complesse.

Dall'analisi del movimento a secco e in acqua condotta mediante l'uso di sensori inerziali *IMUs* e *EMG* di superficie, la valutazione tramite *Gait analysis*, il trattamento di idrochinesiterapia, si possono evincere interessanti risultati che potrebbero avere significative implicazioni scientifiche e cliniche.

1. Attraverso l'*EMG* di superficie, è emersa una riduzione dell'attivazione muscolare generale durante l'esecuzione dei movimenti in acqua, nonostante il mantenimento dei pattern di movimento. Questo potrebbe indicare una maggior efficienza energetica durante l'attività fisica in acqua e una riduzione della fatica percepita dal paziente. Data questa rilevazione, una parte del trattamento riabilitativo è stata dedicata al rinforzo muscolare, con esercizi mirati per coinvolgere tutti i gruppi muscolari dell'arto inferiore.
2. Si è osservata, seppur limitatamente, una normalizzazione del passo durante le prove in acqua, con miglioramenti evidenti nelle fasi di appoggio e volo, sia per il lato destro che sinistro. Questo dato apre prospettive interessanti per future ricerche e sviluppi, suggerendo la possibile adozione di esercizi di deambulazione in acqua come parte integrante del trattamento riabilitativo.
3. Infine, si è osservato un significativo aumento della stabilità e dell'equilibrio, dimostrato attraverso una minore oscillazione del centro di pressione del paziente durante la prova in stazione eretta condotta durante la *Gait analysis*. Questo risultato è particolarmente rilevante in quanto suggerisce una correlazione diretta con il rischio di caduta e la sua potenziale riduzione nelle attività di vita quotidiane del soggetto. Pertanto, una parte del trattamento

riabilitativo è stata focalizzata sul miglioramento dell'equilibrio sia in condizioni statiche che dinamiche.

Va sottolineato che, oltre ai dati oggettivi, è stata riscontrata una reazione positiva da parte del paziente, che ha riportato sensazioni di maggiore stabilità e sicurezza nelle attività quotidiane. Inoltre, la volontà del paziente di continuare le sedute di idrochinesiterapia offre la possibilità di aumentare la compliance e l'aderenza terapeutica nel tempo.

Tuttavia, è necessario considerare alcuni limiti rilevati in questo studio:

- Vi è la necessità di includere un maggior numero di partecipanti nello studio per confermare i risultati e limitare la variabilità individuale.
- Risulta necessario condurre ulteriori ricerche per valutare l'efficacia a lungo termine della terapia proposta.

Le prospettive future date da questo elaborato potrebbero includere:

- personalizzazione del trattamento di idrochinesiterapia in base alle esigenze specifiche di ciascun paziente, includendo diverse tempistiche, diversi esercizi e modalità, a profondità diverse.
- applicazione di tale proposta riabilitativa anche ai soggetti affetti da Charcot-Marie-Tooth con diversa classificazione dalla "X-Linked" e/o con diverse caratteristiche e potenzialità residue individuali.
- Data l'attuale assenza di protocolli riabilitativi tramite idrochinesiterapia, per pazienti con CMT, si presuppone per il futuro l'applicazione di tale terapia su larga scala per la creazione di programmi univoci e specifici per questi soggetti.

6. CONCLUSIONI

Dal presente elaborato si possono trarre diverse conclusioni utili per eventuali sviluppi futuri. In particolare si può evincere che vi sia poco interessamento nel verificare i cambiamenti che l'acqua offre al corpo umano rispetto a patologie neuromuscolari spesso invalidanti, come la patologia di Charcot-Marie-Tooth.

Inoltre, è possibile ipotizzare che l'esecuzione dei movimenti in ambiente acquatico possa indurre significative variazioni nel movimento manifestato da un paziente affetto da Charcot-Marie-Tooth.

