



UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE MEDICO-VETERINARIE
Corso di Laurea Magistrale a Ciclo Unico in Medicina Veterinaria

Biomeccanica delle andature e diagnostica per immagini delle patologie osteoarticolari del rachide nel cavallo sportivo.

Biomechanics of gaits and imaging diagnostics of osteoarticular diseases of the spine in the sport horse.

Relatore:
Chiar.mo Prof. Giacomo GNUDI

Laureanda:
Marta MISSIO
313104

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

SOMMARIO

SOMMARIO	3
ABSTRACT	4
INTRODUZIONE	5
1.1 CENNI DI ANATOMIA	5
1.1.1 BASE OSSEA	5
1.1.2 BASE ARTICOLARE	6
1.1.3 BASE MUSCOLARE	7
1.1.1 MIOFASCIA	8
1.1.2 VASCOLARIZZAZIONE	9
1.1.3 INNERVAZIONE	9
1.2 BIOMECCANICA	11
1.2.1 BIOMECCANICA DELLA COLONNA VERTEBRALE.....	11
1.2.2 BIOMECCANICA DEL PASSO.....	13
1.2.3 BIOMECCANICA DEL TROTTO	13
1.2.4 BIOMECCANICA DEL PICCOLO GALOPPO O CANTER	14
1.3 TECNICHE DI DIAGNOSTICA PER IMMAGINI.....	16
1.3.1 ESAME RADIOGRAFICO	16
1.3.2 ESAME ECOGRAFICO	17
1.3.3 RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE	17
1.3.4 TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA	18
1.3.5 SCINTIGRAFIA NUCLEARE	18
1.3.6 TERMOGRAFIA	19
1.4 PATOLOGIE OSTEOARTICOLARI DEL RACHIDE DEL CAVALLO SPORTIVO	21
1.4.1 FRATTURE CERVICALI	21
1.4.2 FRATTURE DEL TRATTO TORACOLOMBARE	21
1.4.3 DISFUNZIONE SACRO-ILIACA	22
1.4.4 SINDROME DA ACCAVALLAMENTO DEI PROCESSI SPINOSI DELLE VERTEBRE TORACO-LOMBARI.....	24
1.4.5 LUSSAZIONI E SUBLUSSAZIONI	26
1.4.6 OSTEOARTRITE DELLE FACCETTE ARTICOLARI.....	26
1.4.7 DESMOPATIA DEL LEGAMENTO NUCALE E BURSITE.....	28
1.4.8 DESMOPATIA DEL LEGAMENTO SOPRASPINOSO	29
1.4.9 DESMITE DEL LEGAMENTO SACROILIACO DORSALE	30
CONCLUSIONI	31
BIBLIOGRAFIA	33

ABSTRACT

Le patologie del rachide stanno assumendo sempre maggiore importanza nella medicina sportiva del cavallo in quanto possono inficiare notevolmente sulle abilità agonistiche dell'animale.

Al fine di giungere a una diagnosi corretta, assume notevole importanza la conoscenza della biomeccanica, non solo generale ma anche applicata alle singole discipline sportive, ognuna caratterizzata da richieste motorie specifiche. Oltre alle conoscenze teoriche, all'anamnesi sportiva e alla visita clinica, di elevato rilievo sono le diverse tecniche di diagnostica per immagini, soprattutto radiologia, ecografia e scintigrafia nucleare.

Dopo un breve *excursus* di anatomia e biomeccanica, verranno descritte le tecniche di diagnostica per immagini – esame radiografico, ecografico, risonanza magnetica, scintigrafia nucleare, tomografia computerizzata e termografia – quindi verranno trattate le patologie osteoarticolari più frequenti nel cavallo sportivo con *focus* sui reperti di diagnostica per immagini più frequenti.

Spinal diseases are becoming increasingly important in equine sports medicine as they can significantly affect the animal's competitive abilities.

To reach a correct diagnosis, knowledge of biomechanics has a considerable importance, not only general but also applied to individual sports disciplines, each characterized by specific locomotor pattern. In addition to theoretical knowledge, sports history and clinical examination, the various diagnostic imaging techniques are of great importance, especially radiology, ultrasonography and nuclear scintigraphy.

After a brief *excursus* of anatomy and biomechanics, the diagnostic imaging techniques will be presented - radiographic examination, ultrasound, magnetic resonance imaging, nuclear scintigraphy, computed tomography and thermography – then the most frequent osteoarticular pathologies in sport horses will be treated with a focus on the more frequent diagnostic imaging findings.

INTRODUZIONE

1.1 CENNI DI ANATOMIA

1.1.1 BASE OSSEA

Il cavallo viene usato da decenni come animale per le attività sportive e per questo motivo le lesioni al sistema muscolo-scheletrico sono frequenti in questa specie.

Lo scheletro assile è composto dalle ossa del cranio e dalle vertebre. Il rachide è suddiviso in cinque regioni: cervicale (sette vertebre), toracica (diciotto vertebre), lombare (sei vertebre), sacrale (cinque vertebre) e coccigea (numero variabile di vertebre, da diciassette a ventuno). Le vertebre delle diverse regioni presentano delle differenze morfologiche che si riflettono sul piano funzionale.

Le vertebre sono ossa corte costituite da un corpo centrale cilindrico e un arco dorsale; queste due porzioni definiscono il foro vertebrale al cui interno decorre il midollo spinale con i suoi involucri.

Dall'arco dorsale o arco vertebrale si estendono i processi spinosi, dorsali e impari, molto sviluppati a livello di vertebre toraciche, i processi trasversi, laterali e pari, molto sviluppati a livello di vertebre lombari, e i processi articolari, uno craniale e uno caudale.

Atlante (C1), epistrofeo (C2) e sacro (S1-S5) differiscono dalla descrizione generale sopra riportata, mentre le vertebre coccigee presentano una struttura molto rudimentale rispetto a quanto descritto.

L'atlante (C1) è caratterizzato dalla sostituzione del corpo vertebrale con un arco, dalla presenza delle ali, che sono un peculiare sviluppo dei processi trasversi, dalla presenza di due cavità articolari craniali e di un ampio foro vertebrale.

L'epistrofeo (C2) è l'asse di rotazione di atlante e testa e svolge questo ruolo grazie alla presenza di un processo articolare craniale caratteristico, il dente dell'epistrofeo che si articola con la *fovea capitis* dell'atlante [1].

L'osso sacro è impari e costituito dalla fusione dei corpi vertebrali delle cinque vertebre sacrali. Di forma triangolare, presenta alla descrizione una faccia dorsale che si caratterizza per la presenza di processi spinosi ancora distinti tra loro. La faccia pelvica forma la volta dell'omonima cavità. Rispettivamente, a livello delle due facce, si apprezzano i fori sacrali dorsali e ventrali,

dove decorrono le branche dorsali e ventrali dei nervi sacrali. Lateralmente sono presenti i processi trasversi, fusi tra loro. Il primo è ispessito a formare l'ala del sacro. Cranialmente e caudalmente troviamo le superficie articolari per l'articolazione lombosacrale e sacrococcigea.

Le vertebre contengono e proteggono il midollo spinale, fungono da inserzione per tendini e legamenti e garantiscono la trasmissione delle forze propulsive che originano dagli arti posteriori.

1.1.2 BASE ARTICOLARE

Le articolazioni che uniscono tra loro i corpi vertebrali costituiscono un tipo particolare di sinfisi (*symphysis intervertebralis*) [2]: i capi articolari coinvolti sono la fossa vertebrale, la testa vertebrale (unione delle vertebre mediante i loro corpi), il processo articolare caudale e il processo articolare craniale (unione delle vertebre mediante i loro archi), a cui si aggiungono i rispettivi mezzi di unione: il disco intervertebrale, il legamento longitudinale dorsale e il legamento longitudinale ventrale per i corpi vertebrali, i legamenti interspinosi, interlaminari, sopraspinoso e il legamento nucale per gli archi.

Questa descrizione non è valida per l'articolazione atlantoepistروفica ed il sacro, mentre le articolazioni sono molto rudimentali per la regione coccigea.

Tra le cartilagini articolari dei corpi vertebrali si interpone il disco intervertebrale, una lamina più o meno spessa, formata esternamente da un anello fibroso costituito per lo più da fasci di fibre collagene con rare fibre elastiche e numerosi condrociti [2], ed internamente dal nucleo polposo, formato da tessuto connettivo mucoide, fibrociti e cellule vestigiali della corda embrionale, che tendono a scomparire con il progredire dell'età.

Il legamento longitudinale dorsale è una lunga corda fibrosa localizzata sul pavimento del canale vertebrale, dall'epistروفico all'osso sacro. A livello di epistروفico si esaurisce per formare il legamento trasverso-epistروفico.

Il legamento longitudinale ventrale è un sottile cordone biancastro, appiattito in senso dorso-ventrale, localizzato sulla faccia ventrale dei corpi vertebrali, a cui vi aderisce intimamente. Non è presente a livello della regione cervicale, fatta eccezione a livello di articolazione atlanto-epistروفica.

I legamenti interlaminari sono costituiti per lo più da fibre elastiche e ciascuno chiude lo spazio compreso tra due lamine vertebrali successive [2].

I legamenti interspinosi sono elastici a livello cervicale mentre sono più fibrosi negli altri tratti del rachide; si interpongono tra i processi spinosi di due vertebre successive.

Il legamento sopraspinoso è un robusto legamento comune che origina dall'osso occipitale e termina a livello delle prime vertebre coccigee, decorrendo sulla sommità dei processi spinosi. Il legamento ha numerose inserzioni a livello della porzione tendinea del muscolo *longissimus dorsi*: questo consente di stabilizzare maggiormente la colonna vertebrale [3]. Nel suo tratto cervicale il legamento sopraspinoso prende il nome di legamento nucale.

