



Università degli Studi di Padova

Scuola di Medicina e Chirurgia

Corso di Laurea in Medicina e Chirurgia

Dipartimento di Medicina Direttore: Prof. Paolo Simioni

TESI DI LAUREA

Prescrizione dell'esercizio fisico e outcome clinici
nella commozione cerebrale sport-correlata:
Risultati preliminari di uno studio pilota

Relatore: Prof. Andrea Ermolao

Correlatrice: Dott.ssa Veronica Baiocco

Laureando: Ismaele Cenedese

Anno Accademico 2025-2026

INDICE

Riassunto.....	1
Abstract.....	3
1. Introduzione.....	5
1.1 Definizione ed epidemiologia della concussione cerebrale sport correlata.....	5
1.2 Valutazione clinica e diagnosi (esplorazione diagnosi clinica, uso tool, biomarker, imaging)	8
1.3 I fenotipi della concussione e le implicazioni cliniche.....	11
1.4 Strategie riabilitative, dal riposo all'esercizio aerobico.....	13
1.5 Riabilitazione basata sui fenotipi.....	16
2. Scopo della tesi.....	25
3. Materiali e metodi.....	25
3.1 Tipo di studio.....	25
3.2 Protocollo di valutazione clinica e caratterizzazione dei fenotipi.....	26
3.3 Programmi di riabilitazione fenotipo specifici.....	31
3.4 Raccolta dati.....	46
3.5 Analisi statistica.....	46
4. Risultati.....	47
4.1 Popolazione.....	47
4.2 Caratteristiche demografiche e del trauma.....	47
4.3 PCSS (post concussion symptom scale)	51
4.4 Esame obiettivo.....	55
4.4.1 Valutazione intolleranza ortostatica.....	55

4.4.2	Valutazione vestibolo-oculare e dell'equilibrio.....	56
4.4.3	Valutazione neurologica.....	56
4.4.4	Valutazione cognitiva.....	57
4.5	Fenotipi della popolazione.....	57
4.6	PCSS vs clinica.....	58
4.7	Dove verrà indirizzato il paziente?	59
4.8	Sottopopolazione del percorso in palestra.....	60
4.8.1	sedute in palestra.....	63
5.	Discussione	65
5.1	Identikit della popolazione e gestione immediata sul campo.....	65
5.2	Tempistiche di presa in carico e il valore dell'approccio precoce.....	66
5.3	Il ruolo centrale della valutazione clinica nella validazione dei sintomi soggettivi (PCSS)	66
5.4	La prescrizione dell'esercizio in palestra come terapia attiva.....	68
6.	Conclusioni.....	69
6.1	Limiti dello studio.....	69
6.2	Prospettive future.....	70
7.	Bibliografia.....	71

RIASSUNTO

Presupposti dello studio

La concussione cerebrale sport-correlata (SRC), colpisce frequentemente gli atleti e rappresenta una sfida complessa per la diagnosi e la gestione clinica a causa dell'eterogeneità delle sue manifestazioni e delle traiettorie di recupero. La persistenza dei sintomi post-commotivi (PPCS) può determinare limitazioni funzionali significative, richiedendo strategie riabilitative multidisciplinari e personalizzate. In questo contesto, la classificazione fenotipica dei sintomi è stata proposta come modello d'elezione per ottimizzare l'efficacia delle cure.

Scopo

Questo studio pilota si propone di identificare e stratificare i fenotipi clinici della concussione attraverso l'applicazione dello strumento standardizzato Sport Concussion Office Assessment Tool 6 (SCOAT6™) in una coorte di pazienti afferenti ad un ambulatorio per la gestione della concussione cerebrale e di osservare l'andamento clinico e i tempi di recupero di un programma di esercizio fisico strutturato in un sottogruppo di soggetti.

Materiali e metodi

Questo studio ha arruolato i pazienti con concussione cerebrale afferenti allo specifico ambulatorio attivato presso l'U.O.C. Medicina dello Sport e dell'Esercizio Fisico dell'Azienda Ospedale Università di Padova. La valutazione clinica ha seguito il protocollo dello SCOAT6™ (e del Child SCOAT6 per la fascia 8-12 anni), integrando esami fisici, valutazione dello stato cognitivo, vestibolo-oculomotoria, della disautonomia, dell'alterata emotività e della qualità del sonno. I pazienti sono stati stratificati in sette fenotipi clinici: cefalea, cervicalgia, deficit vestibolo-oculari, disautonomico, deficit cognitivi, alterata emotività e disturbi del sonno. Un sottogruppo selezionato di soggetti (n = 14) è stato inserito in un programma di esercizio-terapia aerobica personalizzato "sottosoglia" svolto presso la palestra medica ospedaliera.

Risultati

La coorte generale ha compreso N = 139 pazienti con un'età mediana di 14 anni (range: 6–63 anni) e una prevalenza del sesso maschile (66,9%). Il trauma

è avvenuto in ambito sportivo nel 61,9% dei casi, con rugby (41%) e calcio (17,3%) come discipline maggiormente rappresentate. All'accesso in ambulatorio (mediana di 10 giorni per la presa in carico), il 21% dei soggetti presentava un quadro clinico già in risoluzione spontanea, mentre il 79% mostrava uno o più fenotipi, con il profilo vestibolo-oculare e quello con cefalea come i più diffusi.

Nella sottopopolazione inserita nel percorso in palestra, che presentava un quadro clinico iniziale più severo (PCSS mediana al trauma pari a 44 [27-73]) e una spiccata intolleranza sia al carico fisico che cognitivo (50%), l'esercizio aerobico sottosoglia si è rivelato sicuro e senza effetti avversi, determinando inoltre un decremento sintomatologico fino a remissione dei sintomi con tempistiche diverse a seconda delle caratteristiche soggettive.

Conclusioni

L'analisi dei dati ha confermato il ruolo fondamentale dell'esame obiettivo standardizzato (SCOAT6) come filtro diagnostico essenziale, capace sia di intercettare fenotipi clinici silenti altrimenti sottostimati dai questionari autosomministrati (PCSS), sia di ridimensionare la sovrastima dei sintomi da parte del paziente. È emersa inoltre un'importante criticità legata al ritardo nella rimozione dal gioco sul campo (33,7% dei casi), fattore di rischio noto per favorire una cronicizzazione dei sintomi. Sul piano terapeutico, la sottopopolazione inserita nel protocollo di prescrizione di esercizio in palestra ha dimostrato un profilo di sicurezza adeguato e una progressiva, totale e stabile remissione clinica, supportando l'efficacia della somministrazione di esercizio fisico strutturato rispetto ai rischi di decondizionamento della tradizionale "cocoon therapy". Le prospettive future mirano all'ampliamento del campione, all'abbattimento dei tempi di presa in carico e all'applicazione sistematica di matrici decisionali fenotipo-guidate per ottimizzare i percorsi di Return-to-Learn e Return-to-Play.

ABSTRACT

Study Background

Sport-related concussion (SRC) frequently affects athletes and represents a complex challenge for diagnosis and clinical management due to the heterogeneity of its manifestations and recovery trajectories. The persistence of post-concussion symptoms (PPCS) can lead to significant functional limitations, requiring multidisciplinary and personalized rehabilitation strategies. In this context, the phenotypic classification of symptoms has been proposed as the model of choice to optimize the effectiveness of care.

Objective

This pilot study aims to identify and stratify the clinical phenotypes of concussion through the application of the standardized Sport Concussion Office Assessment Tool 6 (SCOAT6™) in a cohort of patients attending a clinic for the management of brain concussion, and to observe the clinical course and recovery times of a structured physical exercise program in a subgroup of subjects.

Materials and methods This study enrolled patients with brain concussion attending the specific outpatient clinic at the Sports and Exercise Medicine Division of the University Hospital of Padua. The clinical evaluation followed the SCOAT6™ protocol (and the Child SCOAT6 for the 8–12 age group), integrating physical examinations, assessment of cognitive status, vestibulo-ocular function, dysautonomia, altered emotionality, and sleep quality. Patients were stratified into seven clinical phenotypes: headache, cervicalgia, vestibulo-ocular deficits, dysautonomic, cognitive deficits, altered emotionality, and sleep disturbances. A selected subgroup of subjects (n = 14) was included in a personalized sub-threshold aerobic exercise-therapy program in the Hospital medical gym.

Results

The general cohort included N = 139 patients with a median age of 14 years (range: 6–63 years) and a prevalence of the male sex (66.9%). The trauma occurred in a sports setting in 61.9% of cases, with rugby (41%) and soccer (17.3%) being the most represented disciplines. Upon admission to the clinic (median of 10 days for intake), 21% of the subjects presented a clinical picture that was already spontaneously resolving, while 79% showed one or more phenotypes, with the vestibulo-ocular profile and the headache profile being the most widespread. In the subpopulation included in the gym protocol, which presented a more severe initial clinical picture (median PCSS at trauma equal to 44 [27-73]) and a marked intolerance to both physical and cognitive load (50%), sub-threshold aerobic exercise proved to be safe and without adverse effects, furthermore leading to a decrease in symptoms up to symptom remission with different timelines depending on subjective characteristics.

Conclusions

Data analysis confirmed the fundamental role of the standardized objective examination (SCOAT6) as an essential diagnostic filter, capable of both intercepting silent clinical phenotypes otherwise underestimated by self-administered questionnaires (PCSS), and downscaling patient overestimations. An important critical issue also emerged regarding the delay in removal from play on the field (33.7% of cases), a known risk factor for the chronification of symptoms. On the therapeutic level, the subpopulation included in the exercise prescription protocol at the gym demonstrated an adequate safety profile and a progressive, total, and stable clinical remission, supporting the effectiveness of structured physical exercise administration compared to the deconditioning risks of traditional cocoon therapy. Future perspectives aim at expanding the sample size, reducing intake times, and systematically applying phenotype-guided decision matrices to optimize Return-to-Learn and Return-to-Play pathways.

Introduzione

1.1 Definizione ed epidemiologia della concussione cerebrale sport-correlata

La concussione cerebrale (o commozione cerebrale) correlata allo sport (SRC) è un trauma cerebrale causato da un colpo diretto o trasmesso alla testa, durante attività sportive o legate all'esercizio fisico.⁽¹⁾ Biomeccanicamente è generato da forze in accelerazione/decelerazione o rotazione del cervello che impatta contro la scatola cranica.⁽¹⁾ Questo evento innesca una complessa cascata biochimica e neurometabolica caratterizzata da un massiccio rilascio di neurotrasmettitori eccitatori, alterazioni delle pompe ioniche di membrana e repentine modificazioni del flusso ematico cerebrale. Tale squilibrio si traduce in un deficit energetico cellulare, derivante dalla discrepanza tra l'aumentata richiesta metabolica necessaria a ripristinare l'omeostasi ionica e la contestuale riduzione dell'apporto ematico locale; a questa crisi bioenergetica possono associarsi transitori deficit microstrutturali e processi infiammatori focali.⁽²⁾

Per quanto riguarda l'epidemiologia, l'incidenza globale dei traumi cranici è di 69 milioni di nuovi casi all'anno di cui 81% sono lievi, ⁽³⁾delle concussioni correlate allo sport invece sono presenti 1,41 casi per 1000 esposizioni dell'atleta (AE) e in 4,36 casi per 1000 ore di gioco (PH). L'analisi epidemiologica mostra una netta variazione del rischio in base alla disciplina, confermando che gli sport di contatto espongono gli atleti a un pericolo significativamente più elevato rispetto alle attività a basso contatto. Nello specifico, i tassi di incidenza più alti per esposizione dell'atleta si registrano nel taekwondo (11,29 per 1000 AE), nel rugby (6,45 per 1000 AE), nell'hockey su ghiaccio (3,01 per 1000 AE) e nel football americano (2,24 per 1000 AE). Un ulteriore e determinante fattore di rischio è rappresentato dal contesto della pratica sportiva: in tutti gli sport indagati si osserva infatti un'incidenza di traumi marcata e significativamente superiore durante le fasi di competizione ufficiale rispetto alle sessioni di allenamento. Infine, per quanto concerne le differenze di genere, i dati di tutti gli sport non mostrano una discrepanza statistica generale tra i due sessi, nella singola disciplina si evidenzia che il sesso biologico funge da importante

moderatore nel calcio e nel rugby, contesti nei quali la popolazione femminile presenta un tasso di concussione sensibilmente più elevato rispetto a quella maschile.(4)

La prevalenza delle diagnosi di concussione cerebrale ha subito un incremento del 71% nella popolazione di età compresa tra i 10 e i 19 anni nel periodo dal 2010 al 2015. Questo netto aumento valoriale risponde in realtà a una dinamica complessa e intrinsecamente multifattoriale, che non può essere sbrigativamente ricondotta alla sola crescita della consapevolezza individuale all'interno della popolazione generale. Evidenze consolidate in letteratura dimostrano infatti come i programmi puramente educativi e l'espansione delle conoscenze teoriche non modificano in modo automatico i comportamenti sul campo o l'attitudine alla denuncia immediata dei sintomi da parte degli atleti.(5) La crescita esponenziale delle curve epidemiologiche riflette piuttosto una combinazione di fattori strutturali e sistemici, tra i quali spiccano l'implementazione di riforme legislative nazionali e protocolli federali obbligatori per la gestione del trauma sportivo, unita a una sensibile ottimizzazione dei sistemi di sorveglianza e registrazione dei dati nei dipartimenti d'emergenza.(6,7)

I sintomi e i segni clinici possono manifestarsi immediatamente dopo l'impatto o svilupparsi progressivamente nell'arco di minuti o ore. Nella maggior parte dei casi, il quadro clinico si risolve spontaneamente entro le prime due settimane negli adulti e entro quattro settimane nella popolazione pediatrica e adolescente. In un'ottica prognostica, assume una rilevanza clinica centrale la quantificazione di quanti soggetti vadano incontro a una cronicizzazione del quadro clinico. La letteratura scientifica evidenzia come la risoluzione spontanea dei sintomi non sia un processo universale, documentando lo sviluppo di sintomi post-concussivi persistenti (PPCS) in una percentuale significativa della popolazione colpita: un fenomeno che interessa circa il 10-30% degli adolescenti e il 10-15% degli adulti. I meccanismi eziopatogenetici sottostanti a tale cronicizzazione riconoscono un'origine complessa ed eterogenea, che non può essere ricondotta a una singola determinante isolata, bensì a una fitta interazione di variabili

biologiche, neurofisiologiche e profili di vulnerabilità individuali del paziente.(8–10)

Dal punto di vista diagnostico, la commozione cerebrale si caratterizza per l'assenza di lesioni strutturali macroscopiche rilevabili mediante le metodiche di neuroimaging convenzionale impiegate nella pratica clinica di routine, quali la tomografia computerizzata (TC) o la risonanza magnetica nucleare (RMN) standard, i cui esiti risultano tipicamente negativi (1); Al contrario, l'applicazione di tecniche di neuroimaging avanzato — il cui utilizzo è attualmente circoscritto quasi esclusivamente all'ambito della ricerca scientifica e non alla diagnostica ordinaria — sta progressivamente documentando la presenza di transitorie alterazioni della microstruttura della sostanza bianca, nonché modificazioni del flusso ematico regionale e del metabolismo cerebrale, mediante l'impiego dell'imaging con tensore di diffusione (DTI) o della risonanza magnetica funzionale (fMRI).(11)

Il fatto che i normali esami radiologici non mostrino alterazioni strutturali rende evidente come la valutazione della concussione non possa basarsi su criteri standardizzati e uguali per tutti, motivo per cui oggi si preferisce utilizzare il modello della fenotipizzazione clinica.(12) Questo inquadramento diagnostico permette di superare i vecchi schemi e di stratificare i pazienti andando a individuare il profilo clinico dominante o l'eventuale combinazione di più disturbi. Nello specifico, la letteratura scientifica internazionale identifica sette fenotipi principali su cui basare la valutazione: con cefalea, cervicale, vestibolo- oculare, cognitivo, autonomico, affettivo (legato a variazioni dell'umore o ansia) e quello caratterizzato da disturbi del sonno e fatica.(13)

Riconoscere tempestivamente in quale di queste sotto-categorie si colloca il paziente è fondamentale perché orienta in modo diretto la strategia terapeutica. Oggi, infatti, sappiamo che il vecchio consiglio di imporre un riposo prolungato al buio è superato e spesso controproducente;(14) al contrario, si preferisce impostare un intervento attivo, precoce e personalizzato.(15) Il trattamento prevede quindi l'avvio di protocolli riabilitativi specifici per il fenotipo riscontrato, associando ad esempio l'esercizio aerobico controllato sottosoglia per la componente autonoma a

terapie manuali per il distretto cervicale, esercizi mirati vestibolo-oculomotori o percorsi di condizionamento neurocognitivo, con l'obiettivo di accelerare il recupero funzionale in totale sicurezza e ridurre il rischio di cronicizzazione dei sintomi.(1,15)

1.2 Valutazione clinica e diagnosi (esplorazione diagnosi clinica, uso tool, biomarker, imaging)

La gestione moderna della concussione cerebrale sport-correlata (SRC) impone un approccio diagnostico tempestivo, multidimensionale e rigorosamente standardizzato. Data l'assenza di macroscopiche alterazioni strutturali rilevabili mediante le tecniche di neuroimaging convenzionali, la diagnosi clinica iniziale rappresenta la pietra miliare per l'identificazione dell'evento traumatico e si basa sull'esplorazione immediata dei segni fisici, dei disturbi cognitivi e delle alterazioni neurovegetative manifestate dall'atleta sul campo o nelle ore immediatamente successive all'impatto. Per formulare un corretto inquadramento e prevenire complicanze a lungo termine, risulta imprescindibile eseguire una caratterizzazione precisa del profilo clinico acuto e un'attenta mappatura dei fattori di rischio intrinseci del soggetto, i quali possono influenzare significativamente la traiettoria e i tempi biologici di recupero.(12)

In quest'ottica, l'identificazione precoce dei diversi domini clinici coinvolti — tra cui quello vestibolare, oculomotore, cognitivo, autonomico e cervicale — richiede l'utilizzo integrato di protocolli clinici e strumenti di screening standardizzati e validati a livello internazionale, atti a quantificare l'entità del carico sintomatologico e a stratificare accuratamente i sottotipi clinici fin dalle prime fasi della valutazione.(13) Accanto alla valutazione semeiologica tradizionale, la ricerca scientifica più recente sta vagliando con crescente interesse l'introduzione di biomarker fluidi e tecniche di imaging avanzato, con l'obiettivo di oggettivare il danno neurometabolico sottostante e definire con maggiore accuratezza i criteri di diagnosi e di successiva guarigione.

Nella fase acuta, il dosaggio ematico di biomarcatori di danno neuronale e gliale, nello specifico la proteina gliale fibrillare acida (GFAP) e l'idrossilasi terminale carbossilica dell'ubiquitina L1 (UCH-L1), si è dimostrato un utile presidio per escludere complicanze intracraniche maggiori.(16) Per quanto concerne il neuroimaging, se l'imaging strutturale convenzionale (TC e RM) trova indicazione immediata solo per escludere lesioni macroscopiche o urgenze neurochirurgiche, le tecniche avanzate — come la risonanza magnetica funzionale (fMRI) o la risonanza con tensore di diffusione (DTI) —offrono una prospettiva promettente nella comprensione del disaccoppiamento tra recupero clinico e recupero metabolico cerebrale. Superata la fase d'emergenza, il gold standard attuale per la valutazione dell'atleta nella fase subacuta è rappresentato dai nuovi strumenti sviluppati dai consensi internazionali (1).

Lo *Sport Concussion Office Assessment Tool 6* (SCOAT6), sviluppato nel 2023 dal *Concussion in Sport Group*, costituisce il protocollo di riferimento per la valutazione ambulatoriale eseguita da professionisti sanitari a partire dal terzo giorno post-trauma. Lo strumento è validato per pazienti a partire dai 13 anni di età, mentre per la fascia pediatrica compresa tra gli 8 e i 12 anni è stata strutturata una versione specifica denominata *Child SCOAT6*. (17)

La valutazione multidimensionale dello SCOAT6 prevede un'accurata sezione anamnestica mirata a indagare la dinamica del trauma, le modalità di rimozione dal gioco, la storia pregressa di concussioni e la presenza di comorbidità neurologiche, psicologiche o disturbi dell'apprendimento, oltre all'anamnesi familiare e farmacologica. La sintomatologia viene quantificata tramite la scala PCSS, analizzandone intensità e decorso temporale. L'esame prosegue con test cognitivi verbali per la memoria immediata e differita, la misurazione dei segni vitali in ortostatismo per intercettare l'intolleranza autonoma, l'esame obiettivo del rachide cervicale e lo screening vestibolo-oculomotorio modificato (mVOMS). Completano il protocollo la valutazione clinica dell'equilibrio, i test di andatura in tandem (nelle varianti cronometrata, complessa e con doppio compito cognitivo) e lo screening della salute mentale e della qualità del sonno.

Il protocollo SCOAT6 si conclude con una sezione operativa dedicata alla pianificazione del follow-up e alla stesura dei programmi di recupero, declinati attraverso strategie graduali e sequenziali adattate dalle linee guida internazionali del 6° Consensus Statement di Amsterdam.(1) Il percorso di rientro scolastico (*Return-to-Learn*) si articola in quattro stadi sequenziali: si inizia con un ritorno graduale alle attività quotidiane che non scatenino la sintomatologia, per poi passare allo svolgimento di compiti cognitivi ed educativi a domicilio, all'inserimento scolastico part-time con facilitazioni personalizzate e, infine, al rientro a tempo pieno senza limitazioni.

Step	Mental activity	Activity at each step	Goal
1	Daily activities that do not result in more than a mild exacerbation* of symptoms related to the current concussion	Typical activities during the day (eg, reading) while minimising screen time. Start with 5–15min at a time and increase gradually	Gradual return to typical activities
2	School activities	Homework, reading or other cognitive activities outside of the classroom	Increase tolerance to cognitive work
3	Return to school part time	Gradual introduction of schoolwork. May need to start with a partial school day or with greater access to rest breaks during the day	Increase academic activities
4	Return to school full time	Gradually progress in school activities until a full day can be tolerated without more than mild* symptom exacerbation.	Return to full academic activities and catch up on missed work
Following an initial period of relative rest (24–48hours following an injury at Step 1), athletes can begin a gradual and incremental increase in their cognitive load. Progression through the strategy for students should be slowed when there is more than a mild and brief symptom exacerbation. *Mild and brief exacerbation of symptoms is defined as an increase of no more than 2 points on a 0–10 point scale (with 0 representing no symptoms and 10 the worst symptoms imaginable) for less than an hour when compared with the baseline value reported prior to cognitive activity.			

