

Colonna vertebrale nel piano sagittale – Parte I

Fondamenti biomeccanici e organizzazione cranio-cervico-dorsale

dott. Mauro Lastrico – dott.ssa Laura Manni

Nota editoriale

Questo articolo costituisce la **Parte I** di un unico capitolo dedicato all'analisi biomeccanica della colonna vertebrale nel piano sagittale.

Per motivi tecnici di pubblicazione, il contenuto è suddiviso in due articoli consecutivi che devono essere letti in continuità.

Le considerazioni che seguono rappresentano l'applicazione dei principi fisici e vettoriali descritti nei capitoli precedenti.

Il piano sagittale costituisce il riferimento per l'analisi delle curve fisiologiche della colonna e dei loro rapporti di equilibrio.

L'obiettivo è descriverne singolarmente i segmenti e i muscoli coinvolti, per comprendere come la distribuzione delle forze muscolari determini l'assetto della colonna e come le variazioni di tali forze modifichino la sequenza articolare.

Individuando i vettori dominanti e le risultanti meccaniche alla base delle variazioni delle curve fisiologiche della sinusoide vertebrale, l'analisi distrettuale mantiene coerenza con il modello fisico generale, mostrando come le stesse leggi — elasticità dei tessuti, momenti di forza, equilibrio tra forze G e R — trovino espressione concreta nel corpo umano.

1 Introduzione all'analisi vettoriale sul piano sagittale

In questo capitolo viene analizzata l'azione dei muscoli che agiscono simmetricamente sui due lati della colonna vertebrale e i loro effetti sulla sinusoide vertebrale nel piano sagittale.

L'analisi vettoriale permetterà di identificare le dominanze muscolari presenti su ciascun tratto e le modalità con cui i muscoli antagonisti tentano il bilanciamento delle forze dominanti.

1.1 La suddivisione miofunzionale

Osservando la disposizione anatomica dei muscoli che influenzano cranio, colonna vertebrale e bacino, emerge che le inserzioni muscolari non rispettano i confini anatomici ma creano unità funzionali che comprendono più segmenti vertebrali.

Questa osservazione porta ad affiancare alla classificazione anatomica una suddivisione miofunzionale distinta in:

- Lordosi cranio-cervico-dorsale: estesa dal cranio al processo spinoso di D3
- Cifosi dorsale: estesa dal processo spinoso di D4 a quello di D6
- Lordosi dorso-lombo-sacrale: estesa dal processo spinoso di D7 al sacro

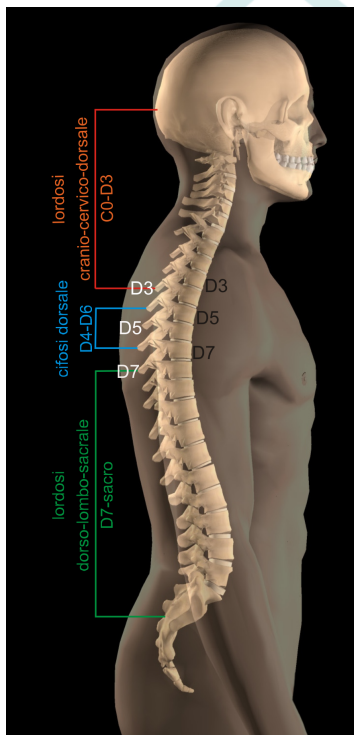


Fig. 5.01 - Suddivisione mio-funzionale della colonna vertebrale

- *lordosi cranio-cervico-dorsale: C0 – D3*
- *cifosi dorsale: D4 – D6*
- *lordosi dorso-lombo-sacrale: D7 - sacro*

1.2 Il razionale biomeccanico della suddivisione

Estensione della lordosi cervicale fino a D3

La lordosi anatomica C1-C7 è prolungata muscolarmente fino a D3 per l'azione di specifici gruppi muscolari.

Posteriormente:

- Trapezi (fasci superiori) che si inseriscono sulla scapola
- Elevatori della scapola che collegano le vertebre cervicali alla scapola
- Paravertebrali (includono gli spleni, i semispinali e i multifidi)

L'angolo supero-mediale della scapola si posiziona anatomicamente a livello di D3, creando un'unità funzionale continua.

Anteriormente:

- Paravertebrali anteriori che si inseriscono fino a D3 (lunghi della testa, lunghi del collo e retti della testa)
- Scaleni che collegano le vertebre cervicali alle prime coste
- Sterno-cleido-mastoidei

Questa estensione muscolare spiega perché le problematiche cervicali si possano manifestare con sintomi che coinvolgono anche il tratto dorsale alto.

Estensione della lordosi lombare fino a D7

La lordosi lombare è prolungata fino a D7 principalmente dalle inserzioni del gran dorsale, che si estende dalle vertebre lombari fino alle vertebre dorsali medio-basse.