Il legamento nucale rappresenta un importante perno nella meccanica della colonna vertebrale in quanto permette l'accumulo di energia [4] e coadiuva l'azione muscolare. È costituito da due porzioni: il funicolo e la lamina del legamento nucale. Il funicolo si estende sulla sommità dei processi spinosi della regione del garrese, scivolando su questi grazie alla presenza di borse sierose. Cranialmente, si continua nella porzione laminare, che termina sulla protuberanza occipitale esterna e si rapporta con tutti i processi spinosi cervicali.

L'articolazione atlanto-epistrofica è di tipo sinoviale. Grazie alla presenza del dente dell'epistrofeo, tale articolazione garantisce i movimenti di rotazione della testa.

Non è corretto parlare invece di articolazioni sacrali in quanto le vertebre di questa regione sono precocemente saldate tra loro formando così una sinostosi.

1.1.3 BASE MUSCOLARE

I muscoli della colonna vertebrale sono sviluppati nel cavallo: a livello cervicale hanno funzione di bilanciere durante il movimento, mentre a livello toraco-lombo-sacrale permettono la trasmissione della forza propulsiva generata dai movimenti degli arti pelvici; inoltre, supportano il peso del cavaliere sulla sella.

Lungo la colonna vertebrale possiamo distinguere due catene muscolari: la catena dei muscoli estensori dorsale, e la catena dei muscoli flessori ventrale.

I muscoli flessori del collo sono i muscoli brachiocefalico, sternocefalico, scaleni e *longus capitis*, mentre i muscoli estensori sono i muscoli trapezio, omotrasversario, romboide, serrato cervicale, splenio, *semispinalis capitis*, *longissimus capitis* e *atlantis* e i muscoli spinali cervicali, oltre ai muscoli iuxtavertebrali del collo.

I muscoli flessori del tratto toracolombare sono il muscolo retto addominale, trasverso del torace, obliquo interno e obliquo esterno, mentre i muscoli estensori sono il muscolo ileocostale, *longissimus dorsi*, spinale del torace e multifidi. Questi muscoli permettono il movimento in avanti del cavallo [4].

I muscoli del dorso prendono inserzione attraverso aponeurosi larghe e sottili, frequentemente fuse, rendendo difficoltosa ed approssimativa la loro delimitazione. Tali muscoli sono: trapezio, grande dorsale, romboide, dentati dorsali e serrato ventrale.

Il muscolo serrato ventrale è tra i principali muscoli che compongono l'articolazione così detta a sinsarcosi della scapola; inoltre, insieme ai muscoli estrinseci della scapola, è responsabile del supporto del tronco e del movimento degli arti toracici su tutti i piani [5], [6], oltre a dare un importante contributo alle proprietà elastiche degli arti anteriori [7].

Infine, l'inserzione dei muscoli della regione lombo-iliaca, il piccolo ed il grande psoas, avviene sulle ultime vertebre toraciche.

1.1.1 MIOFASCIA

La miofascia è un tessuto di fibre collagene che garantisce la trasmissione delle forze a livello del corpo [8], supporta il sistema muscoloscheletrico, gioca un importante ruolo nell'equilibrio e nei movimenti dell'intero corpo [9]; lo studio di questo tessuto ha permesso di comprendere al meglio i diversi pattern della locomozione, superando la concezione dei muscoli visti come un mero sistema di agonisti e antagonisti.

La miofascia è stata primariamente studiata in campo umano: nel 2009 Thomas Myers descrive i suoi risultati nel libro "*Anatomy Trains*". Partendo da questo studio, Elbrønd e Schultz (2017) sono riusciti a identificare sette linee miofasciali superficiali nel cavallo che interconnettono tutte le strutture dell'apparato locomotore. Questo ha permesso un approccio olistico alla biomeccanica e alla cinematica, invece che considerare l'azione dei singoli organi e tessuti coinvolti nella locomozione [10]. Grazie a questo e a successivi studi è stato reso possibile capire come un problema biomeccanico in una regione dell'organismo potesse facilmente intaccare anche altre strutture.

1.1.2 VASCOLARIZZAZIONE

Il nutrimento dei muscoli del collo è garantito per lo più dai rami delle arterie carotidi comuni, in minor parte dalle arterie vertebrali e, per le porzioni più caudali, da diversi rami che originano dalle arterie succlavie.

Le due arterie carotidi comuni sono accolte, insieme alla vena giugulare, al nervo vago, al nervo laringeo ricorrente e ai linfonodi cervicali profondi, nella doccia giugulare, delimitata dal muscolo sternocefalico ventralmente e dal muscolo brachiocefalico dorsalmente. I rami muscolari sono numerosi, innominati e sono destinati a tutti i muscoli della regione cervicale ventrale [11].

L'arteria vertebrale è un ramo collaterale dell'arteria succlavia. Si impegna nei fori trasversari delle vertebre cervicali vascolarizzando i tratti corrispondenti del midollo spinale; i rami muscolari, anche in questo caso innominati, originano dorsalmente, ventralmente o lateralmente, e sono più esili, ai processi trasversi delle vertebre cervicali. I rami ventrali sono quelli più robusti e sono destinati ai muscoli scaleni, al muscolo lungo del collo e al muscolo lungo della testa.

Il drenaggio sanguigno dei muscoli della regione cervicale è garantito da rami che si rendono alla vena giugulare esterna.

La vascolarizzazione dei muscoli della regione toracolombare è garantita da divisioni delle arterie intercostali dorsali e lombari [12], come anche da rami dell'arteria toracodorsale, branca dell'arteria sottoscapolare.

1.1.3 INNERVAZIONE

Il midollo spinale costituisce la porzione del sistema nervoso centrale allocata all'interno del canale vertebrale e da cui originano i nervi spinali mediante due radici, una dorsale e una ventrale.

Nel cavallo si possono identificare 8 paia di nervi spinali cervicali, 18 paia di nervi spinali toracici, 6 paia di nervi spinali lombari, 5 paia di nervi spinali sacrali e 5 o 6 paia di nervi spinali coccigei, per un totale di 42 o 43 paia di nervi spinali. Il midollo termina precocemente rispetto alla colonna vertebrale con il cono terminale, che rimane unito alle prime vertebre sacrali grazie al *filum terminale*. Attorno al *filum terminale* si trovano i rami dorsali e ventrali degli ultimi nervi sacrali e coccigei e la struttura che si va a formare, ricordando la coda di un cavallo, prende il nome di *cauda equina*.

L'innervazione dei muscoli nel tratto cervicale è garantita dal terzo all'ottavo paio di nervi cervicali: questi escono dal foro intertrasversario dividendosi in due rami, uno dorsale e uno ventrale. I rami dorsali forniscono l'innervazione motoria e propriocettiva ai muscoli della regione. I rami ventrali emettono, fin dalla loro origine, dei rami muscolari profondi, oltre che dei rami cutanei più superficiali.

Le branche cutanee di C5 e C6 confluiscono sul margine dorsale del muscolo cleidocefalico in un grosso tronco, si portano superficialmente ed emettono un ventaglio di nervi sopraclavicolari [13].

L'innervazione del tratto toraco-lombare è fornita per lo più dalle branche laterali dei nervi intercostali, dai rami dorsali dei nervi toracici e lombari, oltre che da rami diretti dal plesso brachiale quale il nervo toracico dorsale.

I nervi sacrali e coccigei prendono origine dai segmenti omonimi della colonna vertebrale. Escono molto obliqui dal foro intervertebrale e costituiscono, attorno al *filum terminale*, la *cauda equina*, accolta nel canale vertebrale sacrale [13].

1.2 BIOMECCANICA

1.2.1 BIOMECCANICA DELLA COLONNA VERTEBRALE

Nel 1798 Barthez introduce il concetto del “ponte ad arco con corda”, ma soltanto nel 1946 il biologo Slijper elabora una teoria, valida ancora oggi, per cui la colonna vertebrale non viene più vista come un elemento fisso e rigido ma è dotata di un certo grado di mobilità, diverso a seconda della regione considerata [14]. Secondo la teoria del “ponte ad arco con corda”, vi è un equilibrio dinamico tra la tensione del ponte ad arco, rappresentato dalla colonna vertebrale, e la corda, rappresentata dallo sterno e dai muscoli addominali. La contrazione della muscolatura addominale, la retrazione degli arti anteriori e la protrazione degli arti posteriori tende l’arco, per cui la colonna vertebrale viene flessa in senso dorsoventrale; la colonna vertebrale invece sarà distesa a seguito della protrazione degli arti anteriori e della retrazione degli arti posteriori [15].

Diversi sono i fattori che concorrono a determinare l’ampiezza dei movimenti dei singoli tratti della colonna vertebrale, in particolare la contrazione dei muscoli, la funzionalità del legamento nucale, i movimenti degli arti e la forza di gravità generata da importanti masse come il cavaliere, i visceri intestinali e l’utero gravido [3], [15].

La regione cervicale della colonna vertebrale è quella che presenta maggiore mobilità e influenza notevolmente il pattern locomotorio della colonna vertebrale, grazie anche al legamento nucale che si continua come legamento sopraspinoso [16].

Durante i movimenti di flessione dorsoventrale, la fossa articolare della vertebra craniale scivola ventralmente rispetto alla testa della vertebra caudale; la capsula articolare viene posta sotto tensione e il legamento nucale si distende [17]. Durante i movimenti di estensione, la meccanica è al contrario e si osserva una maggiore sovrapposizione delle faccette articolari dorsali [17].

Il lavoro del cavallo con il collo in distensione permette, soprattutto durante le prime fasi dell’addestramento, di tonificare i muscoli del core e i muscoli della catena degli estensori – muscoli scaleni, lunghissimo del collo e sternocefalico -, oltre a far avanzare i posteriori sotto la massa, garantendo una miglior elasticità del corpo e una maggiore flessione del tratto toracico. Questo è permesso dall’azione del legamento nucale che, nel cavallo giovane o non addestrato, ha quasi una funzione muscolare più che di legamento – infatti è ricco di fibre elastiche che gli permettono di distendersi.