Tabella 1 Return-to-learn(RTL)

Parallelamente, il protocollo di ritorno allo sport (*Return-to-Play*) prevede una progressione in sei step guidata dal monitoraggio clinico.(1) Le prime tre fasi mirano alla progressiva desensibilizzazione e risoluzione dei sintomi attraverso il ripristino delle attività quotidiane, l'introduzione di attività aerobica precoce sottosoglia (inizialmente leggera con frequenza cardiaca inferiore al 55% della FC massima, successivamente moderata fino al 70%) e l'esecuzione di esercizi sport-specifici privi di rischio di impatto.(15,18) Una volta superata la fase subacuta e stabilizzato il quadro clinico, l'atleta può accedere alle fasi successive, che prevedono l'allenamento atletico senza contatto con incremento del carico coordinativo e cognitivo, il rientro all'allenamento completo con contatto e, da ultimo, il ritorno definitivo alla competizione agonistica.(1,15)

Step	Exercise strategy	Activity at each step	Goal
1	Symptom-limited activity	Daily activities that do not exacerbate symptoms (eg, walking)	Gradual reintroduction of work/school
2	Aerobic exercise 2 A- Light (up to approximately 55% maxHR) then 2 B- Moderate (up to approximately 70% maxHR)	Stationary cycling or walking at slow to medium pace. May start light resistance training that does not result in more than mild and brief exacerbation* of concussion symptoms.	Increase heart rate
3	Individual sport-specific exercise Note: If sport-specific training involves any risk of inadvertent head impact, medical clearance should occur prior to Step 3	Sport-specific training away from the team environment (eg, running, change of direction and/or individual training drills away from the team environment). No activities at risk of head impact	Add movement, change of direction
Step 4-6 should begin after resolution of any symptoms, abnormalities in cognitive function and any other clinical findings related to current concussion, including with and after physical exertion			
4	Non-contact training drills	Exercise to high intensity including more challenging training drills (eg passing drills, multiplayer training) can integrate into a team environment	Resume usual intensity of exercise, coordination and increased thinking
5	Full contact practice	Participate in normal training activities	Restore confidence and assess functional skills by coaching staff
6	Return to sport	Normal game play	
*Mild and brief exacerbation of symptoms (ie, an increase of no more than 2 points on a 0–10 point scale for less than an hour when compared with the baseline value reported prior to physical activity). Athletes may begin Step 1 (ie, symptom-limited activity) within 24 hours of injury, with progression through each subsequent step typically taking a minimum of 24 hours. If more than mild exacerbation of symptoms (ie, more than 2 points on a 0–10 scale) occurs during Steps 1–3, the athlete should stop and attempt to exercise the next day. Athletes experiencing concussion-related symptoms during Steps 4–6 should return to Step 3 to establish full resolution of symptoms with exertion before engaging in at-risk activities. Written determination of readiness to RTS should be provided by an HCP before unrestricted RTS as directed by local laws and/or sporting regulations. HCP, healthcare professional; maxHR, predicted maximal heart rate according to age (ie, 220-age)			

Tabella II Return-to-play (RTP)

1.3 I fenotipi della concussion e le implicazioni cliniche

L'eterogeneità clinica che caratterizza la commozione cerebrale correlata allo sport rappresenta una delle sfide più complesse nella gestione del paziente traumatizzato. Le manifestazioni sintomatologiche presentano una spiccata variabilità sia interindividuale sia intraindividuale, differendo significativamente tra i diversi soggetti ed evolvendo in termini di numero, gravità e persistenza dei sintomi nel tempo anche all'interno dello stesso individuo. Storicamente, questa variabilità ha ostacolato lo sviluppo di linee guida terapeutiche univoche. Tuttavia, l'integrazione dei dati clinici ottenuti mediante lo SCOAT6 e l'adozione di scale di screening mirate — come i questionari standardizzati per l'ansia e la depressione — hanno permesso di operare un fondamentale cambio di rotta, orientando la diagnosi verso una classificazione basata su specifici fenotipi clinici. L'identificazione precoce del fenotipo predominante consente infatti di impostare protocolli riabilitativi mirati e individualizzati, riducendo la durata della sintomatologia acuta, prevenendo la transizione verso la cronicità e accelerando il sicuro rientro alle attività scolastiche e sportive.⁽¹³⁾

Sebbene la transizione verso un modello fenotipico non sia ancora universalmente standardizzata e presenti margini di perfettibilità, la letteratura scientifica recente ha progressivamente ampliato i modelli di

classificazione. Rispetto ai cinque sottotipi originariamente descritti, i più recenti orientamenti clinici e di ricerca identificano oggi sette fenotipi distinti, ciascuno caratterizzato da una specifica impronta fisiopatologica e clinica: (13,19,20)

- 1) Il fenotipo con cefalea: rappresenta la manifestazione di riscontro più comune nella pratica clinica; si esprime con cefalea di tipo pulsante o tensivo, spesso associata a fotofobia e fonofobia, e mostra una prevalenza significativamente più elevata nei soggetti con anamnesi personale o familiare positiva per emicrania.(1,21)
- 2) Il fenotipo con alterazione cervicale/cervico-vestibolare: è spesso causato dal trasferimento di forze biomeccaniche al rachide cervicale durante l'impatto, manifestandosi con cervicalgia, ipertono e dolorabilità della muscolatura paracervicale e sottoccipitale, associate a cefalea miotensiva riflessa.(22,23)
- 3) Il fenotipo con alterazione vestibolo-oculare: è caratterizzato da disfunzioni dei sistemi dell'equilibrio e della motilità oculare estrinseca; clinicamente si traduce in vertigini, instabilità posturale, difficoltà nel tracciamento visivo e deficit della convergenza, esacerbati dagli stimoli ambientali affollati o in movimento.(13,24)
- 4) Il fenotipo con disturbi del sonno: si manifesta tipicamente attraverso una marcata alterazione del normale ritmo sonno-veglia e della qualità del riposo notturno, configurando quadri di insonnia iniziale, sonno frammentato e non ristoratore, a cui si associa una persistente sensazione di fatica durante il giorno.(1,25)
- 5) Il fenotipo con alterata emotività: comprende alterazioni della sfera neuropsichiatrica, caratterizzate da labilità emotiva, irritabilità, ansia e deflessione del tono dell'umore; questo profilo richiede un monitoraggio attento mediante scale di screening specifiche per

intercettare tempestivamente l'insorgenza di disturbi d'ansia o depressivi post-traumatici.(1,26)

- 6) Il fenotipo con alterata cognizione: si manifesta con un rallentamento generalizzato della velocità di elaborazione delle informazioni, deficit dell'attenzione, difficoltà di concentrazione e disturbi della memoria di lavoro a breve termine.(1,13)
- 7) Il fenotipo con disautonomia: è espressione di una transitoria disautonomia centrale; si manifesta con un'alterazione della regolazione cardiovascolare e della reattività del sistema nervoso autonomo, conducendo a intolleranza ortostatica, anomalie della frequenza cardiaca e della pressione arteriosa a riposo o sotto sforzo, e disidrosi. (1,13)

L'inquadramento del paziente all'interno di questi gruppi può risentire della variabilità dei criteri diagnostici adottati dalle diverse scuole cliniche; per tale ragione, la comunità scientifica è attivamente impegnata nella redazione di consensus capaci di omogeneizzare i criteri di inclusione. Un aspetto cruciale nella pratica clinica è rappresentato dalla frequente coesistenza di fenotipi multipli nello stesso individuo. La sovrapposizione (*overlap*) di più profili clinici non costituisce affatto un'evenienza remota: nelle forme a evoluzione prolungata o cronica, la clusterizzazione e l'interazione sinergica tra diversi fenotipi — come quello con cefalea, affettivo e dei disturbi del sonno — tendono ad amplificarsi, delineando quadri clinici complessi che richiedono un approccio riabilitativo multidisciplinare e la potenziale transizione verso cure specialistiche di secondo livello.(18,27,28)

1.4 Strategie riabilitative, dal riposo all'esercizio aerobico

L'approccio terapeutico iniziale nei confronti dell'atleta che ha subito una concussione cerebrale si è storicamente basato sul riposo fisico e cognitivo assoluto, protratto fino alla completa risoluzione della sintomatologia. Sebbene una breve fase di scarico funzionale si sia dimostrata efficace

nelle prime 24-48 ore post-trauma, il prolungamento di questa condizione a stimoli minimi (nota come *cocoon therapy*) non offre benefici clinici e può rallentare il recupero. In popolazione adolescenziale la deprivazione sociale e l'allontanamento totale dalle attività quotidiane determinano spesso lo sviluppo di sintomi secondari legati alla sfera affettiva ed emotiva, alimentando vissuti ansioso-depressivi dovuti all'isolamento. (29,30)

In seguito alla fase acuta, l'orientamento della ricerca scientifica e l'approccio degli ultimi consensus internazionali hanno subito un sostanziale mutamento di paradigma, focalizzandosi sull'introduzione di strategie attive mirate a ottimizzare il percorso riabilitativo.(1) Piuttosto che imporre un riposo passivo prolungato, l'evidenza clinica attuale supporta l'applicazione di interventi precoci e guidati dai sintomi, non con l'obiettivo di forzare i tempi biologici di guarigione, bensì con quello di prevenire il decondizionamento e ridurre significativamente il rischio di sviluppo di sintomi post-concussivi persistenti.(10,29) Gli studi clinici controllati che hanno confrontato l'efficacia del solo stretching rispetto all'attività aerobica personalizzata indicano che la mobilitazione passiva non influisce sul timing di guarigione clinica (31). Al contrario, l'introduzione precoce di un esercizio aerobico controllato agisce positivamente sui meccanismi fisiopatologici alterati dal trauma: stimola il ripristino dell'autoregolazione cerebrovascolare, ottimizza il flusso ematico cerebrale regionale e stabilizza l'assetto metabolico neuronale. (32)

È fondamentale, tuttavia, che tale stimolazione rimanga strettamente sottosoglia rispetto alla comparsa dei sintomi, poiché carichi di lavoro vigorosi, precoci o non monitorati rischiano di esacerbare la sintomatologia e ritardare significativamente il *clearance* medico. (32) Il razionale clinico alla base di questo approccio risiede nella necessità di bilanciare due esigenze terapeutiche opposte: da un lato, ridurre al minimo l'esacerbazione dei disturbi neurovegetativi e cognitivi; dall'altro, somministrare un carico di lavoro fisico progressivo che sia in grado di stimolare attivamente i meccanismi di neuroplasticità e ripristinare l'omeostasi del flusso ematico cerebrale, favorendo così una reintroduzione attiva e sicura alle attività quotidiane.

L'implementazione dell'esercizio aerobico richiede l'esatta individuazione

della soglia di tolleranza allo sforzo dell'atleta (*heart rate threshold*, HRT), definita come la frequenza cardiaca oltre la quale si manifesta un'esacerbazione dei sintomi. Dal punto di vista clinico, tale incremento viene registrato qualora si riscontri un aumento pari o superiore a 2 punti su una scala analogica visiva (da 0 a 10) per un singolo sintomo, oppure un incremento cumulativo distribuito su più domini sintomatologici (31).

La determinazione di questa soglia avviene attraverso protocolli incrementali standardizzati eseguiti su tapis roulant o cicloergometro, noti come *Buffalo Concussion Treadmill Test* (BCTT) o *Buffalo Concussion Bike Test* (BCBT). Durante il test, il carico di lavoro viene aumentato progressivamente a intervalli definiti, monitorando costantemente i parametri vitali e il livello di tolleranza del paziente. Qualora l'atleta riesca a completare il test raggiungendo e mantenendo una frequenza cardiaca pari o superiore al 90% della frequenza massima teorica (calcolata secondo la formula standard $220 - \text{età}$) per una durata continuativa di venti minuti senza alcuna esacerbazione clinica, il soggetto viene considerato fisiologicamente guarito.

I dati emersi dal test incrementale guidano la prescrizione dell'esercizio terapeutico domiciliare. Il programma riabilitativo prevede sessioni di attività aerobica della durata di circa 20 minuti, da eseguire con una frequenza di 5-6 volte a settimana, a un'intensità calibrata tra l'80% e il 90% della frequenza cardiaca di soglia (HRT) identificata al test. La scelta del range specifico viene modulata in base al livello di *fitness* cardiorespiratoria basale dell'atleta: i soggetti con un condizionamento atletico superiore vengono indirizzati verso i valori percentuali più alti del target terapeutico. Nel caso in cui l'attività debba essere interrotta precocemente a causa della comparsa di sintomi, la frequenza cardiaca di interruzione viene registrata come nuova soglia limite. In questo scenario, l'allenamento dei giorni successivi viene rimodulato impostando un target ridotto all'80-85% della frequenza che ha scatenato il disturbo, procedendo a un nuovo incremento progressivo solo dopo che il paziente ha dimostrato una completa tolleranza clinica al carico stabilito.

Un'interessante esperienza clinica condotta su una corte di pazienti adolescenti ha recentemente indagato il potenziale impatto delle differenze

di genere nella risposta terapeutica all'esercizio aerobico mirato (33). In questa specifica casistica, i soggetti di sesso maschile hanno mostrato un beneficio clinico immediato dal condizionamento cardiaco controllato rispetto ai protocolli di solo stretching, evidenziando una correlazione positiva tra un volume di lavoro moderato-elevato e la rapidità di risoluzione sintomatologica; al contrario, nella sottopopolazione di sesso femminile non è stata inizialmente registrata una divergenza statistica altrettanto netta rispetto al gruppo di controllo, sebbene sia stato documentato un accorciamento clinico della durata dei sintomi di circa tre giorni. Gli autori hanno ipotizzato che tale variabilità potesse risiedere in fattori emodinamici intrinseci, legati a frequenze cardiache basali e di lavoro fisiologicamente più elevate nel sesso femminile, il cui mancato computo esatto nei carichi di lavoro somministrati avrebbe potuto indurre involontari superamenti della soglia di tolleranza. Tuttavia, la reale portata di tali discrepanze biologiche rimane tuttora oggetto di dibattito e non consente generalizzazioni assolute; indagini parallele focalizzate sull'analisi dei pattern di recupero e sulla stratificazione fenotipica non hanno infatti evidenziato significative differenze di genere nella risposta complessiva ai protocolli riabilitativi attivi, suggerendo come l'efficacia dell'esercizio aerobico precoce rimanga sostanzialmente sovrapponibile tra i due sessi purché finemente personalizzata.(34)

Questo medesimo approccio riabilitativo attivo, basato sulla determinazione accurata della soglia cardiaca tollerata, trova oggi indicazione formale anche nei pazienti affetti da sindrome post-concussiva persistente (PPCS). Anche nel lungo termine, lo stimolo aerobico controllato continua a dimostrare una superiorità clinica netta e statisticamente rilevante rispetto alle strategie tradizionali basate sulla combinazione passiva di stretching e riposo prolungato. (35,36)

1.5 Riabilitazione basata sui fenotipi

Gestione e Trattamento della Cefalea Post-Traumatica (PTH)

Il razionale alla base dell'utilizzo dell'attività fisica nel trattamento della cefalea post-traumatica risiede nella sua capacità di modulare processi biologici chiave, come la riduzione dello stress ossidativo e degli stati

infiammatori, agendo contemporaneamente sui trigger di origine cervicale. In ambito pediatrico, è stato osservato che un inserimento precoce dell'esercizio fisico non solo riduce la gravità degli attacchi di mal di testa, ma ne accorcia sensibilmente la durata totale.(37)

È fondamentale chiarire che l'obiettivo dell'esercizio aerobico "sottosoglia" — iniziato idealmente dopo le prime 24-48 ore di riposo — non è curare direttamente la cefalea da sforzo, ma piuttosto ripristinare il corretto equilibrio dei sistemi autonomico e cerebrovascolare, spesso alterati dopo il trauma.(38,39)

Qualora la sintomatologia dovesse persistere oltre i 10 giorni, la letteratura suggerisce di passare a un approccio fisioterapico multimodale. In base alla revisione sistematica di riferimento, le strategie raccomandate variano a seconda della persistenza e del tipo di disturbo(40,41):

- Per i pazienti con dolore cervicale e vertigini oltre i 10 giorni, la priorità è la **riabilitazione cervico-vestibolare**;
- Per i deficit puramente vestibolari rilevati già dopo 5 giorni, si interviene con una **riabilitazione vestibolare** mirata;
- In caso di sintomi che superano il mese, si rende necessario un approccio di **riabilitazione attiva** più complesso e collaborativo.

Sebbene le evidenze sulla terapia cervico-vestibolare siano ancora in fase di consolidamento, questo approccio appare molto promettente per ottimizzare i tempi di ritorno allo sport (RTP). In conclusione, emerge chiaramente come l'identificazione precoce di un coinvolgimento delle strutture cervicali o vestibolo-oculari sia il prerequisito fondamentale per impostare un programma riabilitativo realmente efficace e personalizzato.

Gestione e Trattamento del fenotipo cervicale e cervico-vestibolare

Un aspetto cruciale nel recupero dell'atleta riguarda la stretta interdipendenza tra il rachide cervicale e il sistema vestibolare. Il ripristino di un corretto range di movimento del collo e la riduzione della sintomatologia dolorosa locale rappresentano, infatti, dei prerequisiti indispensabili per l'efficacia del trattamento vestibolare; questo perché la maggior parte degli esercizi specifici richiede movimenti del capo ripetitivi e molto rapidi, che non potrebbero essere eseguiti correttamente in presenza

di blocchi o dolore cervicale.

Le evidenze attuali suggeriscono che un programma riabilitativo multimodale e personalizzato, che integri l'approccio cervico-vestibolare, sia in grado di accelerare significativamente il recupero in quegli adolescenti che manifestano vertigini, dolore al collo e cefalea oltre i 10 giorni dal trauma(41). Sebbene questo tipo di intervento possa ricordare da vicino la gestione della comune cefalea cervicogenica, esso si differenzia per l'inserimento di esercizi specifici di equilibrio e controllo dell'andatura, mirati a correggere i deficit sensomotori tipici della commozione cerebrale.(42)

Inoltre, il ripristino del normale range di movimento (ROM) del rachide cervicale e la riduzione del dolore al collo rappresentano dei prerequisiti essenziali per la buona riuscita della stessa riabilitazione vestibolare; molti degli esercizi specifici richiesti da quest'ultima, infatti, comportano movimenti della testa veloci e ripetitivi, che risulterebbero impraticabili o fortemente dolorosi in presenza di un blocco cervicale.

L'implementazione di un programma riabilitativo multimodale e individualizzato, che includa la terapia cervico-vestibolare, si è dimostrata efficace nell'accelerare il recupero sia negli adolescenti che negli adulti i cui sintomi (come vertigini, cervicalgia e cefalea) persistono oltre i 10 giorni dall'evento traumatico (41). Questo modello di intervento ricalca in gran parte la gestione terapeutica della comune cefalea cervicogenica, ma si arricchisce di esercizi specifici per l'equilibrio e la deambulazione, accortezza necessaria per andare a correggere i deficit sensomotori tipici di questi atleti. (42)

Gestione e Trattamento delle disfunzioni vestibolo-oculari

La letteratura recente conferma che un intervento precoce di riabilitazione vestibolare dopo una commozione cerebrale sport-correlata (SRC) è non solo sicuro, ma estremamente efficace nel favorire un recupero rapido e un ritorno al gioco (RTP) più tempestivo, riducendo il rischio che i sintomi diventino cronici (28),(44),(45). Al contrario, un ritardo nel riconoscimento e nel trattamento dei disturbi vestibolo-oculari è spesso associato a tempi di guarigione molto più lunghi.(46)

Le attuali linee guida suggeriscono di iniziare la riabilitazione vestibolare

negli adolescenti se le vertigini persistono oltre i 5 giorni, passando a programmi di riabilitazione attiva più strutturati se i sintomi superano i 30 giorni.(41)

Dal punto di vista pratico, il trattamento si concentra sul miglioramento della funzione oculomotoria e dell'equilibrio attraverso esercizi di:

- **Stabilizzazione dello sguardo e convergenza:** fondamentali per recuperare la capacità di fissazione durante i movimenti della testa o del corpo. Strumenti semplici e a basso costo, come i *pencil push-ups* o la corda di Brock, si sono dimostrati efficaci e ben tollerati nella gestione dell'insufficienza di convergenza. (47,48)
- **Rieducazione sensomotoria:** esercizi di equilibrio e deambulazione che mirano a desensibilizzare l'atleta in caso di "vertigine visiva" (ovvero quando i sintomi sono scatenati da ambienti visivamente caotici). In queste fasi, è essenziale monitorare anche la componente cervicale, che può agire sia come causa primaria che come aggravante dei sintomi.(49)

La progressione dell'esercizio dovrebbe seguire i criteri **FITT** (Frequenza, Intensità, Tempo e Tipo), procedendo in modo graduale da situazioni a basso rischio verso compiti più complessi (43). Un programma strutturato prevede l'aumento della difficoltà agendo su variabili quali la superficie di appoggio (stabile o instabile), il movimento del capo, l'input visivo e l'aggiunta di compiti cognitivi simultanei (*dual-task*). (45,50)

Infine, le tecnologie emergenti come la realtà virtuale stanno offrendo nuove prospettive, permettendo di creare ambienti immersivi e controllati per allenare la coordinazione e l'equilibrio con un feedback immediato per l'atleta.(51)

Gestione e Trattamento dei disturbi del sonno

I disturbi del sonno rappresentano un fattore critico nel processo di recupero post-concussivo, e il loro trattamento richiede un approccio multifasico. Tra le strategie non farmacologiche, la terapia cognitivo-comportamentale per l'insonnia (CBTi) ha mostrato risultati particolarmente promettenti, dimostrandosi efficace nel ridurre i disturbi del sonno e nel migliorare contemporaneamente il tono dell'umore nei soggetti colpiti da commozione

cerebrale.(52)

In questo scenario, l'attività fisica svolge un ruolo complementare e decisivo nel potenziare la qualità del riposo e accelerare il recupero funzionale. L'introduzione precoce del movimento è stata infatti associata non solo a un miglioramento dell'architettura del sonno, ma anche a una maggiore stabilità posturale.(53) Le evidenze in letteratura indicano che il raggiungimento di una quota di attività fisica superiore ai 150 minuti a settimana è correlato a una qualità del sonno significativamente migliore; parallelamente, diversi studi sottolineano come i programmi di attività fisica strutturata siano in grado di ridurre i livelli di fatigue e spossatezza rispetto ai gruppi di controllo non attivi.(54,55)

In sintesi, il monitoraggio della qualità e della quantità del sonno costituisce un elemento imprescindibile nel percorso di cura post-trauma. Trattare precocemente le alterazioni del sonno permette non solo di mitigarne l'impatto diretto sulla fatigue, sulle disfunzioni cognitive e sul benessere emotivo, ma contribuisce in modo positivo all'ottimizzazione dei protocolli di ritorno allo studio (RTL) e al gioco (RTP). L'integrazione sinergica tra interventi psicologici e protocolli basati sull'esercizio fisico offre, pertanto, un modello terapeutico completo per ridurre l'impatto dell'insonnia post-concussiva e favorire un recupero ottimale dell'atleta.