Si può supporre, in aggiunta, come l'idrochinesiterapia abbia dimostrato potenzialità rilevanti per il miglioramento della stabilità e dell'equilibrio e che possa dunque, rappresentare un'applicazione terapeutica rilevante per il trattamento in soggetti affetti da Charcot-Marie-Tooth.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. Becker BE. Aquatic Therapy: Scientific Foundations and Clinical Rehabilitation Applications. (2009) PM and R. Vol. 9, pag. 859-872
2. Becker BE. Aquatic Therapy in Contemporary Neurorehabilitation: An Update. (2020) PM and R. John Wiley and Sons Inc; Vol. 12, pag. 1251–1259
3. Morena J, Gupta A, Hoyle JC. Charcot-marie-tooth: From molecules to therapy. (2019) Int J Mol Sci.; Vol.20, pag. 3419
4. Haemodynamic changes in man during immersion in water at different temperatures. (1987) Clin Sci.; Vol. 73, pag. 613-616
5. C Tei, Y Horikiri, J C Park, J W Jeong, K S Chang, Y Toyama, et al. Acute hemodynamic improvement by thermal vasodilation in congestive heart failure. (1995); Circulation; Vol.91, pag. 2582-2590
6. K Meyer. Left ventricular dysfunction and chronic heart failure: should aqua therapy and swimming be allowed? (2006) Br J Sports Med; Vol. 40, pag. 817-818
7. Hong SK, Cerretelli P, Crcz JC, Rahn H, Cruz JC. Mechanics of respiration during submersion in water. (1969). J Appl Physiol. Vol. 27, pag. 535-538
8. Bravo G, Gauthier P, Roy PM, Ne Payette H?, Gaulin P. A Weight-Bearing, Water-Based Exercise Program for Osteopenic Women: Its Impact on Bone, Functional Fitness, and Well-Being. (1997) Arch Phys Med Rehabil.; Vol. 78, pag. 1375-1380
9. Nagata M., Kitagawa J., Miyake T., Nakahara Y. Effects of Exercise Practice on the Maintenance of Radius Bone Mineral Density in Postmenopausal Women. (2002) J Physiol Anthropol Appl Human Sci.; Vol. 21, pag. 229-234
10. Becker BE. Aquatic Therapy in Contemporary Neurorehabilitation: An Update. PM and R. John Wiley and Sons Inc; (2020). Vol. 12, p. 1251–1259.
11. Chien KY, Chang WG, Chen WC, Liou RJ. Accelerometer-based prediction of ground reaction force in head-out water exercise with different exercise intensity countermovement jump. (2022) BMC Sports Sci Med Rehabil. Vol.14
12. Lee DH, Han S. Reliability of Measuring Leg Segments and Joint Angles Using Smartphones during Aquatic Exercise. (2022) Healthc Inform Res.; Vol.28, pag. 95–101.
13. Monoli C, Fuentez-Perez JF, Cau N, Capodaglio P, Galli M, Tuhtan JA. Land and Underwater Gait Analysis Using Wearable IMU. (2021) IEEE Sens J.; Vol.21, pag. 11192–11202.
14. Fantozzi S, Cortesi M, Giovanardi A, Borra D, Di Michele R, Gatta G. Effect of walking speed during gait in water of healthy elderly. (2020) Gait Posture.; Vol.82, pag. 6–13.
15. Kaneda K, Ohgi Y, McKean M, Burkett B. Features of acceleration and angular velocity using thigh IMUs during walking in water. (2020) International Journal of Aquatic Research and Education. Vol.12, pag. 12

16. Cuesta-Vargas Á, Martín-Martín J, Pérez-Cruzado D, Cano-Herrera CL, Rodríguez JG, Merchán-Baeza JA, et al. Muscle activation and distribution during four test/functional tasks: A comparison between dry-land and aquatic environments for healthy older and young adults. (2020) *Int J Environ Res Public Health.*; Vol.17, pag. 1–25.
17. Marta G, Pedrocchi A, Ferrante S, Costa A, Bortolotti D, Sorti S, et al. Wearable Biofeedback Suit to Promote and Monitor Aquatic Exercises: A Feasibility Study. (2020) *IEEE Trans Instrum Meas.*; Vol.69, pag. 1219–1231.
18. Silva MF, Dias JM, Dela Bela LF, Pelegrinelli ARM, Lima TB, Carvalho RG da S, et al. A review on muscle activation behaviour during gait in shallow water and deep-water running and surface electromyography procedures. (2020) *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* Churchill Livingstone; Vol. 24, p. 432–441.
19. Kaneda K. Effect of changing water depth on muscle activity and motion kinematics during sit-to-stand motion. (2020) *Gait Posture.*; Vol.79, pag. 102–107.
20. Yuen CHN, Lam CPY, Tong KCT, Yeung JCY, Yip CHY, So BCL. Investigation the EMG activities of lower limb muscles when doing squatting exercise in water and on land. (2019) *Int J Environ Res Public Health.*; Vol.16
21. Kaneda K. The features of muscle activity during chair standing and sitting motion in submerged condition. (2019) *PLoS One.*; Vol.14
22. Fantozzi S, Borra D, Cortesi M, Ferrari A, Ciacci S, Chiari L, et al. Aquatic Therapy after Incomplete Spinal Cord Injury: Gait Initiation Analysis Using Inertial Sensors. (2022) *Int J Environ Res Public Health.*; Vol.19
23. Volpe D, Spolaor F, Sawacha Z, Guiotto A, Pavan D, Bakdounes L, et al. Muscular activation changes in lower limbs after underwater gait training in Parkinson’s disease: A surface emg pilot study. (2020) *Gait Posture.*; Vol.80, pag.185–191.
24. Kazamel M, Boes CJ. Charcot Marie Tooth disease (CMT): historical perspectives and evolution. (2015) *Journal of Neurology.* Dr. Dietrich Steinkopff Verlag GmbH and Co. KG; Vol. 262, p. 801–805.
25. Morena J, Gupta A, Hoyle JC. Charcot-marie-tooth: From molecules to therapy. (2019) *Int J Mol Sci.*; Vol.20
26. Kuntzer T, Dunand M, Schorderet DF, Vallat JM, Hahn AF, Bogousslavsky J. Phenotypic expression of a Pro 87 to Leu mutation in the connexin 32 gene in a large Swiss family with Charcot-Marie-Tooth neuropathy (2003) *J Neurol Sci.*; Vol.207, pag. 77-86
27. Corrado B, Ciardi G, Bargigli C. Rehabilitation Management of the Charcot-Marie-Tooth Syndrome. (2016) *Medicine (United States).* Lippincott Williams and Wilkins; Vol. 95, pag. 3278
28. Pham et al. Validation of a Step Detection Algorithm during Straight Walking and Turning in Patients with Parkinson’s Disease and Older Adults Using an Inertial Measurement Unit at the Lower Back. (2017) *Front Neurol.*; Vol.8, pag. 457