Il movimento di flessione laterale si evidenzia soprattutto a livello cervicale e coccigeo – che sono i tratti dotati di maggiore mobilità - e, seppur in minima parte, anche tra T9 e T14 [6], appena caudalmente a dove viene posizionata la sella, ed è comunque limitato dalla presenza delle coste. Nel 1999 Denoix dimostra in vitro una mobilità laterale anche tra T18 e L4; nello stesso tratto i movimenti di rotazione trasversale sono assenti [18]. Più recentemente è stato osservato, come anche ipotizzato da Denoix stesso [19] sull'animale in vivo, che la flessione laterale della colonna vertebrale a livello del tratto toraco-lombare è minima ed esclusiva del passo, mentre è assente nelle altre andature [20].

Il movimento di flessione dorsoventrale è più ampio tra L6 e S1 – in media si aggira intorno ai 12,3° ma può raggiungere anche i 20° nei cavalli allenati [18] - e tra T14 e T18. La colonna vertebrale risulta essere invece più rigida tra T2 e T9, dove viene posizionata la sella, e tra L2 e L5.

La flessione del tratto toracico è permessa, soprattutto nel cavallo giovane, dalla trazione esercitata dal legamento nucale durante l'allungamento del collo [15] che, in questa fase del lavoro, aiuta notevolmente il lavoro muscolare. In questo modo, i processi spinosi delle vertebre toraciche si verticalizzano e il muscolo erettore spinale si distende [18]. In questa fase, il tratto lombare rimane rigido [17] e impone un lavoro maggiore dei muscoli del cinto pelvico e della catena dei flessori.

Il movimento di estensione dorsoventrale risulta essere più ridotto: varia dai 4° ai 14° tra L6 e S1, mentre tra T14 e T18 si aggira tra 0,3° e 1,8° [18].

I movimenti di rotazione assiale sono quasi assenti a livello di colonna vertebrale; fanno eccezione l'articolazione atlanto-occipitale e l'articolazione atlanto-epistrofica dove il range di movimento è piuttosto ampio; un ridotto movimento di lateroflessione e rotazione assiale è consentito anche tra T9 e T14 e lo si osserva soprattutto durante il passo e il galoppo [20].

Cornille ha dimostrato che i movimenti di rotazione assiale della colonna vertebrale sono sempre associati ai movimenti di flessione laterale della stessa [5] e hanno un ruolo importante nella meccanica del movimento. Infatti, se associati in modo scorretto – con l'anca interna rispetto alla mano dell'andatura che ha un movimento opposto rispetto al tratto toraco-lombare – possono portare a contrazioni muscolari e asimmetrie con conseguenti cali di performance e zoppie.

I movimenti della colonna non sono tanto consentiti dalle articolazioni tra le vertebre, che invece li limitano [4], ma dai muscoli profondi, come i muscoli del core e il muscolo *longissimus dorsi*, e dai movimenti di abduzione e di adduzione degli arti toracici e pelvici.

I movimenti della colonna vertebrale sono specifici e funzionali per ogni andatura [20]: questo è garantito dal fatto che diversi muscoli – brachiocefalico, trapezio, omotrasversario, romboide, *latissimus dorsi* e serrato ventrale per l'arto toracico; trasverso dell'addome, bicipite femorale, semimebranoso, semitendinoso e gluteo medio per l'arto pelvico – permettono una continuità anatomica nella trasmissione delle forze, dall'arto pelvico, alla colonna vertebrale, all'arto toracico.

1.2.2 BIOMECCANICA DEL PASSO

Il passo è un'andatura a quattro tempi, basculata [21], simmetrica, la cui sequenza è: posteriore destro, anteriore destro, posteriore sinistro, anteriore sinistro. Lo zoccolo posteriore che avanza copre l'impronta dello zoccolo anteriore. È caratterizzata dalla sovrapposizione tra le fasi di appoggio dei diversi arti e dall'essenza di una fase di sospensione in quanto almeno un arto si trova sempre appoggiato al suolo [15].

Il pattern dei movimenti della colonna vertebrale che si va a delineare è definito sinusoidale [20] ed è influenzato principalmente dallo spostamento verticale di testa, garrese e tubercolo sacrale [15], [21], [22]; inoltre, rispetto ad altre andature, presenta un range maggiore di movimento di flessione laterale, soprattutto nel tratto cervicale e quello toracico [20], [23].

La flessione dorsoventrale del tratto cervicale della colonna vertebrale avviene grazie all'azione sinergica dei muscoli serrato e brachiocefalico [15]: in questo modo è permessa anche la protrazione dell'arto toracico; inoltre, la contrazione del muscolo splenio permette di elevare testa e collo [20]. Il muscolo sternocefalico ha un'attività reciproca con il muscolo splenio, ma agisce prima che la fase di appoggio inizi e termina la sua azione a metà della fase di appoggio [15].

La protrazione dell'arto pelvico è permessa dall'azione del muscolo *longissimus dorsi* [24].

1.2.3 BIOMECCANICA DEL TROTTO

Il trotto è un'andatura a due tempi, non basculata, saltata, simmetrica, in cui il cavallo procede per bipedi diagonali. La sequenza è: posteriore destro e anteriore sinistro, sospensione, posteriore sinistro e anteriore destro, sospensione.

In questo caso i muscoli della colonna vertebrale hanno come principale funzione quella di stabilizzare la colonna più che di muoverla. I muscoli serrato e sternocefalico limitano l'estensione del collo contraendosi prima della fase di appoggio [20]; i muscoli brachiocefalico e *longissimus dorsi* permettono la protrazione, rispettivamente, dell'arto toracico e dell'arto pelvico. Inoltre, il muscolo *longissimus dorsi* limita considerevolmente la flessione laterale della colonna vertebrale [25].

Infine, il muscolo splenio si contrae prima che inizi la fase di appoggio per limitare l'abbassamento del collo agendo come una forza antigravitazionale [15], [20].

Durante la fase di appoggio tra le due diagonali del trotto, l'addome viene portato ventralmente e di conseguenza la colonna vertebrale, nel suo tratto toracolombare, si estende; al contrario, durante la fase di sospensione tra le due diagonali di trotto, la massa addominale viene sospinta dorsalmente e la colonna vertebrale toracolombare si flette [26].

1.2.4 BIOMECCANICA DEL PICCOLO GALOPPO O CANTER

Il canter o piccolo galoppo è un'andatura a tre tempi, saltata, asimmetrica, la cui sequenza delle battute, per il piccolo galoppo sinistro, è: posteriore destro, posteriore sinistro e anteriore destro, anteriore sinistro, sospensione.

I movimenti della colonna al piccolo galoppo sono maggiori rispetto alle altre andature e sono da attribuire soprattutto alla flessione-estensione dorsoventrale del tratto lombosacrale – fondamentale per l'ingaggio dei posteriori – e alla flessione-estensione dorsoventrale del tratto toracico [26], che permette la trasmissione dell'impulso generato dagli arti pelvici.

Durante la fase di sospensione, si osserva un'estensione del collo e conseguente flessione del tratto toracolombare: grazie a ciò viene reso possibile l'ingaggio degli arti posteriori. Il muscolo ileopsoas e i muscoli della catena dei flessori si contraggono, i posteriori avanzano portandosi sotto la massa e la colonna vertebrale si flette ulteriormente [20].

Durante la fase di propulsione avviene il movimento inverso: il collo si flette, sia per la contrazione attiva dei muscoli cervicali ventrali - muscoli brachiocefalico, sternocefalico, serrato ventrale e omotrasversario – sia per la forza passiva data dalla testa che si abbassa, movimento comunque limitato dall'azione del muscolo splenio [15]. In questo modo, il tratto toraco-lombare della colonna vertebrale si estende in modo da svolgere appieno la sua funzione di ponte tra gli arti pelvici e quelli toracici e portare così il corpo in avanti.

A tutte le andature il muscolo retto ventrale e trasverso dell'addome si contraggono per stabilizzare il core e quindi anche la colonna vertebrale [20]. Soltanto nel canter, il muscolo retto addominale ha anche l'azione di iniziare la flessione in senso dorsoventrale del tratto toracico-lombare durante la fase di appoggio dell'arto anteriore interno [15].

1.3 TECNICHE DI DIAGNOSTICA PER IMMAGINI

1.3.1 ESAME RADIOGRAFICO

L'esame radiografico sfrutta l'emissione dei raggi X, radiazioni elettromagnetiche che vengono prodotti da interazioni tra gli elettroni [27]. L'energia che viene liberata viene rilevata da un sistema detettore che ne misura la variazione dopo che questa ha attraversato uno spessore, ovvero l'area del corpo da indagare.

In radiologia, la produzione dei raggi X avviene all'interno del tubo radiogeno, dotato di un anodo, carico positivamente, e un catodo, carico negativamente. Il catodo genera gli elettroni che verranno poi diretti, grazie all'applicazione di una differenza di potenziale (kV), verso l'anodo, che rappresenta il bersaglio. Il bersaglio è realizzato in tungsteno ed è l'area che viene colpita dal fascio di elettroni.

Il numero di elettroni prodotto dal catodo è regolato dal milliamperaggio (mA), quindi la misura che indica l'intensità della corrente, ovvero il numero di fotoni prodotti, e dal kilovoltaggio (kV) che indica la differenza di potenziale tra catodo e anodo. Questi parametri, insieme al tempo di esposizione, vengono regolati dall'operatore. In linea generale, si definiscono due tecniche principali: ad alto kilovoltaggio e basso milliamperaggio per indagare i tessuti molli in quanto si ha un'ampia scala di grigi; a basso kilovoltaggio e alto milliamperaggio per indagare i tessuti duri in quanto ho un elevato contrasto tra gli organi.