Gestione e Trattamento dei disturbi dell'umore e dell'emotività

La gestione efficace delle alterazioni della sfera emotiva a seguito di una commozione cerebrale richiede un approccio fortemente personalizzato, basato sulla gravità e sulla complessità della sintomatologia riscontrata. Negli atleti, i disturbi dell'umore sono spesso esacerbati dall'allontanamento forzato dall'attività sportiva; in questo contesto, la strutturazione di un protocollo riabilitativo attivo e sicuro si rivela uno strumento fondamentale, capace di ridurre l'insorgenza di manifestazioni ansiose legate all'isolamento e allo stop agonistico. (56) Per i casi che presentano una sintomatologia di grado moderato o severo, rimane comunque fortemente raccomandata la consulenza specialistica psichiatrica al fine di impostare la strategia terapeutica più idonea.

In parallelo, la figura del neuropsicologo riveste un ruolo chiave nella

valutazione dei pazienti che manifestano sintomi cognitivi, comportamentali ed emotivi rilevanti. Tali disturbi possono essere una conseguenza diretta del trauma o, in alternativa, agire come fattori che amplificano altri quadri clinici (come la cefalea post-traumatica). Attraverso test neuropsicologici standardizzati, vengono esaminati domini cognitivi cruciali quali la memoria, l'attenzione, le funzioni esecutive e la velocità di elaborazione delle informazioni.(57) L'intervento neuropsicologico permette inoltre di distinguere tra i deficit causati direttamente dalla *concussion* e l'impatto di condizioni preesistenti o di stress psicologico, guidando in modo più efficace le decisioni relative ai protocolli di ritorno allo studio (RTL) e al gioco (RTP). Le evidenze più recenti della letteratura scientifica evidenziano con forza il ruolo terapeutico dell'attività fisica nel contrastare le alterazioni dell'umore associate al trauma. Studi metanalitici indicano che il movimento migliora gli stati emotivi negativi, come l'ansia, nella popolazione adolescente, (58) mentre interventi basati su uno stile di vita attivo mostrano benefici diffusi sulla salute mentale generale, riducendo i livelli di depressione e stress. (59) Specificamente nell'ambito della commozione cerebrale, i programmi di riabilitazione attiva hanno dimostrato un impatto decisamente positivo sul tono dell'umore dei giovani pazienti in fase di recupero.(60)

Gestione e Trattamento dei disturbi cognitivi

La riabilitazione cognitiva a seguito di una commozione cerebrale deve focalizzarsi principalmente su strategie di abituazione e di compenso, mirate a ripristinare le diverse funzioni che possono aver subito un danno.(61) Questo tipo di intervento richiede una forte personalizzazione sulle necessità specifiche dell'atleta, tenendo conto delle sue attività quotidiane, delle esigenze di apprendimento scolastico o lavorativo (RTL) e delle difficoltà riscontrate sul campo. In ambito clinico, le due principali correnti metodologiche utilizzate sono le strategie compensative e quelle ristorative.(62) Sebbene l'efficacia di questi approcci sia supportata da diversi studi, la letteratura non mostra ancora un consenso unanime: i benefici clinici appaiono infatti variabili e strettamente dipendenti dal livello di personalizzazione del protocollo e dal coinvolgimento di figure professionali specializzate.

Per promuovere una maggiore neuroplasticità e capacità di adattamento cerebrale, la ricerca recente suggerisce l'introduzione di programmi riabilitativi che combinino il movimento fisico con compiti che richiedono pianificazione, memoria e capacità di adattamento a pattern motori specifici. Questa tipologia di esercizi permette di stimolare simultaneamente diverse funzioni cognitive superiori — come l'attenzione selettiva, la memoria di lavoro e le funzioni esecutive — attraverso livelli di difficoltà progressivamente crescenti.

Parallelamente, è stato dimostrato che l'unione di una pratica motorio-cognitiva intensiva (orientata a obiettivi specifici) con l'allenamento aerobico stimola la neuroplasticità a livello corticostriatale, favorendo miglioramenti significativi sia sotto il profilo motorio che cognitivo. Di conseguenza, la combinazione sinergica tra esercizio aerobico e programmi neuro-cognitivi rappresenta oggi una delle indicazioni terapeutiche più solide ed efficaci per il trattamento dei pazienti che hanno subito una commozione cerebrale.(63)

Gestione e Trattamento del fenotipo autonomico

Sebbene l'esatta eziologia del danno autonomico post-concussivo non sia ancora stata del tutto chiarita, le evidenze attuali confermano che un trattamento basato sull'esercizio aerobico controllato — mantenuto a un'intensità tale da non esacerbare i sintomi se non in modo lieve — si dimostra ampiamente efficace, proprio perché interviene direttamente sulle alterazioni del sistema nervoso autonomo indotte dal trauma (64,65). Ad oggi, l'esercizio aerobico graduale e "sottosoglia" viene prescritto con precise finalità terapeutiche: favorire il riequilibrio autonomico, incrementare la tolleranza allo sforzo e prevenire il decondizionamento fisico dell'atleta.(64)

La letteratura scientifica supporta l'utilizzo di protocolli di esercizio personalizzati, strutturati sulla base della risposta individuale a test da sforzo validati (come il *Buffalo Concussion Treadmill Test*), con l'obiettivo di stimolare e ottimizzare la funzione cardiovascolare e cerebrovascolare nella fase post-traumatica.(66)

In questo contesto, risulta altrettanto fondamentale educare il paziente allo svolgimento di attività fisiche non strutturate nella vita quotidiana. È stato

infatti dimostrato che un riposo eccessivamente prolungato e l'inattività totale non fanno altro che peggiorare l'instabilità autonoma, ritardando sensibilmente il recupero funzionale dell'atleta.(67)

2. Scopo della tesi

Questo studio pilota si propone di identificare e stratificare i fenotipi clinici della concussione attraverso l'applicazione dello strumento standardizzato Sport Concussion Office Assessment Tool 6 (SCOAT6™) in una coorte di pazienti afferenti ad un ambulatorio per la gestione della concussione cerebrale e di osservare l'andamento clinico e i tempi di recupero di un programma di esercizio fisico strutturato in un sottogruppo di soggetti.

3. Materiali e metodi

3.1 Tipo di studio

Il presente lavoro si configura come uno studio osservazionale prospettico, condotto senza l'impiego di farmaci o dispositivi medici. I pazienti con sospetta commozione cerebrale, individuati inizialmente dai pronto soccorso pediatrici e generali, dai medici di medicina generale o dai pediatri di libera scelta, sono stati indirizzati all'ambulatorio per la gestione della concussione cerebrale attivato presso l'Unità Operativa Complessa di Medicina dello Sport e dell'Esercizio Fisico dell'Azienda Ospedale - Università di Padova. Successivamente, dopo aver ottenuto il consenso informato, ciascun paziente è stato valutato seguendo le più recenti linee guida validate a livello internazionale per la gestione della concussione, nello specifico lo strumento SCOAT6.

Il campione complessivo è rappresentato dai pazienti che si sono rivolti all'ambulatorio nel periodo compreso tra il 20 settembre 2022 e il 25 marzo 2026 e che soddisfacevano i criteri di inclusione, raggiungendo un totale di 139.

Per l'eleggibilità e il successivo arruolamento della coorte all'interno del presente studio, sono stati applicati i seguenti criteri di inclusione:

- Età anagrafica: atleti di età adulta inferiore ai 70 anni e soggetti in età pediatrica a partire dagli 8 anni compiuti;
- Inquadramento clinico iniziale: aver riportato un trauma cranico classificato come lieve, formalmente definito da un punteggio

della *Glasgow Coma Scale* (GCS) compreso nell'intervallo tra 13 e 15;

- Obiettivo terapeutico: necessità clinica di intraprendere un percorso strutturato di rientro sicuro alle attività scolastiche (*Return-to-Learn*), lavorative o specificamente sportive (*Return-to-Play*);
- Idoneità funzionale: presenza di una idoneità clinica intrinseca e di una predisposizione oggettiva, laddove valutabile, alla somministrazione e alla pratica dell'esercizio fisico terapeutico.

Specularmente, la selezione del campione ha previsto l'applicazione dei seguenti criteri di esclusione:

- Gravità del trauma neurologico: pazienti che presentavano al momento dell'accesso un punteggio GCS inferiore a 13;
- Evidenze radiologiche strutturali: riscontro mediante tecniche di neuroimaging convenzionale di lesioni macroscopiche riconducibili a un trauma cranico moderato-severo, quali fratture della teca cranica, ematomi intra- ed extra-assiali o quadri compatibili con danno assonale diffuso (DAI);
- Limitazioni funzionali assolute: presenza di una impossibilità oggettiva o medica a svolgere qualsiasi forma di attività fisica, secondaria a severe compromissioni stabili di natura motoria, ortopedica o cognitiva.

3.2 Protocollo di valutazione clinica e caratterizzazione dei fenotipi

Per tutti i pazienti inclusi nello studio è stata raccolta un'anamnesi medica completa seguendo le indicazioni dello strumento SCOAT6. Questa valutazione ha compreso la storia clinica personale, familiare e farmacologica dell'atleta, ponendo particolare attenzione ai dettagli e alle dinamiche del trauma. Parallelamente, è stata monitorata la timeline dell'assistenza medica, calcolando il tempo trascorso tra l'evento traumatico e la presa in carico presso la nostra struttura, oltre

a registrare la modalità con cui il paziente è stato indirizzato alla nostra attenzione.

Una prima analisi dei diversi fenotipi della commozione cerebrale è stata eseguita basandosi sui punteggi della *Post-Concussion Symptom Scale* (PCSS), uno strumento ampiamente validato per valutare la presenza e la gravità della sintomatologia post-concussiva. La scala elenca i sintomi più comuni associati al trauma — come cefalea, capogiri, nausea e difficoltà di concentrazione — che il paziente deve autovalutare su una scala Likert da 0 a 6, dove lo zero indica l'assenza del sintomo e il sei la massima gravità. Questo sistema permette di quantificare la severità dei sintomi in diversi momenti chiave, come il periodo acuto subito dopo l'infortunio e il momento della valutazione clinica, risultando fondamentale per monitorare l'andamento del recupero nel tempo.

I sintomi della PCSS sono stati poi raggruppati per classificare i pazienti in base al fenotipo clinico più strettamente associato. Nello specifico, sono stati identificati sette fenotipi distinti:

- Il **fenotipo emicranico/cefalea**, caratterizzato da mal di testa, senso di pressione alla testa, fotofobia e fonofobia;
- Il **fenotipo cervicale**, che comprende il dolore al rachide cervicale e le contratture muscolari locali;
- Il **fenotipo autonomico/cardiovascolare**, legato ad alterazioni della frequenza cardiaca, della sudorazione o della pressione arteriosa;
- Il **fenotipo vestibolo-oculomotore**, definito da capogiri, visione offuscata e deficit di equilibrio;
- Il **fenotipo affettivo/emotivo**, che racchiude una maggiore emotività, irritabilità, tristezza, ansia o nervosismo;
- Il **fenotipo cognitivo**, caratterizzato da sensazione di rallentamento, "nebbia cognitiva", difficoltà di concentrazione, deficit di memoria e confusione;
- Il **fenotipo legato a sonno e fatigue**, che include sonnolenza, spossatezza e disturbi del sonno.

Per ciascun fenotipo è stato calcolato il punteggio medio dei sintomi correlati, considerando clinicamente significativo il fenotipo che presentava un punteggio medio pari o superiore a 1. In base ai riscontri emersi dalla PCSS, nei casi in cui si evidenziassero alterazioni specifiche, sono stati somministrati questionari aggiuntivi — per la maggior parte già inclusi nella valutazione standard dello SCOAT6 — per definire e quantificare meglio i singoli profili. Qualsiasi altra anomalia emersa durante l'esame obiettivo ha permesso di confermare i fenotipi rilevati o di identificarne altri presenti in combinazione.

L'esame clinico ha compreso una serie di valutazioni strutturate, volte a confermare i fenotipi emersi dal questionario PCSS o a identificare eventuali manifestazioni cliniche combinate.

Valutazione dell'intolleranza ortostatica

Per l'analisi della stabilità autonoma, i pazienti sono stati valutati inizialmente dopo essere rimasti in posizione supina per almeno due minuti, arco di tempo in cui sono state misurate la pressione sanguigna e la frequenza cardiaca di base. Successivamente, gli atleti sono stati invitati ad alzarsi in piedi il più rapidamente possibile e a mantenere la posizione eretta per un tempo definito, pari a un minuto per gli adulti e due minuti per i bambini, effettuando una nuova misurazione dei parametri vitali al termine del test. Durante entrambe le fasi, è stata registrata la comparsa di sintomi specifici come visione offuscata, nausea, perdita di concentrazione o fatigue.

Per i soggetti che hanno manifestato disturbi in ortostatismo, è stato rilevato se questi comparissero solo immediatamente dopo il cambio di postura — configurando un'intolleranza ortostatica iniziale, risolta entro il primo minuto per gli adulti o il secondo per i bambini — o se persistessero per l'intera durata del test, indicando una vera intolleranza ortostatica. Per confermare clinicamente una di queste due condizioni, la presenza dei sintomi doveva essere accompagnata da almeno una variazione fisiologica durante il passaggio in piedi, definita da una riduzione della pressione sistolica pari o superiore a 20 mmHg, una riduzione della diastolica pari o superiore a 10

mmHg, oppure una variazione in aumento o in diminuzione della frequenza cardiaca superiore a 30 battiti al minuto.

Valutazione del rachide cervicale

La valutazione cervicale ha indagato l'eventuale presenza di segni muscolo-scheletrici e l'integrità funzionale del collo. L'esame ha previsto la ricerca di contratture muscolari attive, la rilevazione del dolore alla palpazione dei processi spinosi cervicali o alla pressione profonda a livello paravertebrale. Inoltre, è stato verificato il mantenimento del normale range di movimento (ROM) del rachide cervicale attraverso i test di mobilità in flessione, estensione, inclinazione laterale e rotazione bilaterale.

Valutazione neurologica standard

L'esame neurologico classico è stato eseguito per escludere deficit focali o complicanze maggiori. Il protocollo ha previsto la verifica sistematica della funzione dei nervi cranici, la valutazione della forza e del tono muscolare dei quattro arti, il controllo della sensibilità periferica, la reattività dei riflessi tendinei profondi e l'efficienza della funzionalità cerebellare attraverso test di coordinazione.

Test dell'equilibrio: modified Balance Error Scoring System (mBESS)

La valutazione dell'equilibrio statico si è avvalsa del *modified Balance Error Scoring System* (mBESS), che analizza la capacità del paziente di mantenere tre diverse posizioni a occhi chiusi per 20 secondi: l'appoggio bipodale, la posizione in tandem e l'appoggio monopodale. Ogni posizione prevede un punteggio massimo di 10 punti da cui viene sottratto un punto per ogni errore commesso (come l'apertura degli occhi, il sollevamento delle mani dalle creste iliache o la perdita dell'equilibrio).

Poiché lo SCOAT6 non fornisce valori di riferimento standard per definire le anomalie nel mBESS, per i pazienti dai 19 anni in su, età in cui lo sviluppo fisico e neurocognitivo è considerato completo, sono state utilizzate le soglie normative di Iverson e Koehle (68) per classificare la performance tra normale, sotto la media, scarsa o molto scarsa. Per i pazienti sotto i 19 anni,

invece, sono stati adottati i valori di riferimento definiti da Ozinga e colleghi,(69) mantenendo la medesima classificazione per fasce d'età.

Test dell'andatura: Timed Tandem Gait (TTG)

Il secondo test utilizzato per la stabilità dinamica è stato il *Timed Tandem Gait* (TTG), eseguito per tre prove consecutive per ricavare sia il tempo migliore sia il valore medio dei tre tentativi. I limiti di normalità temporale si basano sulle indicazioni dello SCOAT6 per i soggetti sopra i 12 anni, per i quali la soglia di anomalia è pari o superiore a 14 secondi, e del Child SCOAT6 per la fascia tra gli 8 e i 12 anni, con una soglia pari o superiore a 26 secondi. Oltre al tempo di esecuzione, sono state registrate eventuali difficoltà macroscopiche durante la camminata, come l'incapacità di completare il percorso, l'instabilità, le cadute, l'uscita dalla linea o la comparsa di vertigini e nausea; la presenza di uno di questi fattori ha comportato la classificazione della prova come anomala anche in presenza di tempi perfettamente nella norma.

Screening oculomotorio e vestibolare: VOMS

Lo screening *Vestibular/Ocular Motor Screening* (VOMS) è stato somministrato per indagare l'integrità dei sistemi visivo e vestibolare integrati. Il test ha esaminato nello specifico cinque domini: l'inseguimento lento (*smooth pursuits*), i movimenti saccadici rapidi (orizzontali e verticali), il punto vicino di convergenza (NPC), il riflesso vestibolo-oculare (VOR) e la sensibilità al movimento visivo (VMS). Oltre a identificare eventuali anomalie nell'esecuzione motoria degli occhi, l'attenzione è stata posta sulla possibile comparsa o accentuazione dei sintomi (cefalea, vertigini, nausea, faticabilità) durante i test e sulla presenza di un'insufficienza di convergenza, definita clinicamente come l'incapacità di mettere a fuoco correttamente il target a una distanza superiore ai 6 centimetri.

Test di tolleranza allo sforzo aerobico

I pazienti che manifestavano un'intolleranza all'esercizio fisico o sintomi persistenti legati al fenotipo autonomico sono stati indirizzati alla palestra dell'Unità Operativa per l'esecuzione di un test da sforzo cardiovascolare

personalizzato. Questo esame, basato sui protocolli del *Buffalo Concussion Treadmill Test* (BCTT) o del *Buffalo Concussion Bike Test* (BCBT),(15) è stato utilizzato per confermare e quantificare l'intolleranza allo sforzo e per definire la frequenza cardiaca target (HRt) necessaria a impostare il successivo programma riabilitativo aerobico sottosoglia di sintomi.

3.3 Programmi di riabilitazione fenotipo-specifici

L'implementazione dell'esercizio aerobico precoce e sottosoglia rispetto alla comparsa dei sintomi costituisce il pilastro terapeutico cardine, una base d'intervento universalmente valida e ampiamente tollerata in modo trasversale da tutte le popolazioni cliniche. Tuttavia, per ottimizzare l'efficacia del recupero, questo approccio cardiovascolare deve essere integrato all'interno di una strategia di individualizzazione del percorso riabilitativo. In ragione dell'elevata eterogeneità e della variabilità intrinseca con cui la sintomatologia si manifesta, si rende necessaria l'identificazione sistematica del fenotipo clinico prevalente dell'atleta. Tale inquadramento permette di strutturare un approccio terapeutico multimodale, sartoriale e mirato, focalizzato specificamente sulle disfunzioni biologiche che determinano il maggior impatto sulla qualità di vita e sulle autonomie del paziente. Sulla base delle più recenti evidenze e delle raccomandazioni internazionali, l'ambulatorio per la concussione di Padova ha ideato un algoritmo decisionale che prevede l'attivazione di tre programmi di riabilitazione specialistica, somministrati in combinazione o in successione all'esercizio aerobico graduato:

- 1) **Programma di riabilitazione per il dolore cervicale:** focalizzato sul distretto rachideo e mirato alla risoluzione della componente somatosensoriale e miotensiva.
- 2) **Programma di riabilitazione vestibolo-oculomotoria (VOR):** orientato alla ricalibrazione dei riflessi posturali, visivi e di coordinazione occhio-capo.

3) Programma di riabilitazione neurocognitiva: indirizzato al recupero delle funzioni esecutive, dell'attenzione e della memoria di lavoro.

L'applicazione clinica di tali protocolli è basata su un algoritmo di inclusione che mappa i fenotipi dominanti e ne stabilisce le finestre temporali d'intervento e i criteri di progressione, come schematizzato nella matrice decisionale sottostante (Protocollo interno sviluppato dall'U.O.C. Medicina dello Sport dell'Università di Padova, attualmente in corso di revisione per pubblicazione):

	PTH	Cervical pain – somatic	Cervico-vestibular	Vestibulo-ocular	Sleep disorders - Fatigue	Affective disorders	Cognitive disorders	Specialist referral
Graded aerobic exercise (HRT)	YES	YES	YES	YES	YES To be adjusted based on fatigue	YES	YES	Persistence of exercise intolerance beyond 2 weeks or rapid worsening.
Cervical pain management program	Only cervicogenic headache*; ≥10 days from trauma	YES*; ≥10 days from trauma	YES*; ≥10 days from trauma	NO	NO	NO	NO	No improvement after 2 weeks or worsening of symptoms.
Vestibulo-ocular disorders management program	If vestibular component detected; ≥5 days from trauma	NO	YES**; ≥5 days from trauma	YES***; ≥5 days from trauma	NO	NO	NO	No improvement after 2 weeks or worsening of symptoms.
Neurocognitive rehabilitation program	YES- Headache no more than mild (≤2 scala VAS)	YES	YES – deferred, in the absence of dizziness and/or fall risk	YES – deferred, in the absence of dizziness and/or fall risk	YES	YES	YES	No improvement after 2 weeks or worsening of symptoms.

➤ In the event of symptom activation, new programs may be introduced starting from Step 1.
 ➤ If Step 1 is not tolerated, referral to a specialist for appropriate evaluation is recommended.
 ➤ For RTP considerations, non-essential programs may be initiated from advanced steps if deemed appropriate.
 ➤ * For mild cervical pain, only warm compresses, stretching, and ROM exercises are recommended.
 ➤ ** Only balance and gait components are included
 ➤ *** Convergence exercises are only beneficial if specific deficits are identified.