Questo muscolo, per la sua estensione e potenza vettoriale, unifica funzionalmente tutto il tratto da D7 al sacro.

La cifosi dorsale come zona di transizione

Da questa analisi si evince che la cifosi fisiologica ad apice D5 è la congiunzione posteriore di due curve orientate in avanti. Su questo breve tratto agiscono principalmente i fasci medi del trapezio e i romboidi.

1.3 La funzione biomeccanica delle curve

Funzionalmente la sinusoide vertebrale ha il compito di ammortizzare i carichi verticali.

Se la colonna fosse dritta subirebbe maggiori danni compressivi per l'effetto diretto delle forze di compressione.

La presenza delle curve trasforma le forze di compressione verticale in componenti più gestibili, distribuendo i carichi su tutta la struttura.

La piccola curva posteriore D4-D6 non è altro che la congiunzione geometrica delle due curve orientate in avanti, e crea un sistema di ammortizzazione delle sollecitazioni sull'asse verticale.

1.4 Lo sviluppo ontogenetico delle curve

Lo sviluppo delle curve vertebrali durante la crescita conferma questa visione funzionale:

1. Il neonato presenta la colonna vertebrale in totale cifosi (curva primaria).
2. Durante la crescita utilizza i muscoli compresi tra cranio e D3 per creare la lordosi cervico-dorsale che gli permette il controllo del cranio e la visione orizzontale.
3. Successivamente utilizza i muscoli compresi tra D7 e sacro per creare la lordosi dorso-lombo-sacrale che gli permetterà di conquistare la posizione eretta.

Questo sviluppo sequenziale dimostra come le curve vertebrali siano il risultato dell'azione muscolare e non semplici adattamenti anatomici.

1.5 Implicazioni per l'analisi clinica

Nell'analisi che segue vedremo le possibili modificazioni dei tratti vertebrali causate dall'accorciamento dei muscoli agenti su ciascuna unità funzionale.

Strumenti di valutazione clinica:

- Indagini specifiche per la valutazione delle curve.
- Palpazione delle vertebre sulle spinose per identificare i cambi di curva e le zone di maggiore tensione.
- Valutazione delle compressioni discali attraverso la palpazione dei processi spinosi.

Principi guida per l'interpretazione:

1. ogni alterazione in una delle tre unità funzionali può influenzare le altre;
2. gli accorciamenti muscolari modificano le curve secondo schemi prevedibili;
3. la sintomatologia può manifestarsi a distanza dalla causa biomeccanica primaria;
4. l'approccio terapeutico dovrebbe considerare che l'intervento sul singolo segmento sintomatico potrebbe non essere sufficiente e che possa essere necessario valutare l'unità funzionale nel suo insieme.

Questa visione integrata della colonna vertebrale come sistema di unità funzionali interconnesse rappresenta la base per una corretta interpretazione biomeccanica dei quadri clinici vertebrali.

2 Lordosi cranio-cervico-dorsale (C0-D3)

2.1 Caratteristiche anatomiche e funzionali

Il tratto cranio-cervico-dorsale presenta una caratteristica specifica rispetto al resto della colonna vertebrale: è l'unico segmento in cui sono presenti muscoli paravertebrali con doppia inserzione, sia anteriormente (muscoli anteriori del collo) che posteriormente (paravertebrali posteriori).

Questa peculiarità anatomica determina meccanismi biomeccanici complessi e particolari per questo distretto.

Come già osservato, il sostegno muscolare al prolungamento della lordosi cervicale fino a D3 è prodotto principalmente dai muscoli anteriori del collo che si inseriscono fino a D3: muscolo retto anteriore della testa, muscolo lungo della testa, muscolo lungo del collo.

2.2 I gruppi muscolari agenti

Anteriormente:

- Scaleni e sternocleidomastoidei
- Muscoli anteriori del collo (retto anteriore della testa, lungo della testa, lungo del collo)

Posteriormente:

- Paravertebrali posteriori
- Elevatori della scapola
- Fasci superiori dei trapezi

Nelle figure successive sono rappresentate le linee di forza dei singoli muscoli, considerando come punto mobile le inserzioni craniali e vertebrali.