Per indagare i diversi tratti della colonna vertebrale del cavallo adulto, soprattutto per quanto concerne il tratto toracico, lombare e sacrale, è necessario impostare l'apparecchio tra i sessanta e i centoventi kilovolt e cento e i duecentocinquanta milliampere in relazione al tratto da indagare e alle dimensioni dell'animale [28], [29]. Per questo motivo, è sempre consigliato l'uso di cassette radiografiche con un sistema di screen di terre rare, l'utilizzo della griglia e una buona collimazione dell'immagine per migliorare la qualità della stessa.

Nella pratica ippiatrica, l'esame radiografico della colonna vertebrale è indicato per valutare anomalie del posizionamento di testa e collo, rigidità e dolori della colonna vertebrale, traumi del collo, atassia e, occasionalmente, zoppia degli arti anteriori [29], oltre a essere usato come esame complementare alla scintigrafia nucleare. L'esame radiografico può essere eseguito con il cavallo in *standing*, generalmente sedato per ridurre al minimo i movimenti, o in anestesia

generale; quest'ultima modalità viene utilizzata soprattutto per indagare l'ultimo tratto lombare (L3-L6) e il sacro, oltre che per realizzare delle ventrodorsali [30].

1.3.2 ESAME ECOGRAFICO

L'esame ecografico sfrutta l'emissione di ultrasuoni sottoforma di onda pulsata. L'onda viene riflessa, rifratta e attenuata in base alle caratteristiche dei tessuti che attraversa; quindi, torna indietro deformando il cristallo che ha emesso l'onda stessa. La deformazione viene letta da un computer che genera un'immagine.

Gli ultrasuoni sono caratterizzati da tre grandezze: ampiezza, frequenza e intensità. L'intensità è la quantità di energia che viene trasportata dall'onda, l'ampiezza indica la massima variazione che può avere l'onda, mentre la frequenza è il numero di oscillazioni nell'unità di tempo; ampiezza e frequenza sono inversamente proporzionali per cui le alte frequenze sono indicate per indagare i tessuti più superficiali.

Vengono utilizzate sonde convex o lineari con frequenze tra 2,5 e 7,5 MHz, scelte in ragione del tessuto da indagare. Per indagare la regione sacroiliaca può essere usato anche un approccio per via transrettale; in questo caso si possono usare sia sonde di tipo rettale che di tipo microconvex.

L'esame ecografico viene utilizzato principalmente per indagare i tessuti più superficiali, come legamenti e muscoli, oltre che le faccette articolari delle vertebre – l'esame ecografico è molto sensibile in caso di osteoartrite e fratture da stress presenti a questo livello [3] - e l'apice dei processi spinosi. Inoltre, viene anche utilizzata per l'esecuzione di analgesie diagnostiche e terapeutiche.

1.3.3 RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE

La risonanza magnetica nucleare o RMN è una tecnica di diagnostica per immagini di secondo livello che sfrutta la capacità di un magnete di emettere dei campi magnetici che modificano l'orientamento degli atomi di idrogeno delle cellule della regione da indagare; una volta che il campo magnetico viene tolto, gli atomi tornano nella loro posizione iniziale, liberando energia che viene rilevata e trasformata in un segnale elettrico al fine di poter tradurre l'energia iniziale in un'immagine tridimensionale [31].

Viene utilizzata per lo più per indagare i tessuti molli e il midollo osseo, mentre i tessuti duri come ossa e denti non vengono ben dettagliatamente visualizzati con questa tecnica diagnostica.

A differenza delle altre tecniche diagnostiche, non trova alcuna applicazione nell'indagine della colonna vertebrale a causa delle dimensioni dell'animale.

1.3.4 TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA

La tomografia computerizzata (TC) è una tecnica di diagnostica per immagini di secondo livello che sfrutta l'emissione di raggi X per ottenere scansioni di una porzione del corpo anatomico da ogni angolazione.

Le TC di ultima generazione sfruttano un sistema di detettori multistrato fissi attorno al *gantry*, riducendo così l'esposizione ai raggi X per l'animale. I dati raccolti vengono digitalizzati e trasferiti su un computer dove sarà possibile visualizzare l'immagine tridimensionale della porzione di corpo scansionata.

La presente tecnica diagnostica è applicabile esclusivamente per indagare la regione cervicale. Rovel [32] ha dimostrato come la TC sia più sensibile dell'esame radiografico nell'identificazione delle lesioni dei processi articolari cervicali, come osteolisi, degenerazioni, lesioni simil cistiche, neoformazioni ossee.

1.3.5 SCINTIGRAFIA NUCLEARE

La scintigrafia nucleare è una metodica di diagnostica nucleare che sfrutta l'emissione di raggi γ da parte di un radioisotopo. Le radiazioni vengono poi elaborate da una γ -camera e visualizzate su un monitor. Il radioisotopo è legato a una specifica molecola farmacologica e questo permette di mettere in evidenza la funzionalità degli organi e tessuti. Il tipo di molecola scelta influirà la capacità del radiofarmaco di essere più affine per alcuni tessuti rispetto ad altri.

Il radiofarmaco più utilizzato per lo studio dell'apparato muscolo-scheletrico è il ^{99m}Tc -MDP (metilen-difosfonato coniugato con Tecnezio 99m) [33]: il radiofarmaco viene somministrato per via endovenosa al paziente. Il radiofarmaco raggiunge i segmenti ossei dove l'attività osteoblastica-osteoclastica è maggiore, indicativamente dopo centoventi-centottanta minuti dalla somministrazione: le immagini digitali raccolte dimostreranno il maggiore metabolismo osseo come un punto caldo [3].

Nella pratica ippiatrica ortopedica la scintigrafia viene utilizzata come tecnica per indagare aree difficilmente raggiungibili con l'esame radiografico, come il bacino [34], per indagare fratture da stress [35], per valutare stadi acuti o subclinici di zoppia, per conferme di lesioni visualizzate in radiologia e per monitorare la risposta terapeutica [33].

La scintigrafia ossea è una metodica ad elevata sensibilità in quanto il radiofarmaco viene maggiormente assorbito nelle così dette zone calde, aree dove il metabolismo è aumentato (iperemia, infiammazione, neovascolarizzazione) o poco o per nulla assorbito in aree dove la vascolarizzazione è ridotta o assente (osteomielite settica, sequestro osseo [3]), sebbene poco specifica in quanto non è sempre possibile individuare la causa di un alterato assorbimento del radiofarmaco. Per questo motivo, l'esame radiografico e l'esame scintigrafico sono spesso eseguiti insieme [33]: la scintigrafia rappresenta un test di *screening* per individuare la sede della lesione, mentre l'esame radiologico permette di evidenziare quali sono i riscontri patologici in una determinata sede.

Accompagnata dalla radiologia e dall'ecografia, ultimamente viene usata per indagare i processi spinosi, il legamento sopraspinoso e i processi articolari [35], mentre è poco specifica per lesioni del tratto cervicale.

1.3.6 TERMOGRAFIA

La termografia è un esame diagnostico non invasivo che consente di misurare il calore che viene liberato dall'organismo sottoforma di radiazioni elettromagnetiche a infrarossi [20].

Attualmente viene utilizzata una tecnologia che non prevede alcun contatto tra i rilevatori e l'organismo [36]. Tale sistema può essere "a raffreddamento" in cui il rilevatore è accoppiato a un catodo che rileva l'intensità del segnale, che viene poi convertito in un segnale elettrico visibile come immagine in bianco e nero sul tubo a raggi catodici. L'intensità della radiazione è direttamente proporzionale alla scala dei grigi. Attraverso l'uso di microchip, l'immagine in bianco e nero può essere trasformata in un'immagine a colori dell'immagine termica (termogramma). L'altro sistema, portatile, è definito a "non raffreddamento" in cui la radiazione a infrarossi viene direttamente focalizzata e rilevata da un sistema di rilevatori [3].

La cute e i tessuti superficiali presentano una temperatura più bassa rispetto al *core*, circa 5°C [3], e risulta essere principalmente influenzata dalla circolazione locale e, secondariamente, dal metabolismo tissutale. In caso di danno, la temperatura, e quindi il pattern termografico, sarà alterato principalmente per una variazione della perfusione ematica [3]: i punti caldi sono associati a stati infiammatori e traumi, mentre i punti freddi si rilevano a seguito di una scarsa perfusione tissutale per la presenza di trombi, shunt, infarti o alterazioni nervose [37].

Diversi studi ([3], [16], [37]) hanno dimostrato come la termografia sia uno strumento utile solo per identificare alcuni tipi di lesioni (*kissing spine*, lesioni del legamento spinoso dorsale, dolori muscolari, disfunzione sacroiliaca) e sia utile per lo più come strumento di *screening* da accostare all'esame ultrasonografico in quanto raramente si possono identificare dei pattern termografici specifici.

1.4 PATOLOGIE OSTEOARTICOLARI DEL RACHIDE DEL CAVALLO SPORTIVO

1.4.1 FRATTURE CERVICALI

Le fratture delle vertebre cervicali possono avvenire a seguito di un evento acuto; infatti, sono più frequentemente riportate in cavalli da corsa che cadono ad elevate velocità mentre il collo è flesso eccessivamente in senso dorsoventrale o laterale [38], oppure possono essere secondarie a lesioni preesistenti [29].

Si manifestano con segni clinici aspecifici, quali dolore al collo, rigidità, zoppia generalmente degli arti anteriori e segni neurologici più o meno gravi in relazione al grado di compressione del midollo spinale, che spesso viene coinvolto in questo tipo di fratture [38].