Tabella III Matrice decisionale

Come evidenziato dal protocollo operativo, l'introduzione di ciascun programma specialistico richiede la presenza di indicatori semeiologici precisi e il rispetto di tempistiche biologiche ben definite (ad esempio, una latenza di almeno 10 giorni dal trauma per l'approccio terapeutico sul rachide cervicale somatico, o di almeno 5 giorni per l'attivazione del comparto vestibolo-oculare). Qualora l'applicazione sequenziale di questi step terapeutici non determini un miglioramento clinico quantificabile entro le due settimane, o si assista a un deterioramento repentino del quadro

sintomatologico, l'algoritmo impone l'interruzione del trattamento standard e l'invio immediato del paziente a una valutazione specialistica di secondo livello (*specialist referral*) (36,41,49,70,71)

In linea con i criteri di inclusione definiti dall'algoritmo riabilitativo, l'attivazione del programma terapeutico mirato al rachide cervicale risponde a indicazioni cliniche stringenti e specifiche per fenotipo. L'intervento è formalmente indicato per il fenotipo emicranico esclusivamente qualora sia documentata una chiara e concomitante componente cefalalgica di tipo cervicogenico, e comunque non prima di 10 giorni dall'evento traumatico. Nel caso in cui l'atleta presenti manifestazioni emicraniche lievi e isolate, le linee guida raccomandano l'adozione di misure conservative non invasive quali l'applicazione di impacchi caldo-umidi, protocolli di stretching blando e mobilizzazioni elementari per il mantenimento del range di movimento. Al contrario, lo sviluppo di un programma terapeutico formale e strutturato trova indicazione elettiva nei fenotipi somatico, cervicale e cervico-vestibolare, a condizione che i deficit strutturali e la sintomatologia dolorosa persistano oltre la finestra dei 10 giorni post-trauma.(40,72,73)

Questo protocollo riabilitativo, data la complessità delle strutture anatomiche coinvolte e la necessità di una modulazione fine dei carichi biologici, richiede la supervisione diretta di personale sanitario specializzato in riabilitazione neuro-muscoloscheletrica. Il programma si articola in sei categorie distinte di intervento, ciascuna suddivisa in quattro stadi sequenziali (Stadi 1-4) finalizzati a garantire una progressione terapeutica sicura, graduale e priva di esacerbazioni cliniche:

- **A) Ripristino del Range of Motion (ROM):**

- *Stadio 1 (Fase Passiva/Regionale):* Esecuzione di mobilizzazioni passive del tratto cervicale, associate a esercizi terapeutici per il cingolo scapolo-omerale e il distretto toracico superiore, integrando il tutto con pattern di coordinazione respiratoria (respiro-movimento).
- *Stadio 2 (Fase Attiva Controllata):* Introduzione del movimento attivo guidato; il protocollo prevede l'esecuzione di 3 serie da 10 ripetizioni di flessione anteriore assistita (*chin tuck* sul piano sagittale) e 5 ripetizioni per lato di rotazione

lenta.

- *Stadio 3 (Fase Attiva Completa)*: Recupero del ROM attivo e completo lungo tutti i piani fisiologici di movimento, in assenza di resistenze.
- *Stadio 4 (Fase Dinamica Complessa)*: Integrazione del ROM a tolleranza mediante variazioni repentine di velocità e decelerazione, combinando movimenti multiplanari e direzionali simultanei.

- **B) Rafforzamento e condizionamento muscolare (*Strengthening*):**

- *Stadio 1*: Somministrazione di contrazioni isometriche sub-massimali della durata di 20 secondi, strutturate in 4 serie per ciascuna delle quattro direzioni principali dello spazio.
- *Stadio 2*: Introduzione di resistenze elastiche progressive a basso coefficiente di carico, eseguendo 10 ripetizioni per ciascun vettore di movimento.
- *Stadio 3*: Incremento del carico biologico tramite l'utilizzo di bande elastiche a resistenza maggiorata, mantenendo il volume di 10 ripetizioni per direzione.
- *Stadio 4*: Sviluppo di catene cinetiche dinamiche complesse e/o utilizzo di resistenze elastiche associate a contrazioni isometriche mantenute in fase di massimo accorciamento (*isometria finale*).

- **C) Allenamento della flessione cranio-cervicale (*CCFT training*)**: Questo pilastro riabilitativo mira alla ricalibrazione e al reclutamento selettivo della muscolatura stabilizzatrice profonda del collo (rappresentata principalmente dai muscoli *Longus Capitis* e *Longus Colli*). L'esercizio viene eseguito mediante l'ausilio di un'unità di biofeedback pressorio pneumatico posizionata a livello della lordosi cervicale sub-occipitale e insufflata a una pressione basale di riferimento pari a 20mmHg, utile a sostenere il distretto senza indurre alterazioni posturali. Al paziente viene richiesto di eseguire una micro-flessione craniocervicale controllata (movimento assimilabile all'atto di annuire), incrementando progressivamente la

pressione sul cuscino secondo i seguenti stadi di stabilità:

- *Stadio 1*: Incremento pressorio target di +2 a +4mmHg rispetto alla linea di base, con mantenimento della contrazione per 3 secondi, ripetuto per 5 volte.
- *Stadio 2*: Incremento target di +4 a +6mmHg, con mantenimento della contrazione per 5-8 secondi, strutturato in 4 ripetizioni.
- *Stadio 3*: Incremento target di +6 a +8mmHg, con contrazione isometrica mantenuta per 10-15 secondi per 3 ripetizioni.
- *Stadio 4*: Incremento target di +8 a +10mmHg (raggiungendo una pressione finale di 28-30mmHg), con mantenimento per 15-20 secondi, per 2-3 ripetizioni.

La corretta esecuzione del *Craniocervical Flexion Test* (CCFT) impone il rispetto di rigorosi criteri semeiologici. L'atto motorio deve coincidere tassativamente con la fase di espirazione e non deve manifestare l'intervento compensatorio della muscolatura superficiale. Per validare la corretta attivazione selettiva ed evitare l'insorgenza di fatica muscolare atipica, il clinico esegue un monitoraggio basato su:

- Palpazione manuale sistematica dei muscoli superficiali (nello specifico, il grande trapezio e lo sternocleidomastoideo) per escluderne il co-reclutamento.
- Verifica visiva che l'incremento di pressione sul manometro sia generato dal movimento di rotazione sagittale e non da una traslazione posteriore o retrazione dell'intero capo.
- Controllo che il paziente non sollevi il cranio dal piano di appoggio.
- Monitoraggio della fluidità motoria, escludendo scatti, tremori o oscillazioni pressorie che denoterebbero un deficit di resistenza dei flessori profondi.
- Controllo della fase di rilasciamento al termine della contrazione, la quale deve ricondurre stabilmente il manometro al valore basale di 20mmHg senza rebound pressori.

- **D) Controllo senso-motorio e propriocizione:**

- *Stadio 1*: Esecuzione del *Joint Position Error Test* (JPET) per la valutazione e il ripristino dell'afferenza propriocettiva cervicale nello spazio, eseguendo 5 tentativi di riposizionamento multidirezionale per lato.
- *Stadio 2*: Esercizi di inseguimento visivo fluido (*Smooth Pursuit*) eseguiti mantenendo il collo in torsione protetta, a ritmo lento, per 5 ripetizioni per lato (2 serie complessive).
- *Stadio 3*: Esecuzione di rotazioni attive del collo mantenendo la fissazione visiva su un bersaglio statico, somministrate modificando la base d'appoggio del paziente tramite l'introduzione di superfici instabili (es. pedane propriocettive in schiuma).
- *Stadio 4*: Rotazioni complesse del rachide cervicale con fissazione visiva vincolata a un bersaglio in movimento (*moving target*), eseguite interamente su superficie instabile per massimizzare il conflitto sensoriale terapeutico.
- **E) Stretching e flessibilità miofasciale:**
 - *Stadio 1*: Allungamento in modalità statica selettiva, con focus specifico sul muscolo trapezio superiore e sullo sternocleidomastoideo (SCOM).
 - *Stadio 2*: Introduzione di tecniche di stretching dinamico, orientate al rilassamento delle fibre del trapezio e dei muscoli scaleni anteriori e medi.
 - *Stadio 3*: Stretching dinamico combinato, associando movimenti simultanei di flessione e rotazione cervicale per detendere le catene muscolari posteriori.
 - *Stadio 4*: Allungamento dinamico complesso integrato all'interno di schemi di mobilità funzionale globale e gestualità sport-specifica.
- **F) Terapia manuale specialistica:**
 - *Stadio 1*: Applicazione di tecniche di mobilizzazione passiva articolare a livello dei segmenti cervicali ristretti o disfunzionali.
 - *Stadio 2*: Associazione delle mobilizzazioni articolari a

tecniche di rilascio miofasciale indotto e *trigger point therapy*.

- **Stadio 3:** Esecuzione di manipolazioni a leva corta e basso impulso del tratto toracico e cervicale superiore, integrate a sessioni di mobilizzazione attiva assistita.
- **Stadio 4:** Tecniche manipolative avanzate e mobilizzazioni con movimento, inserite e integrate direttamente all'interno della coordinazione degli esercizi funzionali a secco.

CERVICAL EXERCISE PROGRAM				
Category	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
Range of motion (ROM)	Passive cervical ROM exercise Shoulder and thoracic girdle exercise Breath-movement coordination	Active cervical ROM exercise, 3 series: - Chin tuck x10 - Slow rotation 5x side	Full ROM	Full ROM (include changes in speed/motion, combination of movement on different planes)
Strengthening	Isometric Exercises 20 sec x4 directions	Elastic Band low resistance, 10x each direction	Elastic Band higher resistance, 10x each direction	Dynamic Exercises and/or Elastic Band with final isometry
CCFT training	Pressure +2-4 mmHg 3 sec x5	Pressure +4-6 mmHg 5-8 sec x4	Pressure +6-8 mmHg 10-15 sec x3	Pressure +8-10 mmHg 15-20 sec x2-3
Sensorimotor control	JPET 5 test each side	Smooth Pursuit Neck Torsion Slow pace, 5x side, 2 series	Neck Rotation with eyes on static target Unstable surface	Neck Rotation with eyes fixed on moving target Unstable surface
Stretching	Static Focus on trapezius and sternocleidomastoid	Dynamic focus on trapezius and scalene muscles	Dynamic associated with cervical flexion and rotation.	Dynamic complex/functional mobility.
Manual therapy	Passive cervical mobilization	Combined mobilizations with myofascial release	Light thoracic and cervical manipulations with active mobilizations	Advanced joint manipulations integrated with functional exercises

Tabella IV Programma di riabilitazione cervicale

Il secondo pilastro dei programmi riabilitativi di precisione è costituito dal protocollo terapeutico vestibolo-oculomotorio. In perfetta analogia con i criteri temporali e semeiologici precedentemente descritti, l'indicazione all'attivazione di questo percorso risponde a precisi fenotipi clinici e a finestre biologiche prestabilite, con un inizio raccomandato non prima di 5 giorni dall'evento traumatico. Nello specifico, il protocollo trova applicazione nel fenotipo emicranico esclusivamente qualora l'esame obiettivo evidenzii un'esplicita compromissione o un'alterazione funzionale del sistema vestibolare. Nel fenotipo cervico-vestibolare, l'intervento è mirato e circoscritto all'esecuzione selettiva delle sole componenti inerenti al controllo posturale, all'equilibrio statico-dinamico e alla rieducazione del cammino. Al contrario, l'intero spettro terapeutico del programma rappresenta l'indicazione elettiva e prioritaria per il fenotipo vestibolo-oculare puro, all'interno del quale gli esercizi di convergenza oculare rivestono un ruolo opzionale e subordinato all'effettiva e documentata presenza di un deficit di accomodazione oggettivabile alla visita specialistica.

La progressione clinica del *Vestibulo-Ocular Exercise Program* è strutturata per minimizzare i fenomeni di ipereccitabilità neuronale e prevenire l'esacerbazione acuta di sintomi invalidanti quali cinetosi, instabilità e cefalea. Il protocollo si articola in cinque domini d'esercizio standardizzati, ciascuno declinato in quattro stadi sequenziali (**Stadi 1-4**) a complessità crescente: (71)

A) Abituazione dello sguardo (*Gaze Habituation*):

Questa classe di esercizi persegue l'obiettivo clinico di indurre l'abituazione centrale e ridurre la sensibilità agli stimoli visivi e di movimento, attenuando l'insorgenza di vertigini e nausea mediante la ripetizione controllata dello stimolo.

- **Stadio 1:** Esecuzione dell'esercizio di inibizione del riflesso vestibolo-oculare (*VOR Cancellation*) in posizione eretta statica, mantenendo la fissazione dello sguardo su un target che si muove in fase e in sincrono con lo spostamento del capo. L'esercizio viene somministrato utilizzando uno sfondo neutro e omogeneo, all'interno di un ambiente terapeutico privo di distrazioni.

- *Stadio 2*: Incremento della complessità mediante l'esecuzione della medesima dinamica di coordinazione testa-occhi durante la deambulazione del paziente (*walking*), trasferendo il setting in un ambiente confuso e standardizzato con uno sfondo visivo complesso.
- *Stadio 3*: Transizione verso compiti di coordinazione motoria complessa. Il protocollo prevede l'esecuzione di lanci e prese di una palla (*Ball Catch and Throw*) da una posizione eretta statica, modificando l'appoggio plantare tramite l'introduzione di una superficie morbida (schiuma o spugna podalica) sotto uno sfondo visivo complesso e disturbante.
- *Stadio 4*: Massimizzazione del carico neuro-sensoriale attraverso l'esecuzione dinamica del lancio e della presa della palla durante la deambulazione antero-posteriore (avanti e indietro) del soggetto, integrando l'instabilità motoria in un ambiente visivamente caotico.

B) Stabilizzazione dello sguardo (*Gaze Stabilization*):

Dominio focalizzato sul ripristino dell'efficienza e del guadagno del riflesso vestibolo-oculare (VOR), eseguito in parallelo alle dinamiche di abitudine.

- *Stadio 1*: Paziente in posizione seduta con fissazione visiva vincolata a un target statico centrale. Viene richiesta l'esecuzione di movimenti oscillatori del capo lungo i vettori orizzontale e verticale a velocità libera, autogestita e tollerata, effettuando 10 ripetizioni per 4 serie in ogni direzione.
- *Stadio 2*: Evoluzione dell'esercizio in posizione eretta statica (*standing*), incrementando la velocità di oscillazione cefalica e il volume di lavoro, stabilito tra le 20 e le 30 ripetizioni per un totale di 3 serie per direzione.
- *Stadio 3*: Introduzione di un vincolo ritmico acustico standardizzato mediante metronomo impostato a una frequenza di 180bpm. Il paziente esegue i movimenti del capo in asse orizzontale e verticale per una durata continua di 30-60 secondi (ripetuti per 3 volte per direzione), mantenendo la stazione eretta su superficie instabile

(spugna) di fronte a uno sfondo visivo complesso.

- **Stadio 4:** Stabilizzazione dinamica avanzata. Il movimento oculomotorio con VOR orizzontale e verticale viene eseguito a una frequenza di metronomo innalzata a 190bpm durante la deambulazione attiva del soggetto, per una durata di 30-60 secondi per 3 serie complessive in ambiente visivamente complesso.

C) Esercizi per il controllo posturale e l'equilibrio (*Balance*):

- **Stadio 1:** Mantenimento della stazione eretta in appoggio monopodalico (*single leg balance*) su superficie morbida defaticante, eseguito per una durata di 20 secondi per ciascun arto inferiore, ripetuto per 3 serie prima a occhi aperti e successivamente a occhi chiusi.
- **Stadio 2:** Incremento del deficit propriocettivo e della perturbazione posturale mediante il trasferimento del medesimo protocollo monopodalico su una pedana instabile rigida di tipo *Bosu*.
- **Stadio 3:** Esecuzione dell'esercizio multidirezionale dell'orologio (*reach clock exercise*). In equilibrio monopodalico stabile, il paziente deve eseguire con l'arto controlaterale sospeso movimenti di estensione e raggiungimento direzionale guidati, effettuando 10 ripetizioni per lato per 3 serie totali.
- **Stadio 4:** Esecuzione di affondi dinamici coordinati a una rotazione sincrona del capo. L'esercizio viene effettuato su superficie piana regolare, strutturato in 10 ripetizioni per arto per 3 serie complessive, somministrato sia in regime di controllo visivo (occhi aperti) sia a occhi chiusi.

D) Rieducazione e condizionamento del cammino (*Gait*):

- **Stadio 1:** Esecuzione sequenziale della cammina in tandem (allineamento tallone-punta) lungo una linea retta, ripetuta per 3 passaggi completi.
- **Stadio 2:** Camminata in tandem associata a movimenti lenti di rotazione del capo durante la progressione motoria, alternando rigidamente 2 oscillazioni sul piano verticale e 2 sul piano

orizzontale.

- *Stadio 3:* Deambulazione in tandem su un percorso lineare della lunghezza di 10 metri. Il protocollo impone l'esecuzione di una rotazione corporea completa su sé stessi a 360 gradi ogni 4 passi compiuti, ripetendo l'intero circuito per 5 volte totali.
- *Stadio 4:* Rieducazione dinamica avanzata effettuata mediante un protocollo a circuito, in cui la traiettoria deambulatoria del paziente è condizionata e modulata dall'inseguimento visivo continuo di un target in movimento spaziale.

E) Rieducazione della convergenza oculare (*Convergence*):

Consigliato esclusivamente in presenza di deficit oggettivabili dell'accomodazione e dell'ampiezza di convergenza.

- *Stadio 1 (Pencil Push-up):* Avvicinamento e allontanamento manuale progressivo dal ponte nasale di un target lineare (penna), richiedendo al paziente il mantenimento della focalizzazione visiva ed escludendo la scomposizione dell'immagine o la diplopia. L'esercizio prevede dalle 5 alle 10 escursioni per 2 serie totali.
- *Stadio 2 (Corda di Brock / Brock String):* Utilizzo di un filo metrico teso provvisto di perline colorate disposte a distanze fisse, con un'estremità ancorata all'apice nasale del paziente e l'altra fissata a un punto d'appoggio frontale. Viene richiesto lo spostamento sequenziale della focalizzazione visiva su una singola perlina alla volta; l'esercizio prevede 5 cicli completi focalizzanti per 3 serie.
- *Stadio 3 (Two Target Convergence):* Utilizzo combinato di due target visivi distinti posizionati rispettivamente in campo vicino (prossimale) e campo lontano (distale). Il compito richiede lo spostamento rapido e saccadico della messa a fuoco tra le due mire, preservando l'acutezza visiva ed eliminando i tempi di latenza accomodativa.
- *Stadio 4 (Convergence with Small Print):* Utilizzo di un target cartaceo provvisto di caratteri tipografici a ridotta dimensione (scritte in piccolo). Il paziente deve preservare la nitidezza del testo riducendo progressivamente la distanza dal naso in modo controllato, per poi riestendere il braccio e ripetere ciclicamente la

progressione accomodativa.

VESTIBULO-OCULAR EXERCISE PROGRAM				
Category	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
Gaze Habituation	VOR Cancellation Static, standing Blank background Calm environment	VOR Cancellation Walking Complex background Confusing environment	Ball Catch and Throw Static, possibly on a sponge Complex background Confusing environment	Ball Catch and Throw Dynamic, walking forward and backward Complex background Confusing environment
Gaze Stabilization	VOR Vertical and Horizontal Free speed Sitting 10 reps x 4 x direction	VOR Vertical and Horizontal Faster pace Standing 20-30 reps x 3 x direction	VOR Vertical and Horizontal 180 bpm Standing, possibly on a sponge 30-60 sec x 3 x direction Complex background	VOR Vertical and Horizontal 190 bpm Walking 30-60 sec x 3 x direction Complex background
Balance	Single leg balance Open eyes, then Close eyes On a sponge 20sx3 each leg	Single leg balance Open eyes, then Close eyes On bosu 20sx3 each leg	Multidirection reach clock exercise 10xside x3	Lunges with head rotation Open eyes, then Close eyes Normal surface 10xside x3
Gait	Tandem Gait x 3	Tandem Gait Slow head rotation 2 x vertical, 2 x horizontal	Tandem Gait 360 degrees rotation after 4 step 10 m x 5	Circuit exercise Following moving target
Convergence (only if deficit detected)	Pencil Push up 5-10 x2	Brock String 5 x3	Two Target Convergence Exercise	Convergence with Small Print

Tabella V Programma di riabilitazione vestibolo-oculare

L'ultimo pilastro terapeutico d'intervento specifico a disposizione è rappresentato dal programma di riabilitazione neurocognitiva, un protocollo configurato in realtà come una strategia d'intervento universale in quanto

finalizzato a supportare e accelerare il recupero funzionale trasversalmente in tutti i fenotipi clinici definiti dall'algoritmo riabilitativo. Nonostante questa sua caratteristica intrinseca di trasversalità, l'attivazione pratica del percorso richiede l'adozione di rigorose accortezze cliniche e precisi criteri di eleggibilità differenziati per fenotipo, fondamentali per prevenire sovraccarichi metabolici o fenomeni di fatica centrale: nel fenotipo emicranico, ad esempio, l'avvio del programma è tassativamente subordinato alla presenza di una sintomatologia algica che si attesti su un'entità meramente lieve, quantificabile rigidamente in un punteggio inferiore o uguale a 2 su 10 della scala visuo-analogica ($VAS \leq 2$), mentre nei fenotipi cervico-vestibolare e vestibolo-oculare l'inserimento di questa specifica riabilitazione deve essere differito e rimandato qualora siano presenti vertigini e/o un manifesto rischio di cadute del soggetto. Questa riabilitazione prevede l'utilizzo strutturato di uno strumento neuro-motorio specifico noto come *Square Stepping Exercise* (SSE), una griglia flessibile strutturata in un reticolo di quadrati disposti sul piano di calpestio all'interno della quale il paziente è chiamato a muoversi e svolgere gli esercizi coordinativi indicati, combinando pattern motori e carichi cognitivi simultanei. Il protocollo operativo prevede un volume di lavoro fisso e standardizzato per ciascuno dei livelli di progressione, stabilito in sessioni di e-esercizio continuo della durata di 2 minuti per set, ripetute per 3 serie complessive per tutti gli stadi di utilizzo dello strumento.