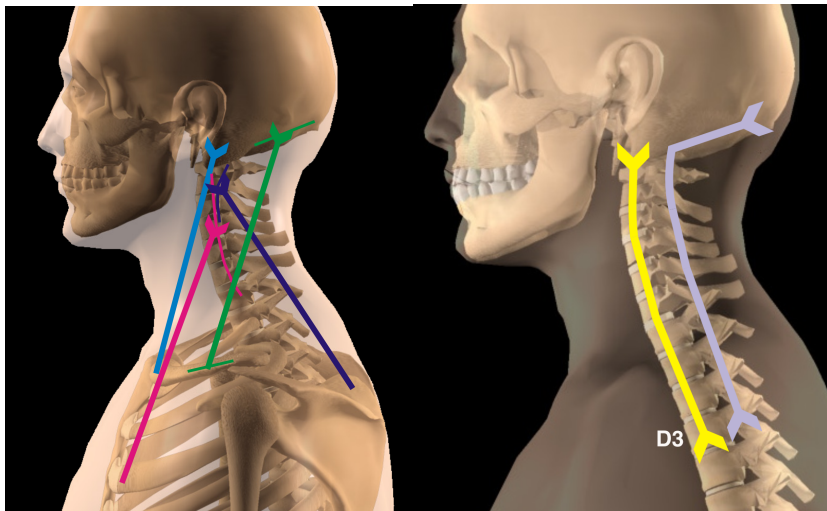


fig. 2 e 3
 sterno-cleido-mastoideo: azzurro
 elevatore della scapola: blu
 fascio superiore del trapezio: verde
 scaleni: magenta
 anteriori del collo: giallo
 paravertebrali: viola chiaro

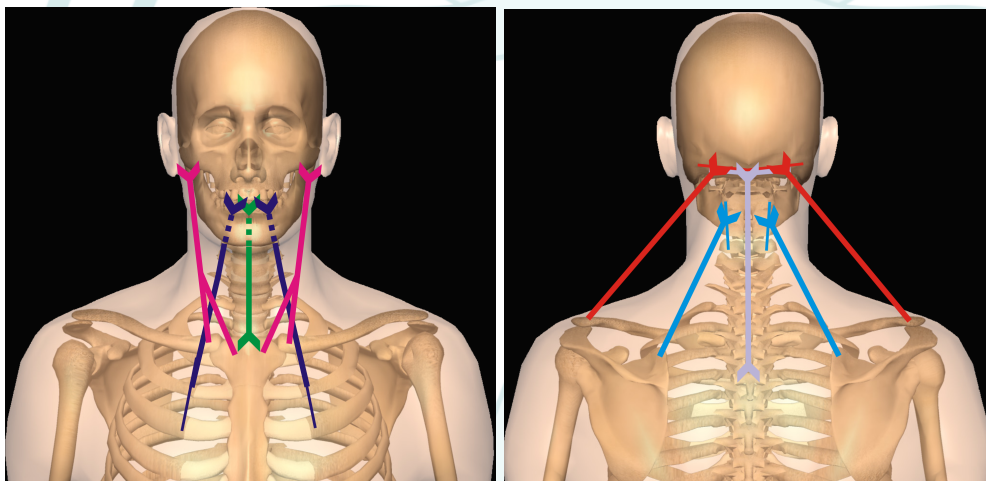


fig. 4 e 5
 sternocleidomastoidei: magenta
 anteriori del collo: verde
 fasci superiori trapezi: rosso
 elevatori delle scapole: blu
 paravertebrali: viola chiaro
 scaleni: blu

2.3 Analisi vettoriale dei muscoli posteriori

L'aumento del tono basale e il successivo accorciamento dei muscoli posteriori determinano due effetti principali:

1. **Flessione posteriore del cranio** per l'azione:
 - Diretta: paravertebrali e fasci superiori dei trapezi

- Indiretta: elevatori della scapola
- 2. **Aumento della lordosi cervicale** per l'azione:
 - Diretta: paravertebrali ed elevatori della scapola
 - Indiretta: fasci superiori dei trapezi

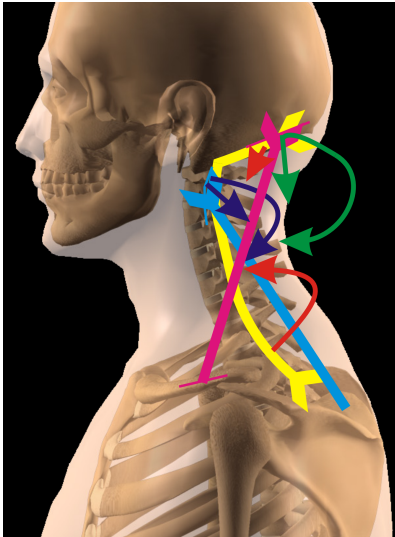


Figura 6:
 fasci superiori trapezio: magenta
 elevatore della scapola: blu
 paravertebrali: giallo
 Azioni dei muscoli posteriori - i fasci superiori dei trapezi (freccie verdi) flettono posteriormente il cranio e, per risultante meccanica, aumentano la lordosi vertebrale; gli elevatori della scapola (freccie blu) flettono posteriormente le vertebre da C1 a C4 e, per risultante meccanica, aumentano la lordosi cervicale in toto; i paravertebrali (freccie rosse) flettono posteriormente il cranio e aumentano la lordosi cervico-dorsale da C1 a D3.

2.4 Analisi vettoriale dei muscoli anteriori

L'azione dei muscoli anteriori varia in base alla posizione del cranio e alla curva cervicale esistente.