Caratteristico delle fratture cervicali è l'effetto domino di instabilità delle vertebre adiacenti che può comportare a recidive di frattura, lussazioni concomitanti e danni neurologici [39], specialmente nel cavallo giovane in quanto frequentemente il sito di frattura danneggia le fisi di accrescimento.

La diagnosi viene effettuata attraverso la radiografia e la mielografia, soprattutto quando si sospettano siti di frattura multipli [39]. La tomografia assiale rappresenta il metodo diagnostico elettivo in quanto estremamente sensibile anche per la valutazione del danno neurologico, ma non è sempre una metodica applicabile.

La prognosi dipende dal sito di frattura, dal grado di dislocazione dei monconi ossei e dallo sviluppo del callo osseo.

1.4.2 FRATTURE DEL TRATTO TORACOLOMBARE

Le fratture della colonna vertebrale nel suo tratto toracolombare nel cavallo sportivo sono generalmente delle fratture da stress che causano diverse microfratture in siti specifici legati all'attività sportiva del soggetto stesso [3], [40] oppure sono secondarie ad anomalie preesistenti [40]. Rari sono i casi di fratture causate da un evento acuto [29].

Le fratture possono interessare le faccette articolari, il corpo vertebrale o la lamina. Il cavallo si presenta sempre con forte dolore alla schiena durante la manipolazione e si presenta riluttante a flettere la colonna vertebrale sia in senso laterale che dorsoventrale. Nel caso di fratture del corpo vertebrale o della lamina possono associarsi segni neurologici legati alla compressione del midollo; tali segni clinici sono aspecifici e includono la posizione a cane seduto, paraplegia/tetraplegia e perdita del dolore profondo [3]. La diagnosi si basa, oltre che su una

visita clinica con associato, se necessario, un esame neurologico, anche una scintigrafia nucleare in quanto la localizzazione del sito di frattura risulta complessa. Dopo la scintigrafia, può essere effettuato un esame radiografico.

Le fratture da stress sono caratterizzate radiologicamente da una linea di frattura incompleta, un callo periostale e/o endostale, una proliferazione periostale focale [41], apparente accorciamento del corpo vertebrale, cambiamento della forma dei processi articolari e possibile dislocazione della vertebra [29].

Il trattamento prevede la somministrazione di corticosteroidi anche a livello locale e la prognosi è generalmente fausta per le fratture delle faccette articolari; la prognosi invece è riservata o infausta per le fratture del corpo e della lamina.

1.4.3 DISFUNZIONE SACRO-ILIACA

Con il termine di disfunzione sacro-iliaca si intendono diverse condizioni patologiche, che possono eventualmente anche co-esistere tra loro, che hanno una stessa manifestazione clinica [20]. Tali condizioni sono: desmitte dei legamenti, più spesso rilevata a livello del legamento sacroiliaco dorsale, lussazione o sublussazione dell'articolazione sacroiliaca e artrosi degenerativa dell'articolazione sacro-iliaca.

La sintomatologia è aspecifica e legata principalmente ad alterazioni dell'andatura e calo delle performance [42], evidenziata soprattutto su esercizi che richiedono l'ingaggio del posteriore, in quanto viene spezzata la trasmissione delle forze garantita dall'articolazione stessa: il cavallo presenta una debolezza del tratto lombare, con o senza zoppia del posteriore, che può essere monolaterale o bilaterale, maggiormente evidente al passo, al galoppo, nelle fasi di avvicinamento e stacco del salto, quando il cavallo procede in discesa e in circolo.

La disfunzione sacroiliaca è una condizione frequentemente riportata *post mortem*, ma difficilmente diagnosticata in vivo [3]. Viene riportata più frequentemente nei cavalli da salto ad ostacoli e da dressage, specialmente in quelli di grossa taglia [3], oltre che nei cavalli da corsa [43].

La disfunzione sacro-iliaca viene definita come una condizione di ipermobilità patologica cronica [42] dove viene a mancare la stabilità data dai muscoli, in particolare gluteo medio e superficiale, semimembranoso, semitendinoso e psoas. Tale ipermobilità cronica dell'articolazione determina un rimodellamento osseo, generalmente bilaterale, e un allargamento delle superfici articolari

nella porzione caudomediale [43]. Negli studi effettuati *post mortem* ([43], [44]) vengono costantemente rilevate degenerazione cartilaginea, presenza di osteofiti, erosioni intrarticolari ed esposizione della corticale. Seppur raramente, può essere legata anche a un trauma acuto [20].

Il *gold standard* per la diagnosi è la scintigrafia nucleare per cui vengono comunque richieste almeno due proiezioni, dorsoventrale e dorsolaterale obliqua a trenta gradi [45]. È da tenere in considerazione che l'attenuazione data dai tessuti molli (dal 71% all'82%), la distanza tra la telecamera e la regione da indagare possono comunque compromettere l'interpretazione dell'*uptake* farmaceutico [43], [45].

Una volta effettuato l'esame scintigrafico è possibile ricavare informazioni grazie a un'ecografia transrettale e transaddominale, ma rimane comunque una metodica poco utilizzata in quanto mi permette di visualizzare esclusivamente un eventuale rimodellamento del margine ventrale dell'articolazione sacroiliaca. Può essere utile effettuare l'ecodoppler per valutare l'attività vascolare [20].

L'utilizzo della radiografia non è possibile in quanto l'articolazione è troppo profonda e i tessuti molli e visceri della regione spesso causano degli artefatti; inoltre, i segni radiografici sono aspecifici [3].

Sono stati identificati diversi pattern attraverso l'uso della termografia [3]: quello più comune è la presenza di una zona fredda attorno alla tuberosità sacrale; più raramente si osserva un punto caldo sempre nella stessa regione.

La prognosi è scarsa per il ritorno all'attività sportiva: il trattamento è ancora empirico e conservativo e vi è comunque la persistenza di un basso grado di zoppia che preclude il ritorno all'attività sportiva ([3], [43]).

Nonostante la letteratura sia ancora scarna e la diagnosi sia complessa, è importante inserire la disfunzione sacroiliaca nella lista di diagnosi differenziali in corso di riduzione della performance, ridotto ingaggio dei posteriori, difficoltà nei movimenti laterali, riluttanza a sollevare gli arti posteriori.

1.4.4 SINDROME DA ACCAVALLAMENTO DEI PROCESSI SPINOSI DELLE VERTEBRE TORACO-LOMBARI

La sindrome da accavallamento dei processi spinosi delle vertebre toraco-lombari (ORDSPs dall'inglese *overriding dorsal spinous processes*) o *kissing spine* è una patologia piuttosto frequente nel cavallo atleta, in particolar modo nei cavalli da corsa [46], salto ad ostacoli e dressage [3]. Questo potrebbe essere legato al fatto che il cavallo sportivo inizia l'allenamento a un'età che spesso non coincide con il termine dello sviluppo muscolo-scheletrico dell'organismo e i muscoli del rachide non sono ancora abbastanza prestanti per sostenere lo sforzo fisico, per cui la risposta dell'organismo è quella di adattare ossa e articolazioni a sostenere il minor carico possibile. Tuttavia, Turner afferma che i segni radiografici sono rilevabili nel 39% dei cavalli sottoposti a esame radiografico del rachide, ma non tutti i cavalli manifestano clinicamente la malattia [47], [48], [49].

È generalmente osservata a livello delle vertebre toraciche [50], anche se nella pratica clinica viene riportata anche a livello di vertebre lombari.

La patogenesi dell'ORDSPs non è ancora ben chiarita e sono state proposte diverse teorie in merito; la più accreditata è legata alla conformazione del cavallo. È stato rilevato che cavalli con la schiena più corta manifestino più frequentemente la patologia in quanto i processi spinosi hanno uno spazio minore per svilupparsi e distanziarsi [3]. Questa teoria spiega perché l'ORDSPs è rilevata frequentemente nel cavallo da salto, in cui una schiena più corta viene favorita alla selezione [3].

Un'altra teoria prevede che l'eccessiva dorsoflessione in alcune discipline sportive, come il salto ad ostacoli e il dressage praticati ad elevati livelli, incida positivamente sullo sviluppo dell'ORDSPs; tuttavia, gli studi di biomeccanica di Denoix [18] e Jeffcott [51] hanno dimostrato come il tratto maggiormente interessato dall'ORDSPs (T13-T18) sia soggetto a un livello minimo di movimento sui tre assi, per cui quest'ultima teoria non viene giustificata. Un'ultima teoria vede nel peso del cavaliere e della sella un fattore predisponente allo sviluppo della patologia, anche se comunque è stata riscontrata anche in cavalli sportivi di *driving* e corse al trotto.

Si possono descrivere quattro diversi gradi di sviluppo della patologia [52]; questa può evolvere e cronicizzare fino alla creazione di una falsa articolazione per cui l'erosione delle superfici ossee porta il processo spinoso della vertebra caudale ad accavallarsi al processo spinoso della vertebra

più craniale [3]. Clinicamente, l'evoluzione a questo stadio terminale porta ad un alleviamento del dolore.

Seppur le lesioni ossee vengano riportate frequentemente negli esami *post mortem* [53] e negli studi radiologici *in vivo*, per diagnosticare l'ORDSPs è necessario che l'alterazione anatomica sia la causa del dolore [29].

La diagnosi di alterazione anatomica, dopo aver eseguito un'approfondita visita clinica, può essere eseguita attraverso quattro metodiche: la termografia, l'esame radiologico, la scintigrafia nucleare e l'esame ecografico.

La termografia è un esame non invasivo che può essere effettuato come test di *screening* per evidenziare eventuali aree di dolore alla schiena [54]. Nello studio di Turner [47] è emerso che i pattern termografici sono poco specifici (70%) ma altamente sensibili (99%), a conferma del fatto che l'ORDSPs è spesso una condizione subclinica.