Il percorso riabilitativo si articola in quattro stadi sequenziali a complessità crescente:

- **Stadio 1:** Finalizzato a familiarizzare con il movimento ed esecuzione di richieste semplici (*Simple Square Step*), in cui il paziente si muove all'interno della griglia alla velocità che ritiene opportuna e segue le indicazioni visive fornite in tempo reale dal terapeuta, consistenti in piccole serie di semplici movimenti; all'interno di questo primo livello, per introdurre un ulteriore elemento a cui porre attenzione e aumentare la complessità, si può indicare al paziente un compito secondario (*Double Task*) richiedendogli di contare i passi a voce alta.

- **Stadio 2:** Nello stadio successivo si assiste all'introduzione strutturata di pattern complessi richiedendo esplicitamente al paziente di essere multitasking, motivo per cui le serie di movimenti somministrate diventano più lunghe, gli spostamenti includono traiettorie in diagonale e si inizia a inserire l'utilizzo di un metronomo acustico per vincolare il ritmo; anche in questo caso, per incrementare il carico neuro-computazionale, si può richiedere come *Double Task* che il paziente batta le mani contemporaneamente mentre conta i passi.
- **Stadio 3:** Il terzo stadio persegue l'obiettivo di aumentare ulteriormente la complessità e la velocità di esecuzione degli esercizi, un traguardo raggiunto semplicemente rendendo le serie geometriche ancora più intricate e incrementando il passo (*pace*) impresso dal metronomo acustico, introducendo al contempo come variante complessa l'obbligo per il paziente di eseguire lo spelling fonetico delle parole durante lo spostamento cinetico.
- **Stadio 4:** L'ultimo livello è finalizzato all'integrazione di componenti motorie e cognitive avanzate (*Square Step Multitask*), un compito che impone l'introduzione di due pattern motori alternativi all'interno della stessa sessione e che può essere ulteriormente esasperato dal punto di vista dell'interferenza centrale chiedendo all'atleta di rispondere a domande complesse o di effettuare la categorizzazione semantica di stringhe di parole senza interrompere la deambulazione.

NEUROCOGNITIVE TRAINING			
Step	Target	Exercise	Series
Step 1	Familiarization with movement and the simple task	Simple Square Step: Follow the therapist's visual cues (short series of simple movements), free speed	2 minutes per set, 3 sets
		Double Task: Conta i passi a voce alta.	
Step 2	Introduction of multitasking and complex patterns	Complex Square Step: Longer series, including diagonal movements. Introduction of metronome.	2 minutes per set, 3 sets
		Double Task: Clap hands while counting	
Step 3	Increase in complexity and speed	Rapid Square Step: metronome faster pace	2 minutes per set, 3 sets
		Double Task: word spelling	
Step 4	Advanced motor and cognitive integration	Square Step multitask: Introduce two alternative patterns	2 minutes per set, 3 sets
		Double Task: Answer complex questions or categorize words	

Tabella VI Programma di riabilitazione cognitiva

Tutti questi programmi riabilitativi analizzati, e in generale la riabilitazione globale della concussione cerebrale, dimostrano tuttavia di non possedere uno sviluppo temporale matematicamente definito o rigidamente predeterminato a priori; ciò su cui si basa concretamente il clinico per guidare il percorso sono esclusivamente le informazioni cliniche fornite dal paziente in tempo reale, per cui se il soggetto è costretto a interrompere gli esercizi a causa del peggioramento dei sintomi o se questi si manifestano e persistono a lungo, il carico biologico deve essere rimodulato. Di conseguenza, le linee guida internazionali stabiliscono che i criteri cardine

per convalidare il passaggio allo stadio successivo siano la capacità oggettiva dimostrata dall'atleta di eseguire il compito motorio e cognitivo nel modo corretto e fluido, unitamente al mantenimento di un regime di totale asintomaticità o, al massimo, alla comparsa di sintomi lievi che non mostrino tendenza a persistere nel tempo o a peggiorare.

3.4 Raccolta dati

Per quanto concerne la gestione dei dati clinici, tutte le informazioni anamnestiche e semeiologiche sono state sistematicamente raccolte e archiviate all'interno del database della *Concussion Clinic* avvalendosi del software basato su piattaforma web REDCap (*Research Electronic Data Capture*). Al fine di garantire la massima accuratezza del campione, un terzo operatore indipendente, appartenente all'unità operativa ma non direttamente coinvolto nella conduzione delle visite, ha provveduto a effettuare una revisione critica e un controllo di qualità successivo per verificare la completezza e l'integrità di ciascuna scheda di raccolta dati.

3.5 Analisi statistica

Il dataset definitivo destinato all'elaborazione statistica è stato estratto direttamente dalla piattaforma REDCap. Sul campione complessivo è stata preliminarmente condotta un'analisi statistica di tipo descrittivo finalizzata a caratterizzare accuratamente la popolazione oggetto di studio; nello specifico, le variabili categoriche sono state espresse e descritte mediante il calcolo delle frequenze assolute e delle corrispondenti percentuali. Sulla base dei risultati di tale screening, le variabili continue non distribuite normalmente sono state descritte ed espresse in termini di valori mediani e intervalli interquartilici (25° - 75° percentile), laddove le variabili erano caratterizzate da una distribuzione di tipo gaussiano o normale sono state compiutamente riportate attraverso il calcolo dei valori medi e delle relative deviazioni standard.

4. Risultati

4.1 Popolazione

Nel periodo compreso tra il 20 settembre 2022 e il 25 marzo 2026 il numero totale di pazienti valutati presso l'ambulatorio per la gestione della concussione cerebrale dell'Azienda Ospedale Università di Padova, ha raggiunto il numero di 139.

4.2 Caratteristiche demografiche e del trauma

Le caratteristiche della popolazione presa in esame sono riassunte in questa tabella:

Caratteristica Clinica / Demografica	Totale Campione (N=139)
Maschi/Femmine	93/46 (67/33%)
Età alla visita (Anni)	14,0 [12,0 – 17,0]
Range [Min – Max] (anni)	6 – 63
Statura (cm)	167 [153 – 178]
peso (kg)	64 [50,5 – 77,5]
BMI (kg/m²)	21 [19 – 22]
Altri traumi cranici (n, %) SI	34 (26,4%)
Preesistenti comorbidità (n, %)	18 (12,9%)
Emicrania (n, %)	3 (16,7%)
Cefalea cronica (n, %)	4 (22,2%)

Caratteristica Clinica / Demografica	Totale Campione (N=139)
Depressione (n, %)	1 (5,6%)
Ansia (n, %)	1 (5,6%)
ADHD (n, %)	3 (16,7%)
Disturbo dell'apprendimento o dislessia (n, %)	8 (44,4%)

Tabella VII Caratteristiche demografiche e anamnestiche

Le caratteristiche del trauma sono riassunte in questa tabella:

Contesto del Trauma (n; %) Avvenuto durante attività sportiva (Si)	86 (61,9%)
Rimozione dal gioco (n; %)	
Immediata	57 (66,3%)
Continuato a giocare	29 (33,7%)
Minuti di gioco post concussione (min)	20 [10 – 40]
Intervallo temporale prima visita medica-prima visita ambulatorio concussione (giorni)	10 [4 – 18]
Peggioramento dei sintomi durante attività fisica (n, %) SI	38 (27,7%)
Peggioramento dei sintomi durante attività cognitiva (n, %) SI	48 (35%)

Tabella VIII Caratteristiche del trauma

Dal punto di vista demografico e delle caratteristiche antropometriche (riassunte nella Tabella 1), si rileva una prevalenza di soggetti di sesso maschile, pari al 66,9% (93 pazienti), a fronte di una componente femminile

del 33,1% (46 pazienti). L'età mostra una distribuzione non parametrica, con un valore mediano di 14 anni e una concentrazione prevalentemente giovanile e adolescenziale (intervallo interquartile [IQR]: 12 – 17 anni), sebbene il range sia compreso tra 6 e 63 anni.

L'anamnesi remota riguardo i traumi cranici pregressi rivela che il 26,4% dei soggetti rispondenti (34 pazienti) aveva già subito altri traumi cranici nel corso della propria vita. In merito alle comorbidità preesistenti, il 12,9% del campione totale (18 pazienti) presentava una storia clinica positiva per disturbi neurologici, psicologici, psichiatrici o dell'apprendimento. Tra questi 18 soggetti, le condizioni più frequenti sono risultate i disturbi dell'apprendimento o dislessia (44,4%; 8 casi) e la cefalea cronica (22,2%; 4 casi), seguite a pari merito da emicrania e ADHD (entrambe al 16,7% con 3 casi ciascuna), e infine da ansia e depressione (ciascuna con 1 caso, pari al 5,6%); non sono stati invece registrati casi preesistenti di sincope o epilessia.

Per quanto riguarda il contesto in cui si è verificato il trauma, la maggior parte è avvenuta durante lo svolgimento di attività sportiva (61,9%, 86 casi), mentre il restante 38,1% (53 casi) si è verificato al di fuori del contesto sportivo. Nello specifico la distribuzione degli sport praticati dall'intero campione fa emergere come il rugby sia la disciplina in assoluto maggiormente rappresentata, coinvolgendo il 41% dei soggetti (57 atleti), seguito dal calcio con il 17,3% (24 atleti). Quote minori si suddividono tra equitazione (3,6%; 5 atleti), boxe (2,9%; 4 atleti), pallacanestro e pallavolo (entrambe al 2,2% con 3 atleti ciascuna), hockey (1,4%; 2 atleti) e ciclismo/BMX (0,7%; 1 atleta). I soggetti che hanno dichiarato di non praticare alcuno sport ammontano al 4,3% (6 casi), mentre la categoria "Altro" raccoglie il restante 24,5% (34 atleti) della popolazione.

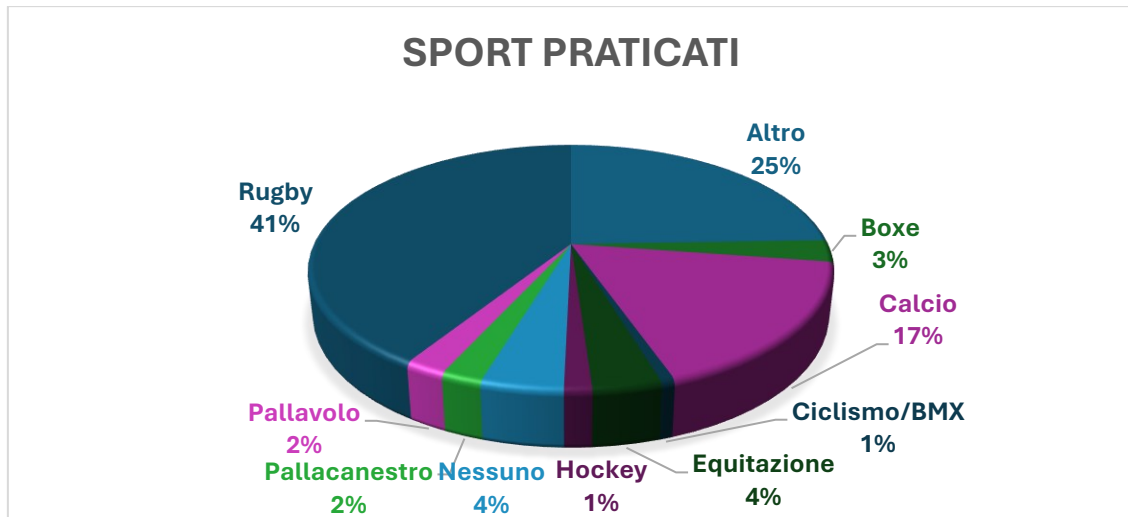


Figura 1 Distribuzione degli sport praticati

Della sottopopolazione che ha subito il trauma in ambito sportivo (86 soggetti), la gestione sul campo ha visto la rimozione immediata dal gioco nel 66,3% dei casi (57 atleti). Tuttavia, una percentuale rilevante pari al 33,7% (29 atleti) ha continuato a giocare dopo l'evento traumatico, registrando un tempo mediano di permanenza in gioco post-concussione di 20 minuti [IQR: 10 – 40 minuti] prima della sospensione definitiva.

Infine, l'analisi della timeline clinica evidenzia una notevole tempestività nel primo contatto medico generale o pronto soccorso, con un intervallo temporale mediano tra il trauma e la prima visita medica pari a 0 giorni, indicando come la maggior parte dei pazienti abbia ricevuto un controllo medico immediato il giorno stesso del trauma. L'intervallo temporale tra la prima visita medica e la prima visita specialistica presso l'ambulatorio dedicato alle concussioni documenta invece una mediana di 10 giorni [IQR: 4 – 18 giorni]. Al momento della valutazione, il 27,7% dei pazienti (38 soggetti) ha riferito un peggioramento esplicito della sintomatologia latente durante l'esecuzione di attività fisica, configurando un quadro di intolleranza allo sforzo, simile il dato del peggioramento durante l'attività cognitiva con 48 soggetti (35%) che riferisce un peggioramento della sintomatologia.

La maggior parte dei pazienti viene inviata all'ambulatorio per la concussione dal pronto soccorso 47% (66 casi), un'altra fetta importante di pazienti riceve indicazione direttamente dal medico o da un componente

della squadra 35% (49 casi), infine meno rappresentati sono gli arrivi da specialisti 8%, di propria iniziativa 6% e dal medico di base 4%.

Ulteriore dato analizzato riguarda le tempistiche dal trauma alla presa in carico presso l'ambulatorio per le concussioni, nel grafico è evidente come la maggior parte dei pazienti venga visitata in ambulatorio entro 50 giorni, i due outlier oltre i 300 giorni sono due pazienti cronicizzati inviati in ambulatorio tardivamente. La curva di regressione lineare mostra come sta avvenendo una costante riduzione nei tempi rispetto all'avvio dell'ambulatorio.

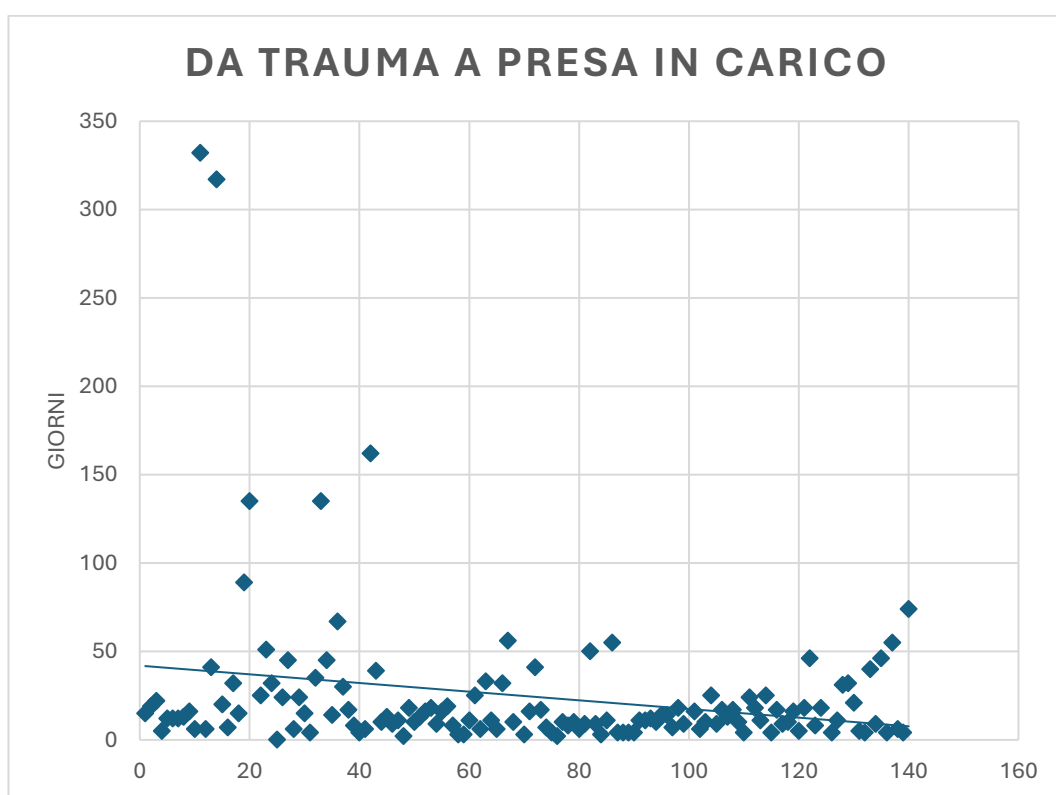


Figura 2 Distribuzione nel tempo dei pazienti da trauma a presa in carico

4.3 PCSS

Per quantificare il carico sintomatologico e l'intensità dei disturbi, abbiamo utilizzato il punteggio della scala PCSS (Post-Concussion Symptom Scale). I due momenti temporali analizzati sono in acuto, subito dopo il trauma, e alla prima valutazione nell'ambulatorio per la gestione della concussione cerebrale dell'Azienda Ospedale Università di Padova (AOUPD).

In acuto il quadro clinico è dominato da disturbi somatici e cognitivi: spiccano la cefalea con 107 casi, i capogiri 93, la spossatezza 79 e, a pari merito con 71 segnalazioni, la nausea e le difficoltà di memoria. Alla prima visita in ambulatorio si osserva un miglioramento globale della sintomatologia.

Per quanto riguarda l'intensità dei sintomi i dati raccolti mostrano un cambiamento nel passaggio tra queste due fasi, caratterizzato da un miglioramento della severità dei sintomi. L'intensità totale dei sintomi in acuto presenta una mediana di 26 con [QR, 15-38], con un valore massimo isolato che ha raggiunto i 114 punti. Al contrario, il giorno della valutazione l'intensità totale dei sintomi aveva una mediana di 2 con [IQR 0-10]. Questa marcata riduzione evidenzia come la quasi totalità dei pazienti si trovasse in una fase di parziale o completa risoluzione clinica al momento dell'accesso all'ambulatorio.

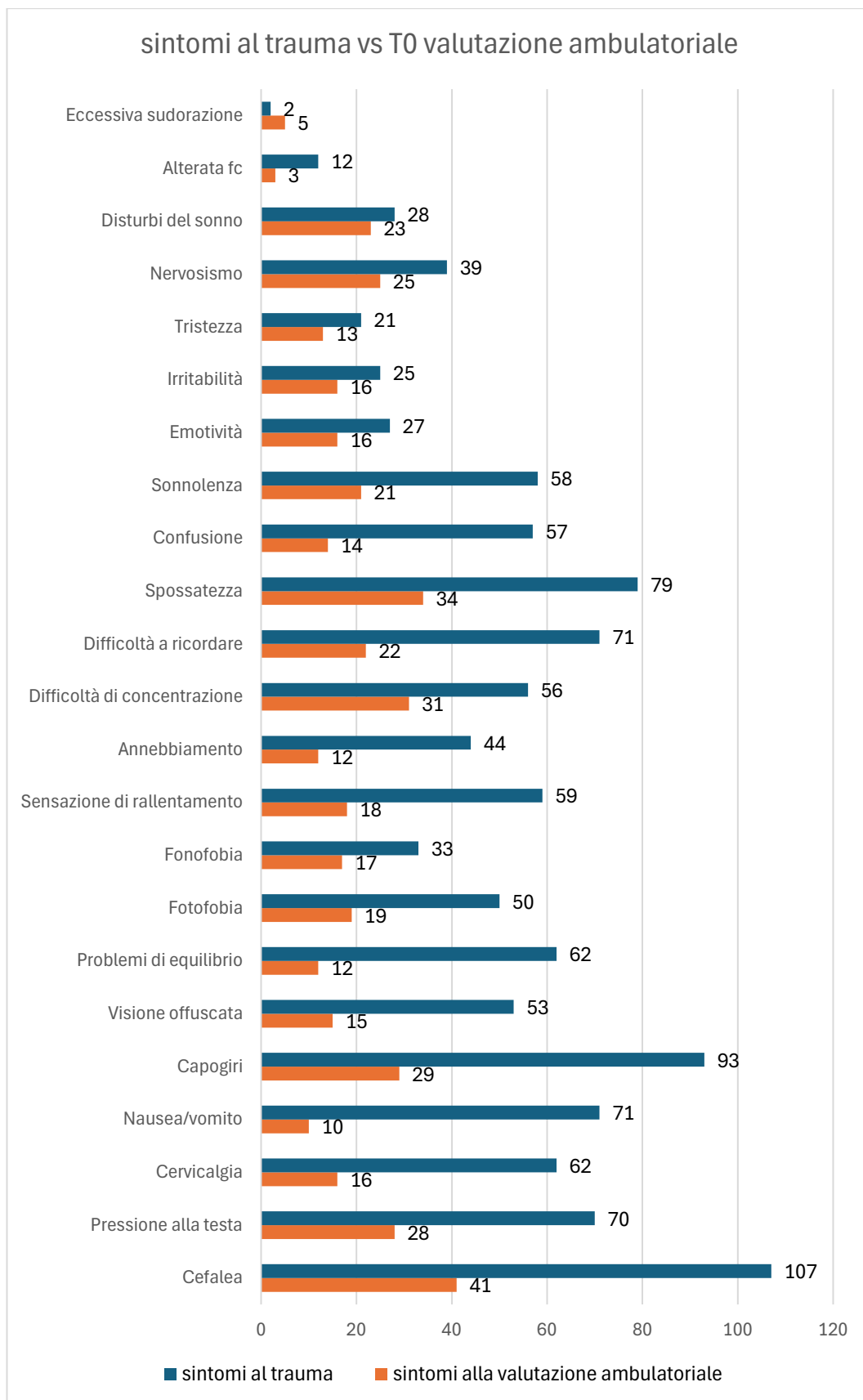


Figura 3 Valutazione dei sintomi presenti al trauma e alla prima valutazione ambulatoriale