L'interessamento dei muscoli anteriori crea quadri differenti, a seconda se il cranio si comporta da punto fisso o punto mobile.

Con cranio come punto fisso

Situazione 1: lordosi fisiologica

Con l'occipite sulla stessa verticale della cifosi dorsale e la colonna cervicale in lordosi fisiologica, gli sternocleidomastoidei nella loro azione bilaterale flettono anteriormente il cranio, inducendo come risultante meccanica la riduzione della lordosi.

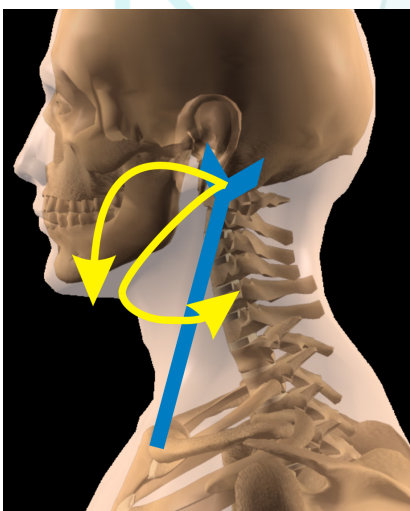


Figura 7: Con l'occipite in linea con le vertebre toraciche e la colonna cervicale in lordosi fisiologica, gli sternocleidomastoidei, avendo la linea di forza passante al davanti della mastoide, flettono anteriormente il cranio e, per risultante meccanica, riducono la lordosi cervicale.
 Sternocleidomastoideo: blu

Situazione 2: iperlordosi preesistente

Se però la posizione del cranio è in flessione posteriore, la linea di forza degli sternocleidomastoidei passa al di dietro della mastoide, determinandone l'inversione di azione.

Essi fletteranno posteriormente il cranio concorrendo all'aumento della lordosi insieme con gli scaleni.

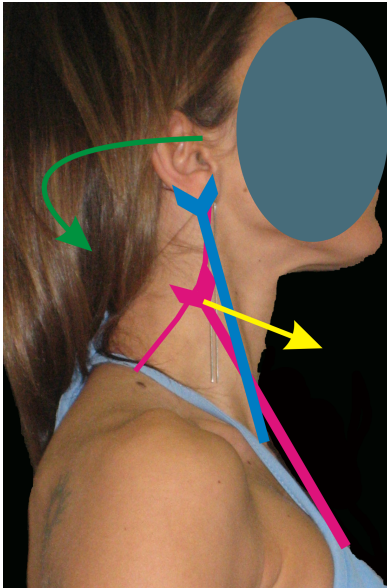


Figura 8: Col cranio come punto fisso e in flessione posteriore, gli sternocleidomastoidei, avendo la loro linea di forza passante al di dietro della mastoide, invertono la loro azione e flettono posteriormente il cranio aumentando la lordosi cervicale. Lordosi cervicale aumentata anche dall'azione degli scaleni. Sternocleidomastoideo: blu; scaleni: magenta

Comportamento dei muscoli anteriori del collo

I muscoli anteriori del collo (retto anteriore della testa, lungo della testa e lungo del collo) mostrano un comportamento di inversione d'azione simile.

Quando la colonna è in lordosi fisiologica e l'occipite in asse con le vertebre toraciche, hanno la linea di forza che passa al davanti della linea mediana sagittale delle vertebre.

In questo caso la loro azione è quella di rettificare il tratto cervicale.

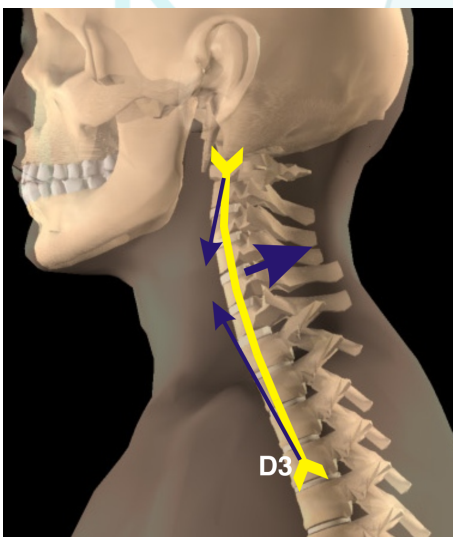


Figura 9: Occipite in asse con le vertebre toraciche e colonna cervico-dorsale in lordosi fisiologica. I muscoli anteriori del collo, avendo la linea di forza passante al davanti della linea mediana sagittale dei corpi vertebrali, riducono la lordosi cervico-dorsale.

Anteriori del collo: giallo

Nel caso in cui la colonna sia in iperlordosi, la linea di forza si sposta posteriormente alla linea mediana sagittale e l'azione diventa opposta: i muscoli anteriori del collo aumenteranno la lordosi.