L'esame radiologico, *gold standard* per la diagnosi di ORDSPs, permette di evidenziare con estremo dettaglio i processi spinosi delle vertebre toraco-lombari eseguendo delle proiezioni laterali del tratto toraco-lombare della colonna vertebrale [55]; nei casi di alterazioni riconducibili a ORDSPs si possono osservare sclerosi dei margini, reazione periostale, rimodellamento seguito da neoformazione ossea, sclerosi, aumento della radiopacità e riduzione dello spazio presente tra un processo spinoso e il più caudale - normalmente questo spazio deve essere di almeno 5-7 mm [3], [29]. Nei casi cronici accade che il processo spinoso della vertebra più caudale sovrasti quello della vertebra più craniale: la presenza di questo riscontro radiografico non è sempre causa di dolore e può non aver alcun significato clinico [29]. Di maggior significato clinico e frequente causa di riduzione della performance nel cavallo sportivo è la presenza di sclerosi e neoformazione ossea [29]. In base ai riscontri radiografici è possibile anche stadiare la gravità della patologia secondo il modello proposto da S. J. Dyson e J. M. Denoix nel 2011 [48].

La scintigrafia nucleare è una metodica diagnostica di screening in quanto mette in rilievo aree di rimodellamento osseo evidenziate con un maggiore *uptake* del radiofarmaco senza però dare alcuna indicazione sulla patologia che ha causato l'aumento dell'attività cellulare; inoltre, permette di avere una visione completa dell'attività cellulare dell'organismo ed evidenziare altre eventuali aree di rimodellamento che potrebbero essere causa di dolore che potrebbero incidere sul trattamento.

Infine, l'esame ecografico viene principalmente utilizzato per l'iniezione locoregionale per via ecoguidata di anestetici locali per la diagnosi di dolore e corticosteroidi o antinfiammatori naturali per il trattamento dell'ORDSPs.

Il trattamento può avvenire sia per via medica che chirurgica in casi selezionati. L'obiettivo del trattamento medico è per lo più conservativo e volto ad alleviare il dolore e l'infiammazione. Il trattamento chirurgico prevede la rimozione del tessuto osseo in eccesso presente tra i processi spinosi coinvolti nella patologia [3]. La prognosi è buona nella maggior parte dei casi (72%, [3]) e i cavalli possono ritornare a svolgere attività sportiva.

1.4.5 LUSSAZIONI E SUBLUSSAZIONI

Lussazioni e sublussazioni vertebrali sono infrequenti [39] e, nel cavallo sportivo, riguardano per lo più l'articolazione atlantoepistروفica, mentre coinvolge più raramente sesta e settima vertebra cervicale [48]. Generalmente hanno origine traumatica per cui i segni clinici sono immediati e includono estensione della testa, rigidità del collo, edema bilaterale e crepitio al tatto. Già alla palpazione può essere percepibile il mal allineamento e la dislocazione ventrale dell'epistروفico rispetto all'atlante. I deficit neurologici sono rari. Quando sono interessate sesta e settima vertebra cervicale si può osservare un'alterazione nel movimento degli arti anteriori e, in rari casi, zoppia bilaterale.

La diagnosi viene effettuata attraverso l'esame radiologico tramite delle proiezioni latero-laterali con collo in posizione neutrale ed estesa [48]: il processo odontoideo inizialmente si sposta ventralmente fino al tubercolo ventrale dell'atlante, dal quale viene bloccato. Anche l'integrità del legamento atlanto-epistروفico ventrale ne limita lo spostamento. Quando si sviluppa una lussazione completa, il processo odontoideo si sposta ventralmente all'arco ventrale dell'atlante con conseguente compressione del midollo che può portare alla morte improvvisa [29].

Quando interessate sesta e settima vertebra cervicale l'esame radiografico rivela una dislocazione della testa della settima vertebra cervicale [48].

La risoluzione, quando possibile è chirurgica e la prognosi è generalmente buona nei casi riportati dalla letteratura [39].

1.4.6 OSTEOARTRITE DELLE FACLETTE ARTICOLARI

L'osteoartrite delle faccette articolari è una condizione degenerativa parafisiologica nel cavallo anziano e possibile causa di sintomatologia clinica e dolore nel cavallo sportivo [15].

Lo stress ripetuto sulle strutture articolari, quali capsula articolare e tessuti connettivi adiacenti [20], attiva la cascata dell'inflammazione che causa contrazioni e spasmi muscolari; se lo stress continua, le strutture articolari saranno sempre meno stabili e questo causerà dolore. Inoltre, lo spasmo muscolare fa sì che venga meno la funzione di supporto del rachide: così facendo, quando forze eccessive vengono applicate sul rachide, il danno articolare peggiora.

La sintomatologia è spesso aspecifica e varia in base al tratto interessato: seppur rara, è riportata anche a livello cervicale [56] come causa di atassia e zoppia degli arti anteriori non responsiva all'analgesia diagnostica. Quando, più frequentemente, interessa il tratto toracico [57], si osserva un'alterazione del pattern locomotorio soprattutto al trotto con una fase craniale della falcata più corta [20]; inoltre, a questa andatura, i movimenti di flessione laterale sono notevolmente impediti. Quando viene interessata la regione lombare, le maggiori alterazioni vengono riportate al galoppo e in generale negli esercizi dove viene richiesto un maggiore ingaggio del posteriore, come durante la fase di stacco del salto o nelle figure di dressage avanzato come il *piaffe*.

La diagnosi può essere eseguita attraverso quattro metodiche: esame ultrasonografico, esame radiologico, scintigrafia nucleare e, se interessa il tratto cervicale, tomografia assiale.

L'esame ultrasonografico è la tecnica di diagnostica che presenta meno limiti in quanto permettere di differenziare con precisione le diverse strutture anatomiche della regione interessata e viene usata soprattutto per indagare la regione lombare. Le immagini migliori si ottengono utilizzando frequenze comprese tra i 5 e i 7,5 MHz [57]. Come segni ecografici che possono portare a un sospetto di osteoartrite vengono annoverati la mancanza del tipico aspetto "a gradino" delle faccette articolari in scansione trasversale, proliferazione ossea ai margini articolari, possibile presenza di frammenti da avulsione, anchilosi delle faccette articolari [58], riduzione dello spazio articolare [57], aumento del fluido intra-articolare e aumento dello spessore della capsula articolare [59]. Inoltre, è possibile utilizzare anche la metodica del *color doppler* per visualizzare un eventuale incremento dell'attività vascolare che rifletterebbe l'attivazione della cascata infiammatoria [20].

L'esame radiologico risulta essere utile quando l'osteoartrite interessa la regione cervicale e la porzione più craniale del tratto toracico; nelle regioni più caudali spesso non è diagnostico in quanto le masse muscolari sono notevoli e impediscono una corretta visualizzazione delle strutture da indagare [57]. I segni radiografici più riscontrati sono mancanza di uno spazio

articolare chiaramente visibile, sclerosi dell'osso subcondrale, fratture da stress dell'osso subcondrale, proliferazione periarticolare [29].

La scintigrafia nucleare può essere usata come strumento per identificare un maggiore *uptake* del radiofarmaco, che generalmente in caso di osteoartrite è di grado medio [3]; tuttavia, in generale è una tecnica poco sensibile che facilmente può produrre dei falsi positivi [60].

Tibor *et al.* [56] hanno dimostrato come vi sia una correlazione positiva tra segni clinici in caso di osteoartrite delle faccette articolari cervicali, atassia e zoppia agli arti anteriori non responsiva all'analgesia diagnostica, e anomalie riscontrate con la TC. Nello studio i segni riscontrati nella TC sono stati proliferazione ossea, effusione, irregolarità a livello di osso subcondrale, alterazione dell'attenuazione dell'osso subcondrale e collasso dell'articolazione.

Nello stesso studio è stato anche osservato che, a differenza di altre alterazioni frequenti che si riportano a livello cervicale (frammenti da avulsione, lesioni simil-cistiche, osteolisi, riduzione del forame intervertebrale), l'osteoartrite delle faccette articolari è più frequentemente riportata tra C3 e C5, tratto dove la motilità non risulta essere particolarmente elevata. Tale osservazione viene confermata da uno studio retrospettivo precedente [61]: in particolare, tale studio afferma che nel 50% dei cavalli non è presente una correlazione tra sintomatologia clinica e alterazioni radiografiche osservate tra C5 e C6 riconducibili a un'osteoartrite delle faccette articolari.

1.4.7 DESMOPATIA DEL LEGAMENTO NUCALE E BURSITE

La desmopatia del legamento nucale, a cui può essere associata una bursite della *bursa subligamentosa nuchalis cranialis* e della *bursa subligamentosa supraspinalis*, è una condizione che si verifica a seguito di traumi acuti o a seguito dell'utilizzo di metodi addestrativi come l'iperflessione o *rollkur* usati nel dressage.

I sintomi clinici vengono messe in evidenza soprattutto con il cavallo che lavora in flessione [59].

Il sospetto diagnostico generalmente avviene a seguito dell'esecuzione di un primo esame radiografico, dove si può rilevare la presenza di entesiofiti [62] e mineralizzazione soprattutto nella porzione craniale [58], la cui presenza, soprattutto nei cavalli a sangue caldo, può essere un reperto incidentale [29].

Solo tramite l'esame ultrasonografico o la risonanza magnetica si arriva a una diagnosi di certezza [62]. All'esame ultrasonografico si può osservare un pattern non omogeneo [20] e aree ipoecogene o iperecogene in base alla cronicità del processo.

La terapia per le desmopatie prevede l'utilizzo di antinfiammatori, anche topici o somministrati per via ecoguidata in ragione del fatto che il legamento è molto superficiale, riposo dal lavoro da sella e graduale ritorno all'esercizio. Nel caso delle desmopatie è importante il mantenimento di un buon tono muscolare, per cui, in maniera graduale e valutando la sintomatologia clinica e le alterazioni presenti all'esame ultrasonografico, è consigliato l'esercizio alla corda.