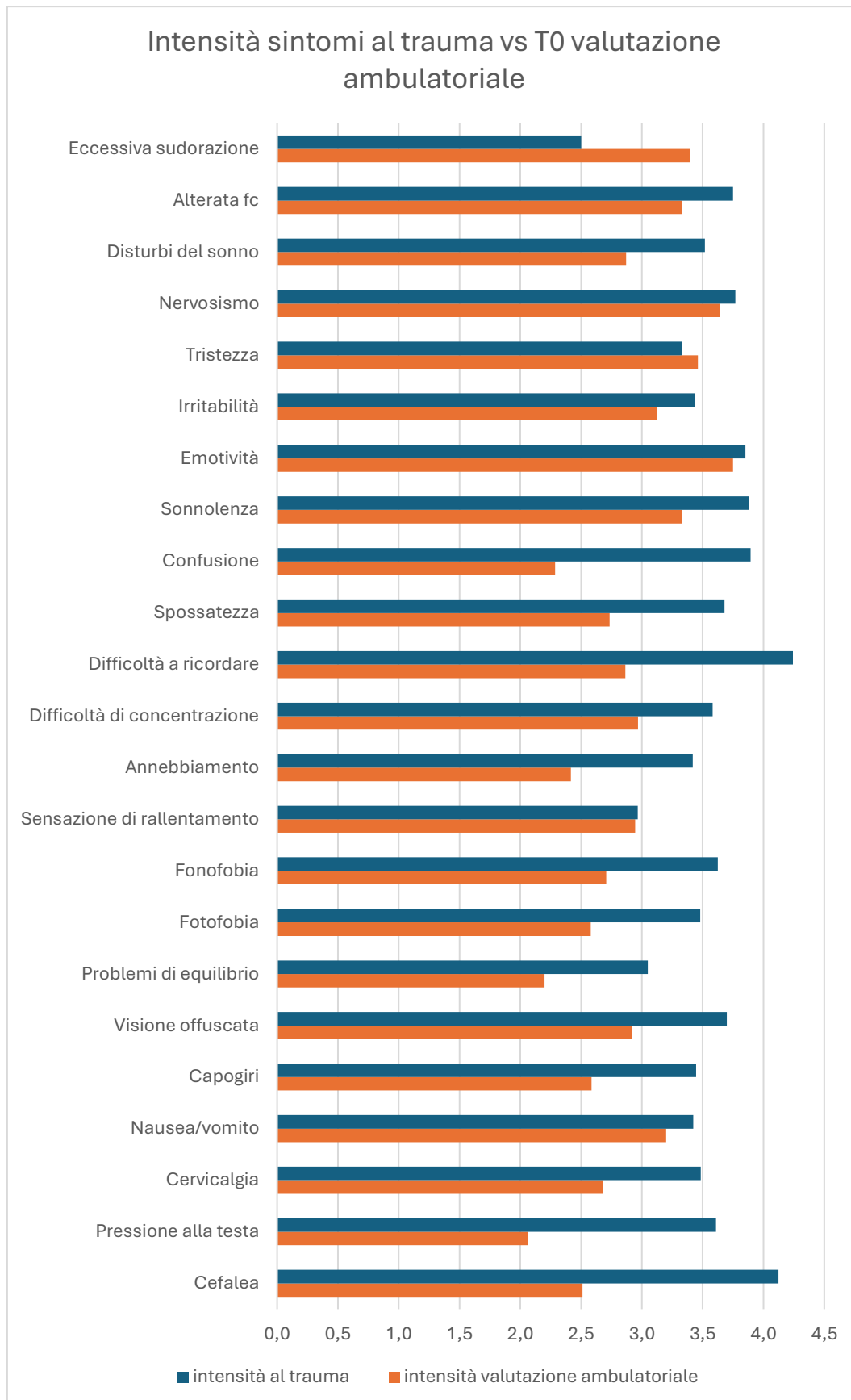


Figura 4 Valutazione dell'intensità dei sintomi al trauma e alla prima valutazione ambulatoriale

4.4 Esame obiettivo

4.4.1 Valutazione intolleranza ortostatica

Il test per la valutazione dell'intolleranza ortostatica è stato eseguito dalla quasi totalità della popolazione dello studio. Su 139 pazienti totali, infatti, solo 7 soggetti non hanno effettuato la valutazione (di cui uno solo per effettiva incapacità fisica). Prima dell'inizio del test, ovvero in posizione sdraiata (clinostatismo), la presenza di disturbi era un'evenienza estremamente rara: si sono registrati infatti solo 2 pazienti sintomatici, uno dei quali riferiva vertigini e l'altro nausea.

Il quadro cambia parzialmente con il passaggio alla posizione eretta (ortostatismo), dove il 16,5% dei pazienti (22 soggetti) ha sviluppato sintomi. Tra i disturbi riscontrati, la vertigine è stata in assoluto il sintomo più comune, manifestandosi in 20 casi (91%). Con frequenze decisamente minori sono comparsi la visione offuscata (3 casi), la nausea (1 caso), il senso di affaticamento (1 caso) e la perdita di concentrazione (1 caso), mentre non si è verificato nessun episodio di svenimento. Per la quasi totalità di questi soggetti (21 pazienti su 22), i disturbi si sono manifestati nelle fasi iniziali del passaggio in piedi, configurando un'intolleranza ortostatica iniziale.

Seguendo questi criteri, nello studio il test è risultato anormale nel 5,3% dei casi, per un totale di 7 pazienti. Tra le alterazioni emodinamiche registrate si sono verificati 4 casi di aumento della frequenza cardiaca superiore a 30 battiti al minuto, 3 casi di diminuzione della pressione diastolica pari o superiore a 10 mmHg e un solo caso di diminuzione della pressione sistolica pari o superiore a 20 mmHg. Non è stata invece rilevata alcuna diminuzione della frequenza cardiaca superiore a 30 battiti al minuto.

4.4.2 Valutazione vestibolo-oculare e dell'equilibrio

Durante la valutazione vestibolo-oculare sono stati presi in esame diversi parametri clinici su un totale di 114 pazienti del campione. Il primo aspetto analizzato riguarda la capacità di accomodazione: la maggior parte dei soggetti, pari al 65,8% (75 pazienti), ha mostrato una distanza inferiore o uguale a 6 cm, rientrando quindi in un profilo di normalità, mentre il restante 34,2% (39 pazienti) ha presentato un valore superiore ai 6 cm, evidenziando un'alterazione della funzione accomodativa.

Gli altri parametri esaminati riguardano l'eventuale comparsa di disturbi specifici – in particolare cefalea, vertigine, nausea e senso di confusione – durante l'esecuzione di test oculomotori. Il sintomo più frequente era la vertigine in tutti e tre i test, al secondo posto la cefalea, mentre il test che ha scatenato più sintomi in generale era quello che comportava movimenti del capo.

Completata la valutazione oculomotoria, l'efficacia del sistema vestibolare e il controllo dell'equilibrio sono stati approfonditi attraverso il test Modified Balance Error Scoring System (mBESS). Per questa valutazione dell'equilibrio è stato adottato un valore soglia (cut-off) di 8 errori totali nelle tre stazioni eseguite ad occhi chiusi, oltre il quale il test viene considerato clinicamente anormale, il test è stato eseguito da 137 soggetti con 10 di questi che sono risultati oltre il valore soglia.

4.4.3 Valutazione neurologica

Dei pazienti valutati in ambulatorio solo 1 aveva una valutazione anormale dei nervi cranici, 2 soggetti un tono anormale dei 4 arti, 5 un deficit di forza, 2 avevano riflessi miotendinei alterati, 3 sensibilità alterata e 3 un deficit della funzione cerebellare.

4.4.4 Valutazione cognitiva

La valutazione delle funzioni cognitive ha preso in esame diversi test(17), a partire dalla memoria immediata. Escludendo 2 soli pazienti che non sono stati in grado di eseguire la prova, su un totale di 137 soggetti valutati ben 37 partecipanti hanno registrato una prestazione inferiore alla soglia, configurando una percentuale di deficit pari al 27,0%.

Un secondo ambito d'indagine ha riguardato l'attenzione e la memoria di lavoro attraverso il test delle sequenze numeriche all'indietro (digits backward). I risultati evidenziano che solo 2 soggetti non sono stati capaci di ripetere una sequenza minima di 3 numeri, mentre 15 pazienti non sono riusciti a completare correttamente la sequenza da 4 cifre nemmeno al secondo tentativo a disposizione.

Per quanto concerne la concentrazione, viene valutata tramite il test di ripetizione dei mesi dell'anno al contrario, nello studio si sono registrati 13 soggetti che hanno impiegato un tempo superiore rispetto alla soglia prevista.

Infine, nella memoria differita una quota rilevante del campione, pari a 47 soggetti (corrispondenti al 35,3% del totale), ha mostrato una performance deficitaria, riuscendo a ricordare un numero di parole pari o inferiore a 5.

4.5 Fenotipi della popolazione

Sulla base della valutazione clinica effettuata tramite lo SCOAT6(17) il fenotipo più rappresentato nella nostra popolazione risulta quello in risoluzione con il 21% (45 casi), seguito da quello con cefalea 18% (39 casi) e da quello vestibolo-oculare 16% (34 casi), da menzionare anche il

fenotipo misto che comprende il 10% dei soggetti (21 casi).

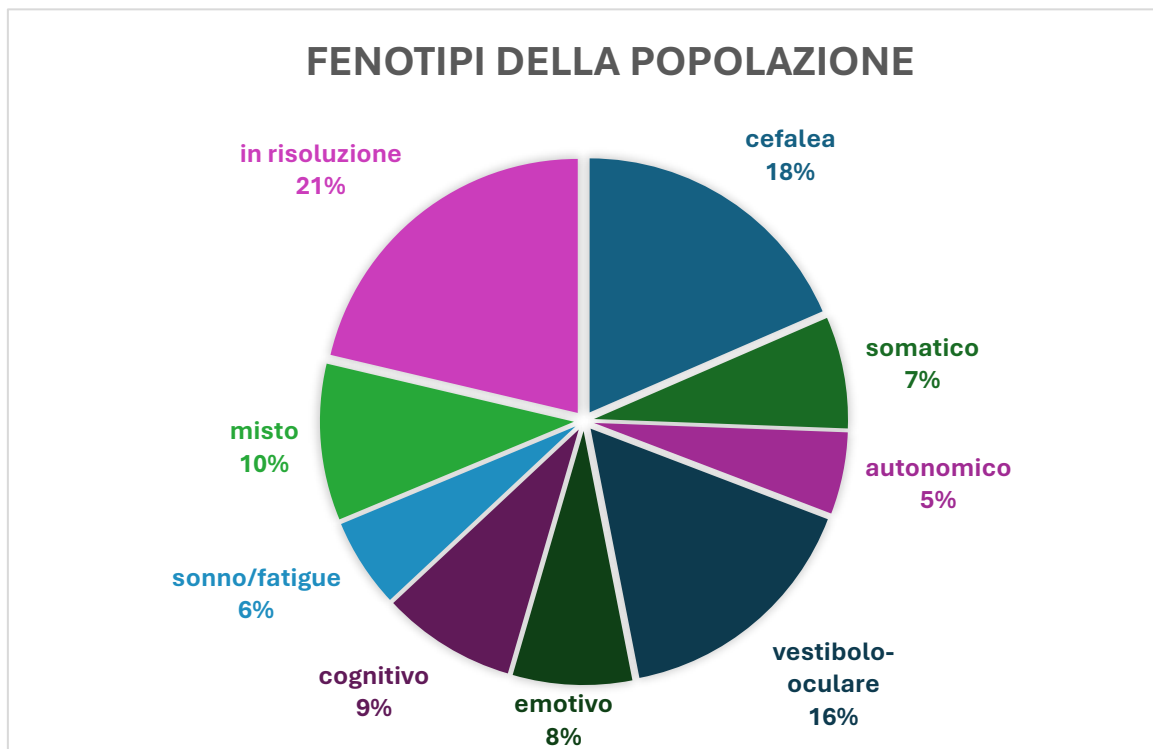


Figura 5 Distribuzione dei fenotipi della popolazione

4.6 PCSS vs Clinica

Il grafico seguente mostra il confronto tra l'identificazione dei diversi fenotipi di concussione cerebrale basata sulla valutazione clinica tramite lo SCOAT6 (17) e quella derivante dai sintomi riferiti direttamente dal paziente tramite la scala PCSS, post-concussion symptom scale. Dall'analisi emerge un ottimo allineamento in fenotipi come la cefalea (12 casi identificati clinicamente contro i 10 della scala PCSS) e il profilo vestibolo-oculare (8 casi contro 7), aree in cui la percezione del paziente trova un riscontro quasi perfetto nell'esame obiettivo.

Al contrario, si registrano marcate discrepanze in altri fenotipi, in particolare in quello autonomico, che viene intercettato quasi esclusivamente dalla valutazione clinica con 10 casi individuati a fronte dei soli 2 intercettati dalla scala PCSS.

Per contro, il fenotipo emotivo e il fenotipo legato ai disturbi del sonno o dell'affaticamento mostrano una netta prevalenza nei questionari PCSS rispetto alla valutazione clinica, con un rapporto rispettivamente di 8 contro 2 per l'ambito emotivo e di 11 contro 6 per il riposo. Tale divergenza evidenzia l'elevata sensibilità della scala PCSS nel far emergere le alterazioni della sfera emotiva e del sonno percepiti dal paziente, aspetti che poi non trovano riscontro clinico oggettivo nella compilazione dei questionari dedicati a tali disturbi.

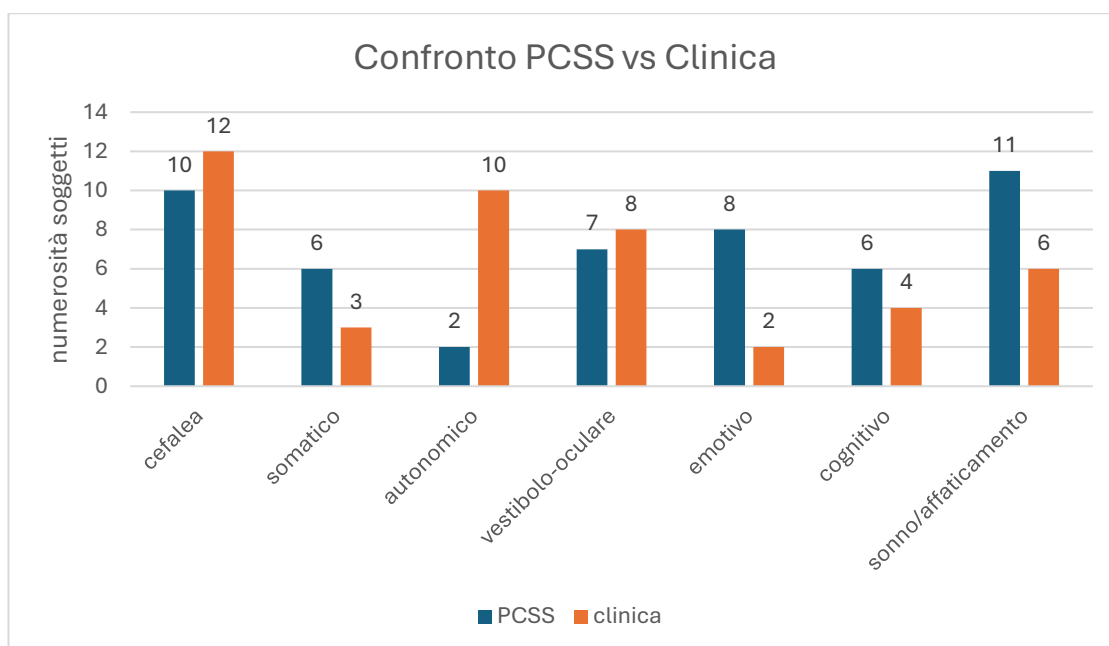


Figura 6 Confronto dei fenotipi evidenziati tramite PCSS e Clinica

4.7 Dove verrà indirizzato il paziente?

Per quanto riguarda i percorsi successivi alla prima visita, la maggior parte dei pazienti (76 soggetti) non ha avuto bisogno di ulteriori controlli specialistici oltre a quello iniziale nel centro. Per i casi in cui è stato invece necessario l'intervento di altri professionisti, la figura più richiesta è stata lo psicologo, con un totale di 29 invii. Seguono la Medicina dello sport con 24 indirzzamenti e il fisioterapista con 15 invii. I restanti contatti specialistici sono stati molto più ridotti: si registrano infatti 7 invii all'oculista, 5 all'otorinolaringoiatra, 2 al neurochirurgo, 1 al neurologo e 1 al fisiatra.

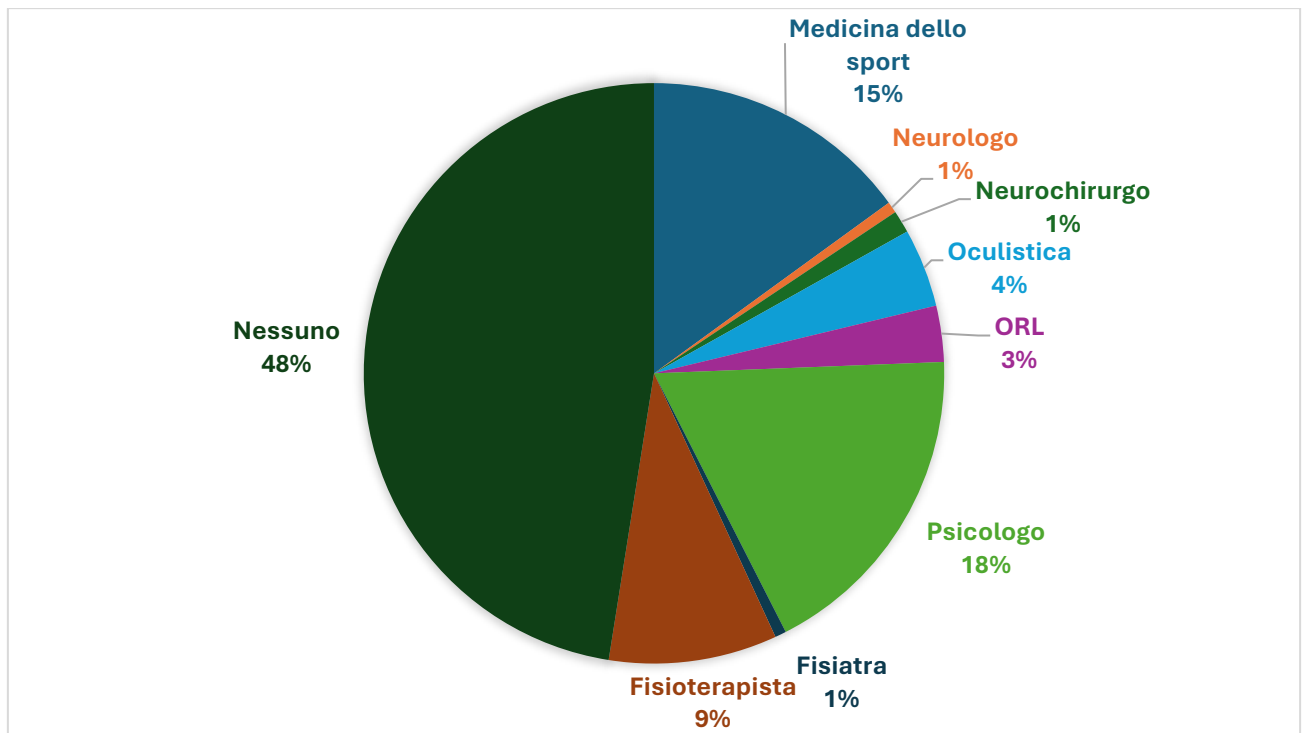


Figura 7 Indicazione su quale figura medica prenderà in carico il paziente

4.8 Sottopopolazione del percorso in palestra

La sottopopolazione di pazienti inseriti nello specifico percorso di esercizio terapia in palestra comprende un sottocampione selezionato di 14 soggetti. Dal punto di vista demografico, a differenza del campione generale, in questo gruppo si rileva una prevalenza di soggetti di sesso femminile, pari al 64,3% (9 pazienti), a fronte di una componente maschile del 35,7% (5 pazienti). L'età alla visita documenta una distribuzione prettamente giovanile e adolescenziale, con un valore mediano di 13,5 anni e una concentrazione racchiusa principalmente tra i 13,0 e i 16,3 anni (intervallo interquartile [IQR]). L'analisi dell'anamnesi remota evidenzia che il 14,3% dei soggetti (2 pazienti) riferiva traumi cranici pregressi, e una percentuale identica presentava storie cliniche positive per comorbidità preesistenti, equamente suddivise tra emicrania (1 caso) e disturbi dell'apprendimento o dislessia (1 caso).

Caratteristica Clinica / Demografica	Totale Campione (N=14)
Maschi/ Femmine	5/9 (36/64%)
Età alla visita (Anni)	13,5 [13,0 – 16,3]
Altri traumi cranici (n, %) SI	2 (14,3%)
Preesistenti comorbidità (n, %)	2 (14,3%)

Tabella IX Caratteristiche demografiche e anamnestiche della sottopopolazione che ha svolto un percorso in palestra

Per quanto riguarda il contesto dell'evento concussivo, la quota maggiore di traumi si è verificata al di fuori dell'ambito sportivo (57,1%, 8 casi), mentre il restante 42,9% (6 casi) è avvenuto durante l'attività motoria o di gioco. Tra i 6 atleti infortunatisi sul campo, la rimozione dal gioco è stata immediata nell'83,3% dei casi (5 soggetti), mentre un solo atleta ha temporaneamente proseguito l'attività prima della sospensione definitiva.

La timeline clinica mostra un'eccellente tempestività nel primo contatto medico generale, con un intervallo mediano tra il trauma e la prima valutazione medica pari a 0 giorni [IQR: 0 – 0]. L'accesso specialistico presso l'ambulatorio dedicato alle concussioni documenta invece un tempo mediano di 17 giorni dall'evento [IQR: 10,3 – 60,5 giorni]. Al momento della valutazione clinica, questo specifico sottogruppo mostrava un'elevata reattività agli stimoli: esattamente la metà del campione (50,0%, 7 pazienti) ha riferito un esplicito peggioramento della sintomatologia latente durante l'esecuzione di attività fisica, e una quota identica del 50,0% ha manifestato una riattivazione sintomatica in concomitanza con lo stress cognitivo, configurando un quadro di spiccata intolleranza al carico sia fisico che mentale.

Trauma avvenuto durante attività sportiva (Si) (n; %)	6 (42,9%)
Rimozione dal gioco (n; %)	
Immediata	5 (83,3%)
Continuato a giocare	1 (16,7%)
Intervallo temporale Trauma-prima visita medica (giorni)	0 [0 – 0]
Intervallo temporale Trauma-prima visita ambulatorio concussione (giorni)	17 [10,3 – 60,5]
Peggioramento dei sintomi durante attività fisica (n, %) SI	7 (50%)
Peggioramento dei sintomi durante attività cognitiva (n, %) SI	7 (50%)

Tabella X Caratteristiche del trauma della sottopopolazione che ha svolto un percorso in palestra

Per quanto riguarda l'intensità dei sintomi, la popolazione seguita poi presso la palestra medica ospedaliera di Padova mostrava intensità superiori alla popolazione generale con un'intensità mediana di 44 [27-73] al momento del trauma, mentre al momento della visita l'intensità aveva una mediana di 22 [6,5-33,5].