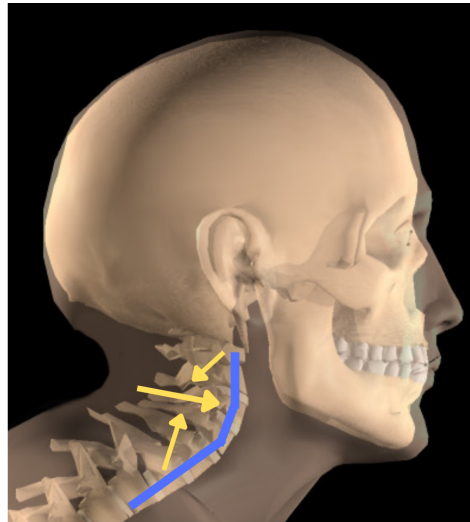
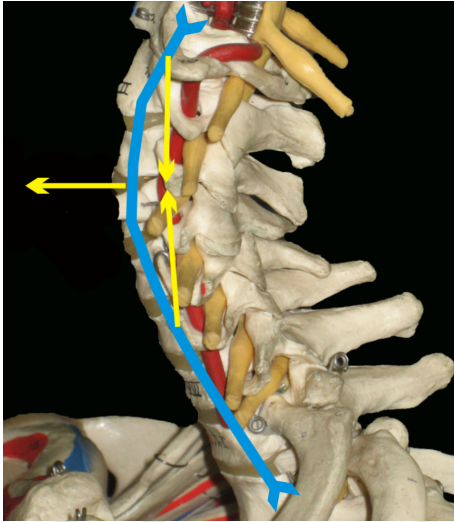


Figure 10 e 11: Colonna cervicale in aumentata lordosi. In questo caso, i muscoli anteriori del collo, avendo la linea di forza passante posteriormente alla linea mediana sagittale dei corpi vertebrali, aumentano la lordosi cervico-dorsale. Anteriori del collo: blu

Con cranio punto mobile

Quando per permettere il mantenimento dell'equilibrio e dell'orientamento visivo il sistema nervoso centrale ne dovesse aver bisogno, sternocleidomastoidei, scaleni e muscoli anteriori del collo entrano in sommatoria e sinergia di azione e determinano la proiezione anteriore del capo, rettificando in direzione obliqua e in avanti la colonna cervicale.

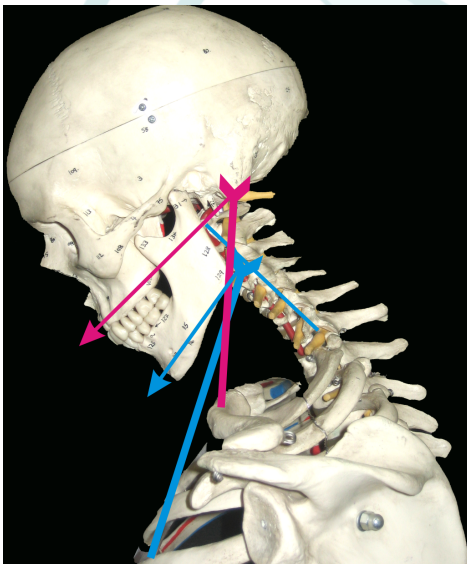
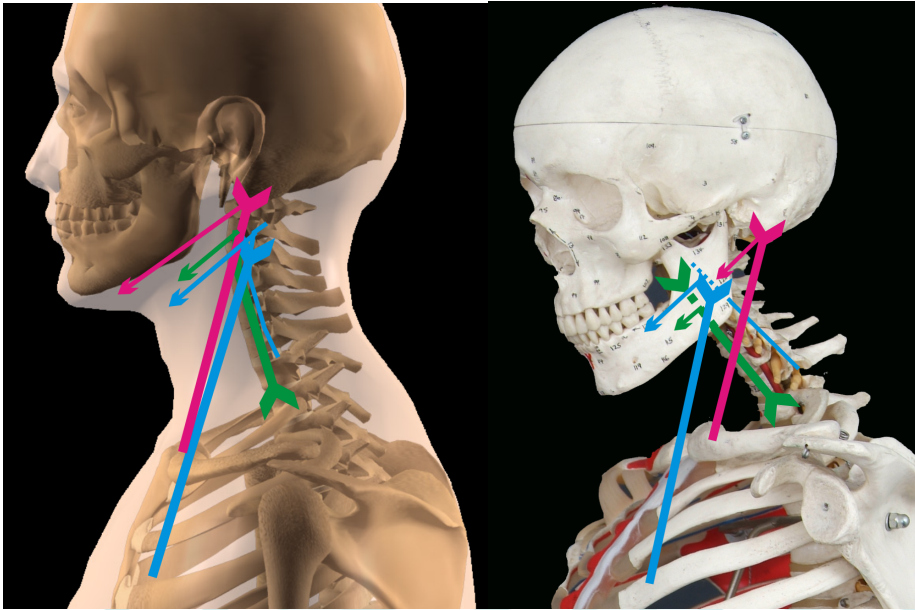


Figure 12, 13 e 14: Cranio punto mobile - sternocleidomastoidei, scaleni e muscoli anteriori del collo entrano in sommatoria di azione e proiettano anteriormente il cranio e le prime vertebre cervicali.