1.4.8 DESMOPATIA DEL LEGAMENTO SOPRASPINOSO

L'infiammazione del legamento sopraspinoso è una condizione tipica di alcuni cavalli sportivi – cavalli da corsa e da salto ad ostacoli soprattutto – che può essere primaria, legata a forze compressive o di trazione eccessive [3], oppure secondaria ad altre patologie della colonna vertebrale come possono essere fratture da avulsione delle vertebre o la sindrome da accavallamento dei processi spinosi. È più frequentemente osservata tra T15 ed L3 [20].

È una condizione che viene riportata di frequente nei cavalli da cutting, barrel racing e reining e questo viene spiegato dal tipo di movimento compiuto maggiormente in queste discipline [16]. Nel cutting vi è un movimento di ventroflexione forzata per tutta la durata della competizione che causa tensione soprattutto a livello della porzione lombare del legamento [48]. Nel barrel racing si realizza sempre una tensione forzata del legamento dovuta però a movimenti di lateroflessione e rotazione assiale frequenti e repentini [18]. Nel reining il movimento che incide maggiormente sulla tensione esercitata sul legamento sopraspinoso è lo *slide stop*, una flessione ventrodorsale forzata [16].

La desmopatia del legamento sopraspinoso si può manifestare in forma acuta o cronica; in entrambi i casi la sintomatologia è aspecifica e riconducibile a quella che viene definita la disfunzione sacro-iliaca.

Il *gold standard* per la diagnosi è rappresentato dall'esame ultrasonografico in quanto permette di valutare ispessimenti, variazione nell'ecogenicità e rimodellamenti del legamento [57]. In particolare, i segni ecografici riconducibili a una desmopatia del legamento sopraspinoso sono ispessimenti localizzati, segni di rimodellamento osseo, irregolarità del processo spinoso, variazione dell'ecogenicità del legamento – che apparirà ipoecogeno in caso di lesioni acute, iperecogeno in caso di lesioni croniche [57].

Tuttavia, in uno studio di Henson [63] è stato dimostrato come i segni ecografici siano aspecifici e sia necessario accostare all'esame ultrasonografico l'analgia diagnostica. Tale risultato viene

confermato anche da altri ricercatori [58] in quanto è stato visto che variazioni di ecogenicità del legamento possono essere correlate con l'invecchiamento.

Adams e Stashak [20] hanno dimostrato come sia necessario effettuare un esame bilaterale dei legamenti: nei casi di danno acuto, il legamento infiammato si presenta molto ipoecogeno rispetto al controlaterale; all'ecodoppler l'attività vascolare è notevolmente aumentata. Inoltre, possono essere osservati dei frammenti da avulsione. Nei casi cronici, l'ecogenicità può essere anche normale ma si osserva un ingrandimento del legamento infiammato e irregolarità della superficie ossea, a dimostrazione che è una lesione da stress.

L'esame radiologico viene eseguito soprattutto quando vi è il sospetto di una forma secondaria di desmite. I reperti radiologici che si possono osservare sono irregolarità nel profilo del processo spinoso, frammenti da avulsione e sclerosi [29]; è da tenere conto che la desmopatia del legamento sopraspinoso è spesso associata alla sindrome da accavallamento dei processi spinosi delle vertebre toraco-lombari e alla degenerazione delle faccette articolari.

1.4.9 DESMITE DEL LEGAMENTO SACROILIACO DORSALE

Il legamento sacroiliaco dorsale può andare incontro a forti trazioni, tant'è che è una lesione frequentemente riportata nei saltatori [53] e nei cavalli da corsa [3], [53].

La sintomatologia clinica è aspecifica e i cavalli possono presentare un grado di zoppia pari da uno a tre sulla scala AAEP (*American Association of Equine Practitioners*) [20]. Nelle fasi croniche della malattia è possibile osservare alterazioni dell'andatura, soprattutto quando il cavallo viene montato [3].

Il *gold standard* per la diagnosi è rappresentato dall'esame ultrasonografico; tuttavia, un primo screening può essere effettuato attraverso l'esame termografico. Uno studio del 2003 ha dimostrato come cavalli in cui è stata diagnosticata una desmite del legamento sacroiliaco dorsale attraverso l'esame ultrasonografico, presentino costantemente delle aree calde all'esame termografico [64].

All'esame ultrasonografico il legamento si presenta più corto e più ipoecogeno del normale e del legamento controlaterale [64]; studi più recenti hanno dimostrato che è frequente osservare asimmetrie dei due legamenti sacroiliaci dorsali nello stesso cavallo, spesso associato ad asimmetria della tuberosità sacrale: il presente rilievo clinico e ultrasonografico non ha alcun significato diagnostico [58].

CONCLUSIONI

Valutare, quantificare e indentificare l'origine del dolore responsabile della manifestazione clinica è sempre stata una *challenge* per il medico veterinario e ancora di più quando è da ricercare a livello del rachide: nonostante negli ultimi decenni siano stati fatti notevoli passi avanti nella diagnostica per immagini, le dimensioni dell'animale rappresentano un grande limite per tecniche come la tomografia assiale e la risonanza magnetica, estremamente sensibili e molto usate in medicina umana.

L'esame radiografico e l'esame ultrasonografico sono quelli di maggiore impiego, sia per il costo contenuto sia per la rapidità di esecuzione. Nonostante ciò, le importanti masse muscolari, soprattutto a livello della regione lombare, non permettono di avere una visione completa del tratto indagato.

La scintigrafia nucleare rappresenta spesso il metodo di elezione per individuare l'origine del dolore di diverse patologie della schiena, soprattutto quando all'esame clinico di zoppia non vengono rilevate particolari alterazioni. Tuttavia, i costi, i lunghi tempi di esecuzione e la scarsa disponibilità di macchinari sul territorio ne limita notevolmente l'utilizzo.

La termografia ha una scarsa importanza per quanto riguarda le patologie osteoarticolari del rachide e viene usata principalmente per valutare lesioni di tipo muscolare.

Accanto alla diagnostica per immagini, una tecnica che può essere utilizzata per confermare o escludere dolore alla schiena è quella dell'utilizzo di anestetici locali e la valutazione dell'andamento del dolore nelle ore successive. Il limite della tecnica è spesso rappresentato dalla scarsa specificità nell'inoculazione dell'anestetico, per cui il suo utilizzo nella pratica è scarsamente considerato.

Di notevole importanza è ricordare come molti studi hanno dimostrato che eventuali alterazioni osservate attraverso la diagnostica per immagini non siano sempre la causa scatenante della sintomatologia clinica: la raccolta dell'anamnesi e la valutazione clinica del cavallo, anche montato, risulta essere di fondamentale importanza nella valutazione del dolore al rachide, in quanto può essere causato da fattori esterni come inappropriato *saddle fitting* o incapacità del cavaliere.

Inoltre, come osservato in diversi studi, le patologie della schiena, soprattutto se croniche, sono raramente associate a zoppia, piuttosto si osserva un calo della performance e difficoltà nell'esecuzione di esercizi più complessi.

Nel cavallo sportivo in particolare è da tenere in considerazione la storia sportiva: negli ultimi anni in diverse discipline, come nel salto ad ostacoli e nel dressage, l'età media di inizio attività per livelli medio-alti, si sta abbassando. Questo causerebbe alterazioni para-fisiologiche di adattamento dell'organismo allo sforzo fisico richiesto e in futuro si potrebbe osservare un aumento dell'incidenza di alterazioni croniche che interessano il rachide. Tali alterazioni possono esacerbare o meno patologie del rachide.

In conclusione, se per quanto riguarda eventi acuti, come fratture, lussazioni e sublussazioni, la diagnostica per immagini è l'esame *gold standard* per la diagnosi definitiva e per la prognosi, per patologie croniche le tecniche di diagnostica per immagini devono essere complementari alla raccolta di un'anamnesi sportiva e clinica dettagliata dell'animale, oltre che a un completo esame obiettivo particolare dell'apparato locomotore, includendo l'osservazione del cavallo montato alle tre andature.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Barone, *Anatomia comparata dei mammiferi domestici - volume 1°: osteologia*. 2004.
- [2] R. Barone, *Anatomia comparata dei mammiferi domestici - volume 2°, parte 1: artrologia*. 2004.
- [3] F. M. D. Henson, *Equine neck and back pathology: diagnosis and treatment*. 2018.
- [4] G. Higgins e S. Martin, *Conoscere i movimenti del cavallo*. 2020.
- [5] J. L. Cornille, *Transversal rotations in the equine vertebral column*. 2011.
- [6] G. Williams, *Horse movement: structure, function and rehabilitation*. 2014.
- [7] R. C. Payne, P. Veenman, e A. M. Wilson, «The role of the extrinsic thoracic limb muscles in equine locomotion», *J Anat*, vol. 205, n. 6, pagg. 479–490, dic. 2004.
- [8] R. Schleip, H. Jäger, e W. Klingler, «What is 'fascia'? A review of different nomenclatures», *J Bodyw Mov Ther*, vol. 16, n. 4, pagg. 496–502, 2012.
- [9] V. S. Elbrønd e R. M. Schultz, «Deep myofascial kinetic lines in horses, comparative dissection studies derived from humans», *J Vet Med*, vol. 11, pagg. 14–40, 2021.
- [10] V. S. Elbrønd e R. M. Schultz, «Myofascia - the unexplored tissue: myofascial kinetic lines in horses, a model for describing locomotion using comparative dissection studies derived from human lines», 2015.
- [11] R. Barone, *Anatomia comparata dei mammiferi domestici - volume 5°, parte 1: angiologia*. 2004.
- [12] R. Barone, *Anatomia comparata dei mammiferi domestici - volume 2°, parte 2: miologia*. 2004.
- [13] R. Barone e P. Simoens, *Anatomia comparata dei mammiferi domestici - volume 7°: neurologia*. 2004.
- [14] E. J. Slijper, «Comparative biologic-anatomical investigations on the vertebral column and spinal musculature of mammals», in *Proc. K. Ned. Acad. Wetensch*, 1946, pagg. 1–128.
- [15] W. Back e H. Clayton, *Equine locomotion*. 2013.
- [16] B. P. A. Fonseca, A. L. G. Alves, J. L. M. Nicoletti, A. Thomassian, C. A. Hussni, e S. Mikail, «Thermography and ultrasonography in back pain diagnosis of equine athletes», *J Equine Vet Sci*, vol. 26, n. 11, pagg. 507–516, nov. 2006.
- [17] J. M. Denoix e J. P. Pailloux, *Physical therapy and massage for the horse*. 2011.
- [18] J. M. Denoix, «Spinal Biomechanics and Functional Anatomy», *Veterinary clinics of North America - equine practice*, vol. 15, n. 1, pagg. 27–60, 1999.
- [19] F. Audigié, P. Pourcelot, C. Degueurce, J. M. Denoix, e D. Geiger, «Kinematics of the equine back: flexion-extension movements in sound trotting horses.», *Equine Vet J Suppl*, vol. 30, pagg. 210–213, 1999.
- [20] G. Baxter, *Adams and Stashak's Lameness in Horses*. 2020.
- [21] P. Galloux *et al.*, «Analysis of equine gait using three-dimensional accelerometers fixed on the saddle», *Equine Vet J*, vol. 26, n. 17 S, pagg. 44–47, 1994.
- [22] H. H. F. Buchner, H. H. C. M. Savelberg, H. C. Schamhardt, e A. Barneveld, «Head and trunk movement adaptations in horses with experimentally induced fore- or hindlimb lameness», *Equine Vet J*, vol. 28, n. 1, pagg. 71–76, 1996.