Prendendo in esame la distribuzione degli sport praticati da questo gruppo di pazienti, emerge come la categoria "Altro" raccolga la quota maggiore, coinvolgendo il 29% del campione complessivo. Tra gli sport singoli definiti, il rugby rappresenta la disciplina più diffusa con il 22% dei soggetti, seguito a pari merito dall'equitazione e dal calcio, ciascuno praticato dal 14% della sottopopolazione. Infine, una percentuale rilevante, pari al 21% dei pazienti

inseriti nel percorso palestra, ha dichiarato di non praticare alcuna attività sportiva.

4.8.1 Sedute in palestra

Per comprendere l'andamento clinico dei 14 soggetti inseriti nel protocollo di esercizio attivo in palestra, i dati di intensità dei sintomi (punteggio totale della scala PCSS) sono stati analizzati su base temporale continua (giorni effettivi dall'inizio del trattamento, dove il Giorno 0 rappresenta la prima sessione di allenamento).

I singoli punti identificano le sedute di allenamento effettive svolte in palestra, in corrispondenza delle quali è stata registrata l'intensità totale dei sintomi sperimentata quel giorno; le linee di collegamento uniscono cronologicamente le sedute, rappresentando visivamente la progressione clinica e il mantenimento dell'andamento nei giorni intercorsi tra una sessione e la successiva.

L'analisi di questo grafico mostra che al momento della prima seduta (Giorno 0), è presente una spiccata eterogeneità clinica. I punteggi PCSS di partenza variano da quadri estremamente lievi (punteggi inferiori a 10) fino a un massimo di 49 punti.

Con il progredire dei giorni e l'accumulo delle sedute, si registra un trend di miglioramento in tutta la coorte, con un numero di sedute individuali variabile in base alla risposta personale e alla tolleranza al carico.

L'unico caso in cui vi è stato un aumento dei sintomi durante il percorso è stato causato da un secondo trauma cranico accidentale subito dalla paziente a domicilio, la successiva seduta di allenamento ha documentato una riattivazione dei sintomi, rendendo necessaria una rimodulazione del carico, il percorso si è dovuto quindi estendere fino a 60 giorni, prima di giungere al definitivo e stabile azzeramento dei sintomi.

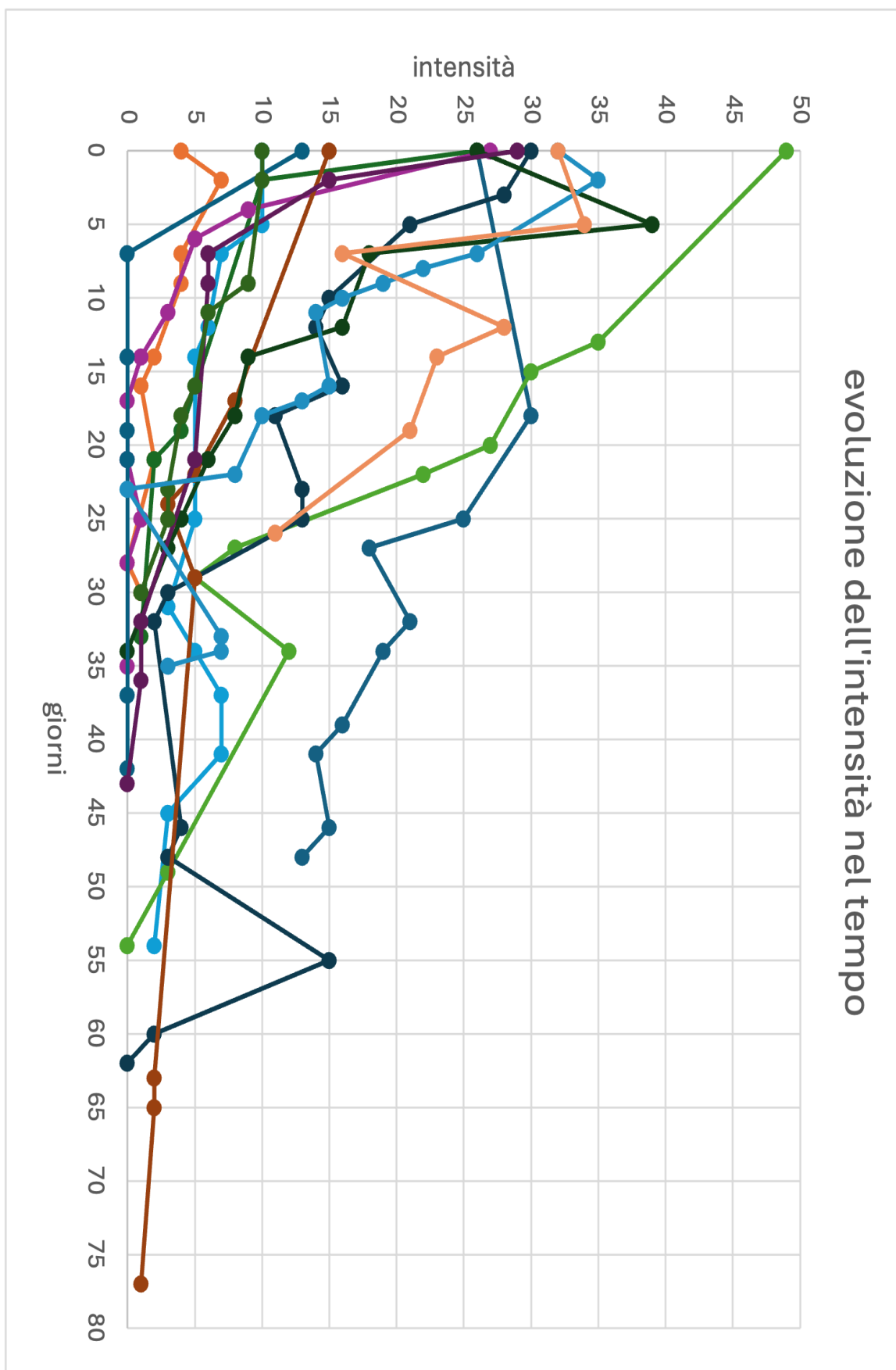


Figura 8 Andamento della sintomatologia tramite scala PCSS dei pazienti che hanno svolto il percorso in palestra

5. Discussione

L'obiettivo principale di questo lavoro è stato analizzare le caratteristiche cliniche dei pazienti afferenti all'ambulatorio per la gestione della concussione cerebrale dell'Azienda Ospedale Università di Padova, afferente alla U.O.C. di Medicina dello Sport e dell'esercizio Fisico e valutare l'andamento di un percorso di esercizio-terapia. I risultati ottenuti offrono diversi spunti di discussione sull'inquadramento di questo trauma e sulla potenziale efficacia dell'esercizio.

5.1 Identikit della popolazione e gestione immediata sul campo

L'analisi dei dati demografici mostra che il nostro campione è composto principalmente da maschi (66,9%) con un'età mediana di 14 anni. Questo profilo coincide con i dati della letteratura internazionale sulle concussioni legate allo sport, che individua proprio nei giovani atleti la fascia più esposta, specialmente in sport di contatto come il rugby (41% del nostro campione) e il calcio (17,3%).(74)

Il dato più critico emerso in questa prima fase riguarda la gestione dell'atleta subito dopo l'infortunio: ben il 33,7% dei soggetti ha continuato a giocare dopo il trauma, rimanendo in attività per una mediana di altri 20 minuti. Questo ritardo nella rimozione dal gioco conferma quanto sia ancora difficile riconoscere tempestivamente la concussione sul campo. Continuare lo sforzo fisico immediatamente dopo un trauma cranico rappresenta un fattore di rischio che può esacerbare i sintomi acuti e ritardare la successiva guarigione, inoltre aumenta il rischio di infortuni in generale e favorisce la cronicizzazione della concussione.(75)

5.2 Tempistiche di presa in carico e il valore dell'approccio precoce

Esaminando la linea temporale dei soccorsi, si nota una tempestività nel primo contatto medico generale, che avviene con una mediana di 0 giorni dal trauma. L'accesso specialistico presso il nostro ambulatorio dedicato ha registrato invece una mediana di 10 giorni dall'evento.

Come evidenziato dal recente studio clinico di Vicki Anderson e colleghi (2026) sul protocollo Concussion Essentials(76), l'attivazione di un percorso multidisciplinare e mirato proprio nella fase subacuta permette di intercettare precocemente i pazienti ed evita che i disturbi si trasformino in sintomi post-concussivi persistenti (PPCS), accelerando sensibilmente il recupero rispetto a una gestione puramente passiva.

5.3 Il ruolo centrale della valutazione clinica nella validazione dei sintomi soggettivi (PCSS)

Una parte importante di questo studio riguarda l'utilizzo dell'esame clinico per validare la sintomatologia riportata dai pazienti tramite il questionario di autovalutazione PCSS. I dati dimostrano che affidarsi alla sola percezione soggettiva potrebbe non essere ottimale per l'individuazione corretta dei fenotipi: la valutazione clinica multimodale funge da indispensabile "filtro" diagnostico che permette di confermare alcuni fenotipi, farne emergere di silenti e smentirne altri sovrastimati dal paziente.

Per alcuni fenotipi, l'esame obiettivo conferma i sintomi soggettivi: si osserva infatti un ottimo allineamento nell'identificazione del fenotipo con cefalea (12 casi clinici vs 10 PCSS) e nel fenotipo vestibolo-oculare (8 casi clinici vs 7 PCSS). In questi casi, la percezione del soggetto trova un solido riscontro oggettivo.

Al contrario, la clinica si è rivelata l'unico strumento in grado di intercettare il fenotipo autonomico. A fronte di ben 10 casi diagnosticati dalla valutazione

medica obiettiva, solo 2 pazienti avevano segnalato il problema tramite il PCSS. Questa discrepanza dimostra che il paziente fatica a ricondurre autonomamente sensazioni come la vertigine a una reale disautonomia. Tali alterazioni emergono solo attraverso la valutazione clinica, come il tilt test, che nel nostro campione ha rilevato sintomi in ortostatismo nel 16,5% dei soggetti e anomalie emodinamiche reali nel 5,3% dei casi. Affidarsi esclusivamente alle risposte della scala PCSS avrebbe portato a ignorare l'80% dei deficit autonomici.

Infine, la valutazione clinica si è dimostrata fondamentale per oggettivare stime del questionario PCSS, in particolare per i disturbi della sfera emotiva e del sonno. Sebbene i pazienti riferissero punteggi elevati per ansia/deflessione dell'umore (8 casi PCSS) e insonnia/affaticamento (11 casi PCSS), la valutazione tramite questionari ha restituito un quadro decisamente inferiore (solamente 2 casi clinici "emotivi" e 6 per il sonno). La reale entità di questi disturbi è stata infatti ridimensionata grazie alla somministrazione di questionari specifici e validati, come il GAD-7 (per i disturbi d'ansia), il PHQ-9 (per la depressione) e il ASSQ per lo screening del sonno. Questo dimostra la necessità di un'indagine mirata per evitare sovrastime diagnostiche e non confondere l'apprensione post-traumatica con un disturbo strutturato. Tuttavia, l'assenza di un fenotipo oggettivabile ai test clinici standard non riduce l'importanza della percezione del paziente. Il fatto stesso che l'adolescente percepisca e sperimenti un forte disagio emotivo o un'alterazione del sonno, costituisce un fattore di stress psicofisico significativo. Questa sofferenza soggettiva, sebbene non convalidata dai punteggi di gravità clinica dei questionari, non va ignorata. È infatti documentato in letteratura come lo stato d'ansia e l'alterazione del sonno agiscano da potenti fattori di amplificazione sintomatologica; essi influenzano negativamente la compliance al trattamento e rallentano i meccanismi di neuroplasticità attiva, finendo per alterare e ritardare significativamente l'intero processo di guarigione clinica ed il rientro sicuro in campo. (1,77)

5.4 La prescrizione dell'esercizio supervisionata

L'analisi longitudinale del percorso di esercizio seguito da una sottopopolazione di pazienti dimostrava delle caratteristiche di maggior severità dei sintomi alla prima valutazione; infatti l'intensità dei sintomi manifestati, misurata tramite la scala PCSS, ha dato come mediana un punteggio di 44 al trauma e di 22 alla prima valutazione ambulatoriale. La popolazione, rispetto al totale dei pazienti arruolati, presentava una maggior prevalenza di soggetti di sesso femminile 64% e un'età mediana di 13,5 anni. Un ulteriore dato importante, evidenziato dalla valutazione basale, era rappresentato da una marcata intolleranza ai carichi di lavoro, con la metà esatta del campione (50%) che manifestava una chiara esacerbazione dei sintomi sia sotto sforzo fisico sia durante attività cognitive.

Di fronte a quadri più severi rispetto al resto della popolazione presa in esame, l'introduzione precoce di un protocollo d'esercizio fisico strutturato ha dimostrato, in primo luogo, un profilo di sicurezza adeguato: l'intero ciclo terapeutico è stato completato senza che si registrasse un peggioramento della sintomatologia o la comparsa di complicanze cliniche.

Dal punto di vista clinico, il monitoraggio continuo ha dimostrato una progressiva e stabile remissione dei sintomi per tutti i quattordici soggetti trattati. Questo riscontro, pur se osservazionale e privo di un confronto con un gruppo di controllo, supporta i moderni modelli riabilitativi attivi e si allinea alle più recenti evidenze internazionali sul trattamento multimodale, suggerendo che l'utilizzo flessibile di moduli terapeutici mirati (fisioterapici, cognitivi e psicologici) possa contribuire ad accelerare il recupero e ridurre il rischio di complicanze croniche legate all'isolamento e alla vecchia pratica del riposo assoluto o *cocoon therapy*, come dimostrato da altri autori. (76)

Inoltre, l'efficacia e la sicurezza del protocollo sono supportate dalla gestione dei casi particolari: il paziente che ha subito un secondo trauma cranico domiciliare mentre frequentava la palestra, dopo un'ovvia riacutizzazione iniziale dei sintomi, è stato condotto a una guarigione stabile

semplicemente rimodulando i carichi di lavoro in base alla nuova soglia di tolleranza.

6. Conclusioni

Il presente studio è coerente con le evidenze e con le raccomandazioni della letteratura internazionale, che sottolineano l'importanza di una gestione clinica multimodale della concussione cerebrale sport-correlata e, nei casi complessi o caratterizzati da sintomi persistenti, di un approccio multidisciplinare (1). In linea con le più recenti linee guida internazionali, l'esame obiettivo mirato e standardizzato (attraverso l'impiego dello strumento SCOAT6) si è confermato un passaggio fondamentale per rilevare alterazioni cliniche oggettive e guidare una corretta fenotipizzazione precoce (1). A tal proposito, un risultato metodologico cruciale emerso dalla nostra analisi è la frequente discrepanza tra il punteggio soggettivo (misurato tramite la scala PCSS) e i reali riscontri dell'esame fisico. Aver dimostrato che un punteggio sintomatologico basso o nullo non esclude la presenza di deficit oggettivi latenti conferma quanto riportato in letteratura circa l'insufficienza dei soli questionari autosomministrati, ribadendo la necessità di un'esplorazione medica diretta per una diagnosi accurata e sicura.

Sul versante terapeutico e riabilitativo, l'impiego dell'esercizio aerobico personalizzato sottosoglia si è dimostrato un intervento sicuro e del tutto privo di eventi avversi, determinando un progressivo e completo azzeramento dei sintomi nell'intera coorte trattata, nel rispetto delle tempistiche di recupero individuali. Questo dato supporta e rafforza il recente cambio di paradigma promosso dalla letteratura scientifica moderna: il superamento definitivo del riposo assoluto prolungato (*cocoon therapy*) in favore di una riabilitazione attiva e precoce, essenziale per contrastare il decondizionamento fisico, ottimizzare la neuroplasticità e accelerare il ritorno in sicurezza all'attività sportiva. (29)

6.1 Limiti dello studio

Come ogni lavoro clinico sperimentale, anche questa tesi presenta dei limiti strutturali e metodologici di cui è necessario tenere conto:

- **Assenza di un gruppo di controllo:** il disegno osservazionale dello studio, basato sulla raccolta di dati ambulatoriali acquisiti nella pratica clinica, non prevedeva un gruppo di controllo con cui fare un confronto statistico diretto. Tale caratteristica è comune a diversi studi preliminari basati su dati di pratica clinica presenti in letteratura.(35)
- **Numerosità e selezione del campione in palestra:** Il gruppo di pazienti che ha frequentato la palestra è numericamente ridotto (14 soggetti) ed è composto principalmente da femmine (64,3%), creando un ribaltamento rispetto al campione generale dello studio che mostra invece una prevalenza maschile (66,9%).

6.2 Prospettive future

Per il futuro, l'obiettivo principale è sicuramente quello di allargare il protocollo di esercizio-terapia in palestra a un campione di pazienti molto più ampio, implementando uno studio clinico randomizzato controllato .

Dal punto di vista organizzativo e logistico, in linea con i nuovi modelli di cura multidisciplinari integrati emersi nella letteratura scientifica recente (76), la sfida prioritaria sarà quella di migliorare le tempistiche di presa in carico, favorendo un riconoscimento immediato della problematica tra pazienti e professionisti della salute.

Una soluzione strategica per raggiungere questo obiettivo potrebbe essere l'implementazione di sistemi di telemedicina e di screening digitali per i controlli a distanza. Questo tipo di tecnologia consentirebbe di snellire le liste d'attesa in presenza, monitorare i ragazzi direttamente a domicilio e rendere i percorsi di esercizio accessibili e sostenibili anche per gli atleti che risiedono lontano dal centro ospedaliero di Padova.

Infine in prospettiva futura, il passo successivo sarà l'implementazione clinica di una matrice decisionale per la definizione di trattamenti fenotipo-specifici (*vedi Tabella III*), finalizzata a una maggiore individualizzazione della prescrizione di esercizio. Pur rimanendo l'esercizio aerobico un intervento di base sicuro e trasversale ai diversi fenotipi clinici, l'integrazione di strategie mirate alle specifiche caratteristiche del paziente potrebbe favorire un recupero più rapido e un migliore decorso clinico. L'applicazione e la validazione clinica di tale algoritmo potrebbe, pertanto, contribuire a ridurre il rischio di cronicizzazione dei sintomi e favorire un rientro sicuro alle attività scolastiche e sportive.

7. Bibliografia

1. Patricios JS, Schneider KJ, Dvorak J, Ahmed OH, Blauwet C, Cantu RC, et al. Consensus statement on concussion in sport: the 6th International Conference on Concussion in Sport-Amsterdam, October 2022. *Br J Sports Med.* giugno 2023;57(11):695–711. doi:10.1136/bjsports-2023-106898 PubMed PMID: 37316210.
2. Giza CC, Hovda DA. The new neurometabolic cascade of concussion. *Neurosurgery.* ottobre 2014;75 Suppl 4(0 4):S24-33. doi:10.1227/NEU.0000000000000505 PubMed PMID: 25232881; PubMed Central PMCID: PMC4479139.
3. Dewan MC, Rattani A, Gupta S, Baticulon RE, Hung YC, Punchak M, et al. Estimating the global incidence of traumatic brain injury. *J Neurosurg.* 1 aprile 2019;130(4):1080–97. doi:10.3171/2017.10.JNS17352 PubMed PMID: 29701556.
4. Ingram V, Fielding M, Dunne LAM, Piantella S, Weakley J, Johnston RD, et al. The Incidence of Sports-Related Concussion in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med - Open.* 11 aprile 2025;11(1):36. doi:10.1186/s40798-025-00834-9 PubMed PMID: 40214904; PubMed Central PMCID: PMC11992322.
5. Conaghan C, Daly E, Pearce AJ, King DA, Ryan L. A systematic review of the effects of educational interventions on knowledge and attitudes towards concussion for people involved in sport - Optimising concussion education based on current literature. *J Sports Sci.* marzo 2021;39(5):552–67. doi:10.1080/02640414.2020.1835223 PubMed PMID: 33081578.
6. LaRoche AA, Nelson LD, Connelly PK, Walter KD, McCrea MA. Sport-Related Concussion Reporting and State Legislative Effects. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med.* gennaio 2016;26(1):33–9.

doi:10.1097/JSM.0000000000000192 PubMed PMID: 25894530; PubMed Central PMCID: PMC4609217.

7. Coronado VG, Haileyesus T, Cheng TA, Bell JM, Haarbauer-Krupa J, Lionbarger MR, et al. Trends in Sports- and Recreation-Related Traumatic Brain Injuries Treated in US Emergency Departments: The National Electronic Injury Surveillance System-All Injury Program (NEISS-AIP) 2001-2012. *J Head Trauma Rehabil.* 2015;30(3):185–97.
doi:10.1097/HTR.0000000000000156 PubMed PMID: 25955705; PubMed Central PMCID: PMC6207196.
8. Prigatano GP, Gale SD. The current status of postconcussion syndrome. *Curr Opin Psychiatry.* maggio 2011;24(3):243–50.
doi:10.1097/YCO.0b013e328344698b PubMed PMID: 21346569.
9. Williams RM, Puetz TW, Giza CC, Broglio SP. Concussion recovery time among high school and collegiate athletes: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* giugno 2015;45(6):893–903. doi:10.1007/s40279-015-0325-8 PubMed PMID: 25820456; PubMed Central PMCID: PMC4441834.
10. Grool AM, Aglipay M, Momoli F, Meehan WP, Freedman SB, Yeates KO, et al. Association Between Early Participation in Physical Activity Following Acute Concussion and Persistent Postconcussive Symptoms in Children and Adolescents. *JAMA.* 20 dicembre 2016;316(23):2504–14.
doi:10.1001/jama.2016.17396 PubMed PMID: 27997652.
11. McCrea M, Meier T, Huber D, Ptito A, Bigler E, Debert CT, et al. Role of advanced neuroimaging, fluid biomarkers and genetic testing in the assessment of sport-related concussion: a systematic review. *Br J Sports Med.* giugno 2017;51(12):919–29. doi:10.1136/bjsports-2016-097447 PubMed PMID: 28455364.
12. Collins MW, Kontos AP, Okonkwo DO, Almquist J, Bailes J, Barisa M, et al. Statements of Agreement From the Targeted Evaluation and Active Management (TEAM) Approaches to Treating Concussion Meeting Held in Pittsburgh, October 15-16, 2015. *Neurosurgery.* dicembre 2016;79(6):912–29. doi:10.1227/NEU.0000000000001447 PubMed PMID: 27741219; PubMed Central PMCID: PMC5119544.
13. Lumba-Brown A, Teramoto M, Bloom OJ, Brody D, Chesnutt J, Clugston JR, et al. Concussion Guidelines Step 2: Evidence for Subtype Classification. *Neurosurgery.* 1 gennaio 2020;86(1):2–13.
doi:10.1093/neuros/nyz332 PubMed PMID: 31432081; PubMed Central PMCID: PMC6911735.
14. Thomas DG, Apps JN, Hoffmann RG, McCrea M, Hammeke T. Benefits of strict rest after acute concussion: a randomized controlled trial.