La colonna cervicale assume un andamento rettilineo e obliquo in avanti.

*Anteriori del collo: verde;
scaleni: blu;
sterno-cleido-mastoideo: magenta*

Compensazione per il controllo visivo

Il recupero dell'orientamento dello sguardo avviene poi attraverso la contrazione dei paravertebrali posteriori e dei fasci superiori dei trapezi che flettono posteriormente il cranio.

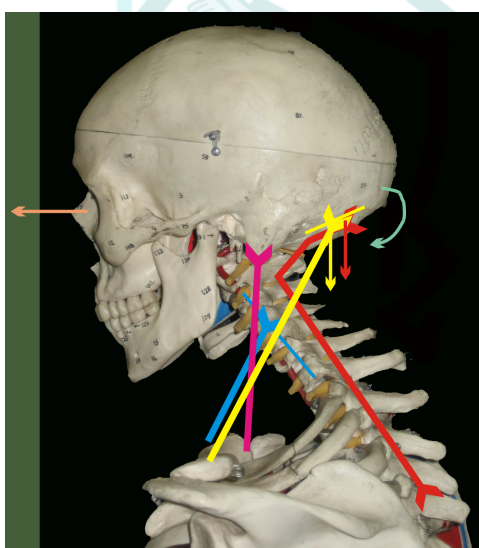
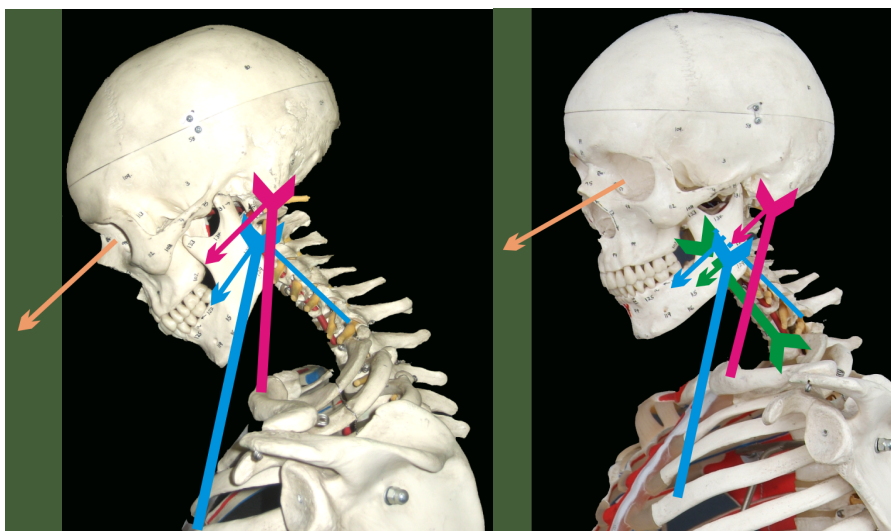


Figure 15, 16 e 17: Se sternocleidomastoidei, scaleni e muscoli anteriori del collo proiettano anteriormente cranio e prime vertebre cervicali, lo sguardo è orientato verso il basso. Per recuperare l'orientamento orizzontale dello sguardo, paravertebrali e fasci superiori dei trapezi flettono posteriormente il cranio. Anteriori del collo: verde; sterno-cleido-mastoideo: magenta; scaleni: blu; paravertebrali: rosso; fascio superiore del trapezio: giallo

2.5 Il controllo della posizione del cranio

I riflessi del controllo dell'equilibrio

I riflessi del controllo dell'equilibrio interagiscono tra loro al fine di mantenere la posizione del cranio ben orientata nello spazio, con la rima degli occhi il più possibile orizzontale, implicando l'intervento di tutti i muscoli cranio-cervico-scapolari.

Vettorialmente i muscoli che aumentano la lordosi cervicale, direttamente o indirettamente, sono dominanti e un loro accorciamento determina anche la flessione posteriore del capo, interferendo con la visuale.

Il meccanismo compensatorio

Come già osservato, per recuperare l'orientamento orizzontale degli occhi, i muscoli anteriori della colonna cervico-dorsale entrano in eccesso di tensione e, "srotolando" in avanti il rachide, antepongono il cranio.

A tale anteposizione concorrono direttamente anche gli sternocleidomastoidei.

La visuale orizzontale è così recuperata ma il baricentro craniale non si trova più allineato col corpo vertebrale di D3.