- [23] E. N. Robinson, *Current Therapy in Equine Medicine*. 2003.
- [24] C. Schlacher, C. Peham, T. Licka, e H. Schobesberger, «Determination of the stiffness of the equine spine», in *Equine Veterinary Journal*, British Equine Veterinary Association, 2004, pagg. 699–702.
- [25] M. Toturiki, R. Otsuki, e M. Kai, «Electromyographic activity of trunk muscles during locomotion on a treadmill», in *5th WEVA Congress Abstracts: Padova*, 1997.
- [26] J. M. Denoix, *Biomechanics and physical training of the horse*. 2014.
- [27] D. E. Thrall, *Veterinary diagnostic imaging*. 2018.
- [28] M. Weaver e S. Barakzai, *Handbook of equine radiography*. 2009.
- [29] J. A. Butler, C. M. Colles, S. J. Dyson, S. E. Kold, e P. W. Poulos, *Clinical radiology of the horse*. 2016.
- [30] M. P. Weaver, L. B. Jeffcott, e M. Nowak, «Back problems. Radiology and scintigraphy», *Veterinary clinics of North America - equine practice*, vol. 15, n. 1, pagg. 113–129, 1999.
- [31] R. C. Murray, *Equine MRI*. 2011.
- [32] T. Rovel *et al.*, «Computed tomographic examination of the articular process joints of the cervical spine in warmblood horses: 86 cases (2015-2017)», 2021.
- [33] J. J. Hoskinson, «Modern diagnostic imaging: equine nuclear scintigraphy. Indications, Uses, and Techniques», 2001.
- [34] S. Dyson, R. Pilsworth, A. Twardock, e M. Martinelli, *Equine scintigraphy*. 2003.
- [35] S. Dyson, «Musculoskeletal scintigraphy of the equine athlete», *Semin Nucl Med*, vol. 44, n. 1, pagg. 4–14, gen. 2014.
- [36] V. Redaelli *et al.*, «Utilizzo della tecnica termografica per il rilevamento della temperatura della corona come fattore di rischio per la laminite nel cavallo», *Veterinaria Pratica Equina*, pagg. 45–49, 2017.
- [37] B. V. Tunley e F. M. D. Henson, «Reliability and repeatability of thermographic examination and the normal thermographic image of the thoracolumbar region in the horse», *Equine Vet J*, vol. 36, n. 4, pagg. 306–312, 2004.
- [38] F. Rossignol, O. Brandenberger, e C. Mespoules-Rivière, «Internal Fixation of Cervical Fractures in Three Horses», *Veterinary Surgery*, vol. 45, n. 1, pagg. 104–109, gen. 2016.
- [39] A. J. Nixon, *Equine fracture repair*. 2020.
- [40] E. M. Collar *et al.*, «Caudal lumbar vertebral fractures in California Quarter Horse and Thoroughbred racehorses», *Equine Vet J*, vol. 47, n. 5, pagg. 573–579, set. 2015.
- [41] K. K. Haussler e S. M. Stover, «Stress fractures of the vertebral lamina pelvis in Thoroughbred racehorses», *Equine Vet J*, vol. 30, n. 5, pagg. 374–381, 1998.
- [42] L. M. Goff, L. B. Jeffcott, J. Jasiewicz, e C. M. McGowan, «Structural and biomechanical aspects of equine sacroiliac joint function and their relationship to clinical disease», *Veterinary Journal*, vol. 176, n. 3, pagg. 281–293, giugno 2008.
- [43] K. K. Haussler, «Diagnosis and Management of Sacroiliac Joint Injuries», in *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*, Elsevier Inc., 2003, pagg. 501–508.
- [44] L. B. Jeffcott, G. Dalin, S. Ekman, e S. E. Olsson, «Sacroiliac lesions as a cause of chronic poor performance in competitive horses», *Equine Vet J*, vol. 17, n. 2, pagg. 111–118, 1985.

- [45] C. Erichsen, M. Berger, e P. Eksell, «The scintigraphic anatomy of the equine sacroiliac joint», *Veterinary Radiology and Ultrasound*, vol. 43, n. 3, pagg. 287–292, mag. 2002.
- [46] L. B. Jeffcott, «Disorders of the thoracolumbar spine of the horse — a survey of 443 cases», *Equine Vet J*, vol. 12, n. 4, pagg. 197–210, 1980.
- [47] T. A. Turner, «Overriding spinous processes (“kissing spines”) in horses: diagnosis, treatment and outcome in 212 horses», in *AAEP Proceedings*, 2011, pagg. 424–430. [Online]. Disponibile su: <http://www.ivis.org>
- [48] S. J. Dyson e M. W. Ross, *Diagnosis and management of lameness in the horse*. 2011.
- [49] K. K. Haussler, S. M. Stover, e N. H. Willits, «Pathologic changes in the lumbosacral vertebrae and pelvis in Thoroughbred racehorses», *Am J Vet Res*, vol. 60, pagg. 143–153, 1986.
- [50] A. P. Harrison, A. Jensen, K. H. Riis, e K. Riis-Olesen, «Non-invasive Assessment of Lameness in Horses with kissing spine - a case study», *Scientia Ricerca*, vol. 1, n. 6, pagg. 257–265, 2018.
- [51] L. B. Jeffcott e G. Dalin, «Natural rigidity of the horse’s backbone», *Equine Vet J*, vol. 12, n. 3, pagg. 101–108, 1980.
- [52] A. Kent Allen *et al.*, «How to Diagnose and Treat Back Pain in the Horse», in *AAEP Proceedings*, 2010, pagg. 384–388.
- [53] K. W. Hinchcliff e A. J. Kaneps, *Equine sports medicine and surgery, basic and clinical sciences of the equine athlete*, 2nd ed. 2013.
- [54] M. Soroko-Dubrovina e M. C. G. Davies Morel, *Equine thermography in practice*. 2023.
- [55] R. P. C. Coomer, S. A. McKane, N. Smith, e J. M. E. Vandeweerd, «A controlled study evaluating a novel surgical treatment for kissing spines in standing sedated horses», *Veterinary Surgery*, vol. 41, n. 7, pagg. 890–897, ott. 2012.
- [56] M. Zimmerman, C. Delesalle, E. Adriaensen, J. H. Saunders, e K. Vanderperren, «Computed tomographic examination of the articular process joints of the cervical spine in warmblood horses: 86 cases (2015-2017)», *Journal of the American Veterinary Medicine Association*, vol. 259, n. 10, pagg. 1178–1187, 2021.
- [57] J.-M. D. Denoix, «Ultrasonographic evaluation of back lesions», 1999.
- [58] J. A. Kidd, K. G. Lu, e M. L. Frazer, «Atlas of Equine Ultrasonography», 2022.
- [59] M. R. Story *et al.*, «Equine cervical pain and dysfunction: Pathology, diagnosis and treatment», *Animals*, vol. 11, n. 2. MDPI AG, pagg. 1–21, 1 febbraio 2021.
- [60] S. J. Dyson, «Lesions of the equine neck resulting in lameness or poor performance», *Veterinary clinics of North America - equine practice*, vol. 27, pagg. 417–437, 2011.
- [61] S. S. Down e F. M. Henson, «Radiographic retrospective study of the caudal cervical articular process joints in the horse», *Equine Vet J*, vol. 41, pagg. 518–524, 2009.
- [62] G. M. Baxter, *Manual of equine lameness*, 2nd ed. 2022.
- [63] F. M. D. Henson, L. Lamas, S. Knezevic, e L. B. Jeffcott, «Ultrasonographic evaluation of the supraspinous ligament in a series of ridden and unridden horses and horses with unrelated back pathology», *BMC Vet Res*, vol. 3, 2007.
- [64] J. E. Tomlinson, A. M. Sage, e T. A. Turner, «Ultrasonographic abnormalities detected in the sacroiliac area in twenty cases of upper hindlimb lameness», *Equine Vet J*, vol. 35, n. 1, pagg. 48–54, 2003.