- Pediatrics. febbraio 2015;135(2):213–23. doi:10.1542/peds.2014-0966 PubMed PMID: 25560444.
15. Leddy JJ, Haider MN, Ellis MJ, Mannix R, Darling SR, Freitas MS, et al. Early Subthreshold Aerobic Exercise for Sport-Related Concussion: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Pediatr.* 1 aprile 2019;173(4):319–25. doi:10.1001/jamapediatrics.2018.4397 PubMed PMID: 30715132; PubMed Central PMCID: PMC6450274.
 16. Meier TB, Huber DL, Bohorquez-Montoya L, Nitta ME, Savitz J, Teague TK, et al. A Prospective Study of Acute Blood-Based Biomarkers for Sport-Related Concussion. *Ann Neurol.* giugno 2020;87(6):907–20. doi:10.1002/ana.25725 PubMed PMID: 32215965; PubMed Central PMCID: PMC7477798.
 17. Patricios J, Schneider GM, van Ierssel J, Purcell LK, Davis GA, Echemendia RJ, et al. Sport Concussion Office Assessment Tool - 6. *Br J Sports Med.* giugno 2023;57(11):651–67. doi:10.1136/bjsports-2023-106859 PubMed PMID: 37316200.
 18. Harmon KG, Clugston JR, Dec K, Hainline B, Herring S, Kane SF, et al. American Medical Society for Sports Medicine position statement on concussion in sport. *Br J Sports Med.* febbraio 2019;53(4):213–25. doi:10.1136/bjsports-2018-100338 PubMed PMID: 30705232.
 19. Craton N, Ali H, Lenoski S. COACH CV: The Seven Clinical Phenotypes of Concussion. *Brain Sci.* 16 settembre 2017;7(9):119. doi:10.3390/brainsci7090119 PubMed PMID: 28926944; PubMed Central PMCID: PMC5615260.
 20. Katz M, Lenoski S, Ali H, Craton N. Concussion Office Based Rehabilitation Assessment: A Novel Clinical Tool for Concussion Assessment and Management. *Brain Sci.* 27 agosto 2020;10(9):593. doi:10.3390/brainsci10090593 PubMed PMID: 32867319; PubMed Central PMCID: PMC7563760.
 21. Ashina H, Porreca F, Anderson T, Amin FM, Ashina M, Schytz HW, et al. Post-traumatic headache: epidemiology and pathophysiological insights. *Nat Rev Neurol.* ottobre 2019;15(10):607–17. doi:10.1038/s41582-019-0243-8 PubMed PMID: 31527806.
 22. Jull G. Cervicogenic headache. *Musculoskelet Sci Pract.* agosto 2023;66:102787. doi:10.1016/j.msksp.2023.102787 PubMed PMID: 37301672.
 23. Cheever K, McDevitt J, Phillips J, Kawata K. The Role of Cervical Symptoms in Post-concussion Management: A Systematic Review. *Sports Med.* settembre 2021;51(9):1875–91. doi:10.1007/s40279-021-01469-y PubMed PMID: 33891292.

24. Mucha A, Fedor S, DeMarco D. Vestibular dysfunction and concussion. *Handb Clin Neurol*. 2018;158:135–44. doi:10.1016/B978-0-444-63954-7.00014-8 PubMed PMID: 30482341.
25. Piantino J, Lim MM, Newgard CD, Iliff J. Linking Traumatic Brain Injury, Sleep Disruption and Post-Traumatic Headache: a Potential Role for Glymphatic Pathway Dysfunction. *Curr Pain Headache Rep*. 29 luglio 2019;23(9):62. doi:10.1007/s11916-019-0799-4 PubMed PMID: 31359173.
26. Sheldrake E, Al-Hakeem H, Lam B, Goldstein BI, Wheeler AL, Burke M, et al. Mental Health Outcomes Across the Lifespan in Individuals With Persistent Post-Concussion Symptoms: A Scoping Review. *Front Neurol*. 2022;13:850590. doi:10.3389/fneur.2022.850590 PubMed PMID: 35481264; PubMed Central PMCID: PMC9035995.
27. Langdon S, Goedhart E, Inklaar M, Oosterlaan J, Königs M. Heterogeneity of persisting symptoms after sport-related concussion (SRC): exploring symptom subtypes and patient subgroups. *J Neurol*. marzo 2023;270(3):1512–23. doi:10.1007/s00415-022-11448-6 PubMed PMID: 36411387; PubMed Central PMCID: PMC9970953.
28. Langdon S, Königs M, Adang E a. MC, Goedhart E, Oosterlaan J. Subtypes of Sport-Related Concussion: a Systematic Review and Meta-cluster Analysis. *Sports Med*. ottobre 2020;50(10):1829–42. doi:10.1007/s40279-020-01321-9 PubMed PMID: 32720230; PubMed Central PMCID: PMC7497426.
29. Leddy JJ, Burma JS, Toomey CM, Hayden A, Davis GA, Babl FE, et al. Rest and exercise early after sport-related concussion: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. giugno 2023;57(12):762–70. doi:10.1136/bjsports-2022-106676 PubMed PMID: 37316185.
30. Krainin BM, Seehusen CN, Smulligan KL, Wingerson MJ, Wilson JC, Howell DR. Symptom and clinical recovery outcomes for pediatric concussion following early physical activity. *J Neurosurg Pediatr*. 1 dicembre 2021;28(6):623–30. doi:10.3171/2021.6.PEDS21264 PubMed PMID: 34560641.
31. Leddy JJ, Master CL, Mannix R, Wiebe DJ, Grady MF, Meehan WP, et al. Early targeted heart rate aerobic exercise versus placebo stretching for sport-related concussion in adolescents: a randomised controlled trial. *Lancet Child Adolesc Health*. novembre 2021;5(11):792–9. doi:10.1016/S2352-4642(21)00267-4 PubMed PMID: 34600629.
32. Lishchynsky JT, Rutschmann TD, Toomey CM, Palacios-Derflingher L, Yeates KO, Emery CA, et al. The Association Between Moderate and Vigorous Physical Activity and Time to Medical Clearance to Return to Play Following Sport-Related Concussion in Youth Ice Hockey Players. *Front*

- Neurol. 2019;10:588. doi:10.3389/fneur.2019.00588 PubMed PMID: 31244754; PubMed Central PMCID: PMC6563761.
33. Castro EV, Chizuk HM, Leddy JJ, Aronoff N, Valera EM, Haider MN. Sex Differences in the Treatment Effect of Targeted Heart Rate Aerobic Exercise in Adolescents with Acute Sport-Related Concussion. *J Neurotrauma*. 18 marzo 2026;8977151261433831. doi:10.1177/08977151261433831 PubMed PMID: 41847834.
 34. Lickfeld AM, Castro EV, Ferreira A, Edwards JM, Patel A, Leddy JJ, et al. Incidences of Concussion in the United States: A Review of Health Insurance Claims. *Brain Sci*. 22 maggio 2026;16(6):546. doi:10.3390/brainsci16060546
 35. Kurowski BG, Hugentobler J, Quatman-Yates C, Taylor J, Gubanich PJ, Altaye M, et al. Aerobic Exercise for Adolescents With Prolonged Symptoms After Mild Traumatic Brain Injury: An Exploratory Randomized Clinical Trial. *J Head Trauma Rehabil*. 2017;32(2):79–89. doi:10.1097/HTR.000000000000238 PubMed PMID: 27120294; PubMed Central PMCID: PMC5081281.
 36. Chan C, Iverson GL, Purtzki J, Wong K, Kwan V, Gagnon I, et al. Safety of Active Rehabilitation for Persistent Symptoms After Pediatric Sport-Related Concussion: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil*. febbraio 2018;99(2):242–9. doi:10.1016/j.apmr.2017.09.108 PubMed PMID: 28989074.
 37. Wilson JC, Kirkwood MW, Potter MN, Wilson PE, Provance AJ, Howell DR. Early physical activity and clinical outcomes following pediatric sport-related concussion. *J Clin Transl Res*. 26 maggio 2020;5(4):161–8. PubMed PMID: 33029564; PubMed Central PMCID: PMC7534529.
 38. McPherson JJ, Nazir MSZ, Willer BS, Leddy JJ, Haider MN. Does Physiologic Post-Concussion Disorder Cause Persistent Post-Traumatic Headache? *Curr Pain Headache Rep*. novembre 2023;27(11):793–9. doi:10.1007/s11916-023-01176-5 PubMed PMID: 37831366.
 39. Leddy JJ, Baker JG, Kozlowski K, Bisson L, Willer B. Reliability of a graded exercise test for assessing recovery from concussion. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med*. marzo 2011;21(2):89–94. doi:10.1097/JSM.0b013e3181fdc721 PubMed PMID: 21358497.
 40. Grabowski P, Wilson J, Walker A, Enz D, Wang S. Multimodal impairment-based physical therapy for the treatment of patients with post-concussion syndrome: A retrospective analysis on safety and feasibility. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med*. gennaio 2017;23:22–30. doi:10.1016/j.ptsp.2016.06.001 PubMed PMID: 27665247.

41. Schneider KJ, Critchley ML, Anderson V, Davis GA, Debert CT, Feddermann-Demont N, et al. Targeted interventions and their effect on recovery in children, adolescents and adults who have sustained a sport-related concussion: a systematic review. *Br J Sports Med.* giugno 2023;57(12):771–9. doi:10.1136/bjsports-2022-106685 PubMed PMID: 37316188.
42. Treleaven J. Dizziness, Unsteadiness, Visual Disturbances, and Sensorimotor Control in Traumatic Neck Pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* luglio 2017;47(7):492–502. doi:10.2519/jospt.2017.7052 PubMed PMID: 28622488.
43. Murray DA, Meldrum D, Lennon O. Can vestibular rehabilitation exercises help patients with concussion? A systematic review of efficacy, prescription and progression patterns. *Br J Sports Med.* marzo 2017;51(5):442–51. doi:10.1136/bjsports-2016-096081 PubMed PMID: 27655831.
44. Ferry B, Means G, Green C, Risoli T, Martinez C, Vomer RP, et al. Early Initiation of Vestibular Therapy Following Sports-Related Concussions: A Retrospective Cohort Study. *Cureus.* maggio 2023;15(5):e39764. doi:10.7759/cureus.39764 PubMed PMID: 37398813; PubMed Central PMCID: PMC10311942.
45. Kontos AP, Eagle SR, Mucha A, Kochick V, Reichard J, Moldovan C, et al. A Randomized Controlled Trial of Precision Vestibular Rehabilitation in Adolescents following Concussion: Preliminary Findings. *J Pediatr.* dicembre 2021;239:193–9. doi:10.1016/j.jpeds.2021.08.032 PubMed PMID: 34450120.
46. Babula G, Warunek E, Cure K, Nikolski G, Fritz H, Barker S. Vestibular Rehabilitation as an Early Intervention in Athletes Who are Post-concussion: A Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther.* 2023;V18(3):577–86. doi:10.26603/001c.75369 PubMed PMID: 37425112; PubMed Central PMCID: PMC10324323.
47. Storey EP, Master SR, Lockyer JE, Podolak OE, Grady MF, Master CL. Near Point of Convergence after Concussion in Children. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom.* gennaio 2017;94(1):96–100. doi:10.1097/OPX.0000000000000910 PubMed PMID: 27391530.
48. Kim KM, Chun BY. Effectiveness of home-based pencil push-ups (HBPP) for patients with symptomatic convergence insufficiency. *Korean J Ophthalmol KJO.* giugno 2011;25(3):185–8. doi:10.3341/kjo.2011.25.3.185 PubMed PMID: 21655044; PubMed Central PMCID: PMC3102822.
49. Quatman-Yates CC, Hunter-Giordano A, Shimamura KK, Landel R, Alsalaheen BA, Hanke TA, et al. Physical Therapy Evaluation and Treatment After Concussion/Mild Traumatic Brain Injury. *J Orthop Sports Phys Ther.*

- aprile 2020;50(4):CPG1–73. doi:10.2519/jospt.2020.0301 PubMed PMID: 32241234.
50. Klatt BN, Carender WJ, Lin CC, Alsubaie SF, Kinnaird CR, Sienko KH, et al. A Conceptual Framework for the Progression of Balance Exercises in Persons with Balance and Vestibular Disorders. *Phys Med Rehabil Int*. 2015;2(4):1044. PubMed PMID: 27489886; PubMed Central PMCID: PMC4968039.
 51. Hall CD, Herdman SJ, Whitney SL, Anson ER, Carender WJ, Hoppes CW, et al. Vestibular Rehabilitation for Peripheral Vestibular Hypofunction: An Updated Clinical Practice Guideline From the Academy of Neurologic Physical Therapy of the American Physical Therapy Association. *J Neurol Phys Ther JNPT*. 1 aprile 2022;46(2):118–77. doi:10.1097/NPT.0000000000000382 PubMed PMID: 34864777; PubMed Central PMCID: PMC8920012.
 52. Ludwig R, Rippee M, D'Silva L, Radel J, Eakman AM, Beltramo A, et al. Cognitive Behavioral Therapy for Insomnia Improves Sleep Outcomes in Individuals With Concussion: A Preliminary Randomized Wait-List Control Study. *J Head Trauma Rehabil*. 1 agosto 2024;39(4):318–27. doi:10.1097/HTR.0000000000000937 PubMed PMID: 38466122.
 53. Smulligan KL, Wilson JC, Seehusen CN, Wingerson MJ, Magliato SN, Howell DR. Postconcussion Dizziness, Sleep Quality, and Postural Instability: A Cross-Sectional Investigation. *J Athl Train*. 2022;57(11–12):1072–8. doi:10.4085/1062-6050-0470.21 PubMed PMID: 34623439; PubMed Central PMCID: PMC9875698.
 54. Howell DR, Kriz P, Mannix RC, Kirchberg T, Master CL, Meehan WP. Concussion Symptom Profiles Among Child, Adolescent, and Young Adult Athletes. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med*. settembre 2019;29(5):391–7. doi:10.1097/JSM.0000000000000629 PubMed PMID: 29933282.
 55. Kolakowsky-Hayner SA, Bellon K, Toda K, Bushnik T, Wright J, Isaac L, et al. A randomised control trial of walking to ameliorate brain injury fatigue: a NIDRR TBI model system centre-based study. *Neuropsychol Rehabil*. ottobre 2017;27(7):1002–18. doi:10.1080/09602011.2016.1229680 PubMed PMID: 27733079.
 56. Castellana MC, Burnett GJ, Gasper A, Nazir MSZ, Leddy JJ, Master CL, et al. Adolescents With a High Burden of New-Onset Mood Symptoms After Sport-Related Concussion Benefit From Prescribed Aerobic Exercise, a Secondary Analysis of 2 Randomized Controlled Trials. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med*. 1 gennaio 2025;35(1):29–36. doi:10.1097/JSM.0000000000001242 PubMed PMID: 38980666; PubMed Central PMCID: PMC11693491.

57. Halalmeh DR, Salama HZ, LeUnes E, Feitosa D, Ansari Y, Sachwani-Daswani GR, et al. The Role of Neuropsychology in Traumatic Brain Injury: Comprehensive Literature Review. *World Neurosurg.* marzo 2024;183:128–43. doi:10.1016/j.wneu.2023.12.069 PubMed PMID: 38104936.
58. Wang T, Li W, Deng J, Zhang Q, Liu Y. The influence of physical exercise on negative emotions in adolescents: a meta-analysis. *Front Psychiatry.* 2024;15:1457931. doi:10.3389/fpsyt.2024.1457931 PubMed PMID: 39600789; PubMed Central PMCID: PMC11588725.
59. Amiri S, Mahmood N, Javaid SF, Khan MA. The Effect of Lifestyle Interventions on Anxiety, Depression and Stress: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *Healthcare.* 13 novembre 2024;12(22):2263. doi:10.3390/healthcare12222263 PubMed PMID: 39595461; PubMed Central PMCID: PMC11594078.
60. Hunt AW, Agnihotri S, Sack L, Tint A, Greenspoon D, Gauvin-Lepage J, et al. Mood-related changes in children and adolescents with persistent concussion symptoms following a six-week active rehabilitation program. *Brain Inj.* 2 luglio 2020;34(8):1068–73. doi:10.1080/02699052.2020.1776396 PubMed PMID: 32529851.
61. Cooper DB, Bunner AE, Kennedy JE, Balldin V, Tate DF, Eapen BC, et al. Treatment of persistent post-concussive symptoms after mild traumatic brain injury: a systematic review of cognitive rehabilitation and behavioral health interventions in military service members and veterans. *Brain Imaging Behav.* settembre 2015;9(3):403–20. doi:10.1007/s11682-015-9440-2 PubMed PMID: 26330376.
62. Vas A, Luedtke A, Ortiz E, Mackie N, Gonzalez S. Cognitive Rehabilitation: Mild Traumatic Brain Injury and Relevance of OTPF. *Occup Ther Int.* 2023;2023:8135592. doi:10.1155/2023/8135592 PubMed PMID: 37283959; PubMed Central PMCID: PMC10241584.
63. Snowden T, Morrison J, Boerstra M, Eyolfson E, Acosta C, Grafe E, et al. Brain changes: aerobic exercise for traumatic brain injury rehabilitation. *Front Hum Neurosci.* 2023;17:1307507. doi:10.3389/fnhum.2023.1307507 PubMed PMID: 38188504; PubMed Central PMCID: PMC10771390.
64. Leddy JJ, Haider MN, Ellis M, Willer BS. Exercise is Medicine for Concussion. *Curr Sports Med Rep.* agosto 2018;17(8):262–70. doi:10.1249/JSR.0000000000000505 PubMed PMID: 30095546; PubMed Central PMCID: PMC6089233.
65. Mercier LJ, Batycky J, Campbell C, Schneider K, Smirl J, Debert CT. Autonomic dysfunction in adults following mild traumatic brain injury: A systematic review. *NeuroRehabilitation.* 2022;50(1):3–32. doi:10.3233/NRE-210243 PubMed PMID: 35068421.

66. Pertab JL, Merkley TL, Winiarski H, Cramond KMJ, Cramond AJ. Concussion and the Autonomic, Immune, and Endocrine Systems: An Introduction to the Field and a Treatment Framework for Persisting Symptoms. *J Pers Med*. 17 gennaio 2025;15(1):33. doi:10.3390/jpm15010033 PubMed PMID: 39852225; PubMed Central PMCID: PMC11766534.
67. Silverberg ND, Iverson GL. Is rest after concussion «the best medicine?»: recommendations for activity resumption following concussion in athletes, civilians, and military service members. *J Head Trauma Rehabil*. 2013;28(4):250–9. doi:10.1097/HTR.0b013e31825ad658 PubMed PMID: 22688215.
68. Iverson GL, Koehle MS. Normative data for the modified balance error scoring system in adults. *Brain Inj*. 2013;27(5):596–9. doi:10.3109/02699052.2013.772237 PubMed PMID: 23473405.
69. Ozinga SJ, Linder SM, Koop MM, Dey T, Figler R, Russman AN, et al. Normative Performance on the Balance Error Scoring System by Youth, High School, and Collegiate Athletes. *J Athl Train*. luglio 2018;53(7):636–45. doi:10.4085/1062-6050-129-17 PubMed PMID: 30109948; PubMed Central PMCID: PMC6138268.
70. Art K, Ridenour C, Durbin S, Bauer M, Hassen-Miller A. The Effectiveness of Physical Therapy Interventions for Athletes Post-Concussion: A Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther*. 2023;18(1):26–38. doi:10.26603/001c.68071 PubMed PMID: 36793559; PubMed Central PMCID: PMC9897009.
71. Jennings T, Islam MS. Examining the interdisciplinary approach for treatment of persistent post-concussion symptoms in adults: a systematic review. *Brain Impair Multidiscip J Aust Soc Study Brain Impair*. settembre 2023;24(2):290–308. doi:10.1017/BrImp.2022.28 PubMed PMID: 38167190.
72. Kontos AP, Elbin RJ, Lau B, Simensky S, Freund B, French J, et al. Posttraumatic migraine as a predictor of recovery and cognitive impairment after sport-related concussion. *Am J Sports Med*. luglio 2013;41(7):1497–504. doi:10.1177/0363546513488751 PubMed PMID: 23698389.
73. Eisenberg MA, Meehan WP, Mannix R. Duration and course of post-concussive symptoms. *Pediatrics*. giugno 2014;133(6):999–1006. doi:10.1542/peds.2014-0158 PubMed PMID: 24819569; PubMed Central PMCID: PMC4531270.
74. Pfister T, Pfister K, Hagel B, Ghali WA, Ronksley PE. The incidence of concussion in youth sports: a systematic review and meta-analysis. *Br J*

Sports Med. marzo 2016;50(5):292–7. doi:10.1136/bjsports-2015-094978
PubMed PMID: 26626271.

75. Elbin RJ, Sufrinko A, Schatz P, French J, Henry L, Burkhart S, et al.
Removal From Play After Concussion and Recovery Time. *Pediatrics*.
settembre 2016;138(3):e20160910. doi:10.1542/peds.2016-0910 PubMed
PMID: 27573089; PubMed Central PMCID: PMC5005026.
76. Anderson V, Davies K, Rausa VC, Anderson N, Barlow KM, Bray K, et al.
Multimodal symptom-targeted treatment for young people with persisting
post-concussion symptoms: a randomised clinical trial. *Br J Sports Med*.
26 maggio 2026;bjsports-2025-110880. doi:10.1136/bjsports-2025-
110880 PubMed PMID: 42191347.
77. Narducci DM, Moran B, Coris E, Tsalatsanis A, Graulich I, Del Rossi G.
Predicting Concussion Recovery with PHQ-9 and GAD-7. *South Med J*.
dicembre 2021;114(12):760–5. doi:10.14423/SMJ.0000000000001336
PubMed PMID: 34853851.