Calcolo del momento di forza

Si determina così un momento di forza M determinato dal prodotto della forza G applicata al baricentro craniale e la forza, uguale e contraria, R applicata al corpo di D3 moltiplicato per la loro distanza.

Esempio pratico di calcolo: Un cranio pesa circa 5 kg. Supponendo che tra meato acustico (dove si applica il baricentro complessivo craniale) e spinosa di D3 (dove è applicata la contropinta R) intercorra una distanza d , di 3 cm, questo significa che i muscoli posteriori tra cranio e D3 devono esercitare una forza complessiva pari a $G \times d = 15 \text{ kg}$ per impedire alla testa di "cadere".

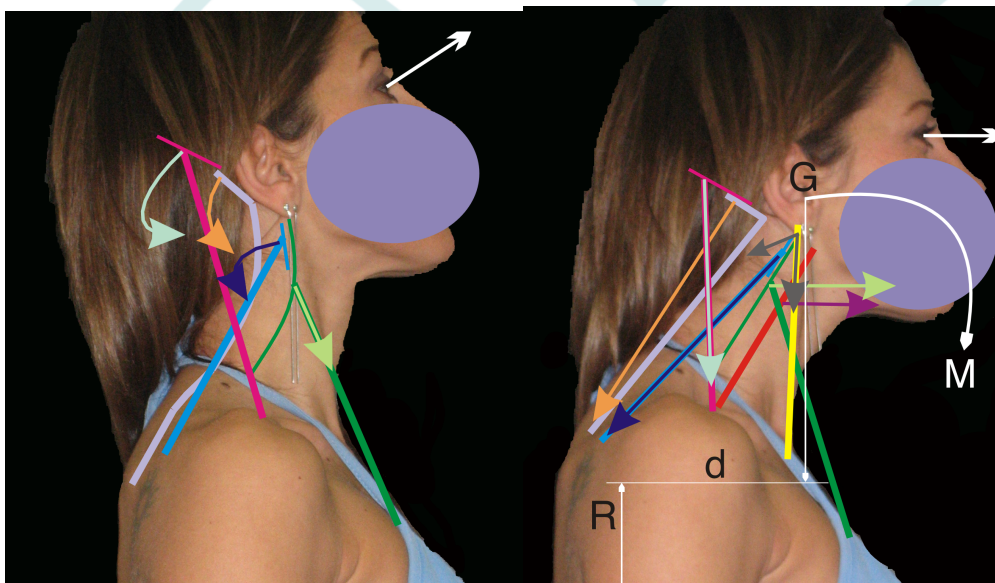


Figure 18 e 19: Se i muscoli posteriori entrano primariamente in accorciamento, il cranio si trova in flessione posteriore e lo sguardo orientato verso l'alto. Per riottenere l'orizzontalità dello sguardo, i muscoli posti al davanti della colonna proiettano anteriormente cranio e prime vertebre cervicali. Col cranio in ante-posizione, i muscoli posteriori devono aumentare ulteriormente la loro tensione per bilanciare il momento di forza M . Paravertebrali: viola chiaro; fascio superiore trapezio: magenta; scaleni: verde; anteriori del collo: rosso; elevatore della scapola: blu; sternocleidomastoideo: giallo

2.6 Interpretazione dei quadri radiografici

Rettificazione obliqua in avanti

In alcuni quadri radiografici si evidenzia la rettificazione della colonna cervicale, con andamento obliquo in avanti.

Questo può essere espressione della risultante prodotta primariamente dai muscoli anteriori, che spostano in avanti il cranio con lo sguardo diretto al suolo.

Il recupero della visuale orizzontale sarà poi realizzata dagli estensori del capo.

Rettificazione verticale

Quando invece radiograficamente la colonna appare rettificata e verticale, essendo il quadro incompatibile con l'azione dei muscoli agenti localmente, la rettificazione è la risultante della diminuzione della cifosi dorsale fisiologica ad apice D5, causata dai paravertebrali dorsali e dagli adduttori scapolari.

Test diagnostico

Anche quando la colonna cervicale appare rettificata e obliqua, la causa del quadro è spesso l'iperlordosi: infatti, quando si tenta di riportare il cranio sulla verticale della cifosi dorsale (passivamente, attivamente o posizionando il paziente supino), la conseguente co-contrazione di tutti i muscoli agenti in colonna cervicale rivelerà l'aumento della lordosi.

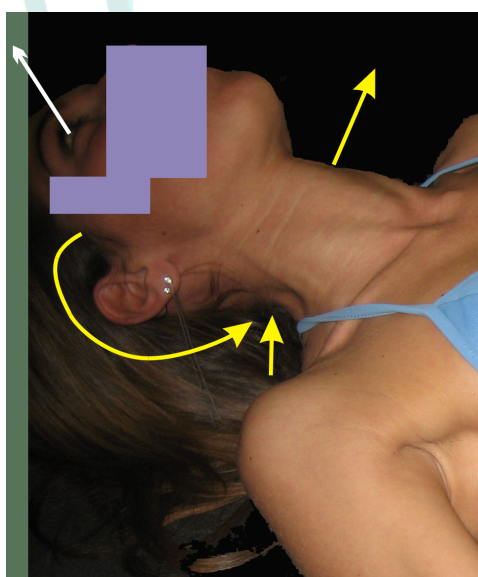
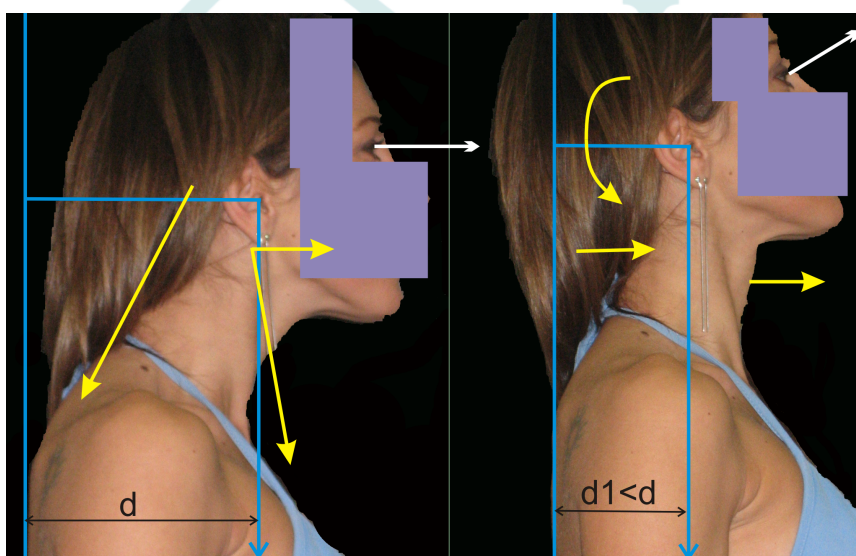


Figure 20 e 21: Confronto di controllo - foto abituale a sinistra e posteriorizzazione del cranio a destra. La posteriorizzazione attiva del cranio rispetto alla condizione abituale determina il passaggio della colonna cervicale dalla rettilinizzazione in direzione obliqua all'iperlordosi perdendo l'orizzontalità dello sguardo. Ad analogo effetto si assiste mettendo la paziente supina. In entrambi i casi si può "leggere" la rettilinizzazione come risposta funzionale adattativa a una primaria condizione di iperlordosi.

2.7 Conseguenze biomeccaniche sui dischi intervertebrali

Sia che la colonna cervico-dorsale presenti una aumentata lordosi o una rettificazione con proiezione anteriore del capo, le forze G e le reazioni R, applicate al cranio e alle singole vertebre,

determinano momenti di forza sui segmenti vertebrali e compressioni con le loro componenti g ed r ai dischi intervertebrali.

In iperlordosi

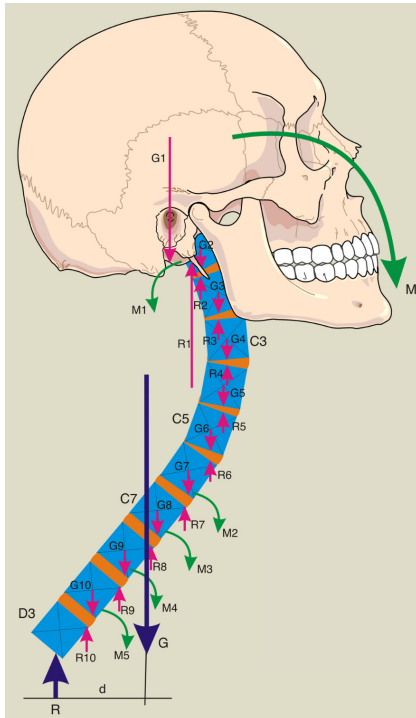


Figura 22: Colonna cervico-dorsale in eccesso di lordosi. Le singole forze G applicate ai singoli baricentri e le loro reazioni R determinano l'addensamento delle componenti g ed r (non rappresentate) in alcuni punti dei dischi articolari che subiranno forze compressive. Le singole forze G ed R determinano inoltre momenti di forza al cranio ($M1$) e alle vertebre da $C6$ a $D2$ ($M2$, $M3$, $M4$, $M5$). Le forze compressive G ed R creano il momento di forza complessivo M . I muscoli posteriori, oltre ad aver determinato l'iperlordosi, devono agire ad alta intensità per equilibrare il momento di forza M . Così facendo, determinano ulteriori compressioni meccaniche posteriori ai dischi articolari tra $C2$ e $C6$.

In rettificazione obliqua

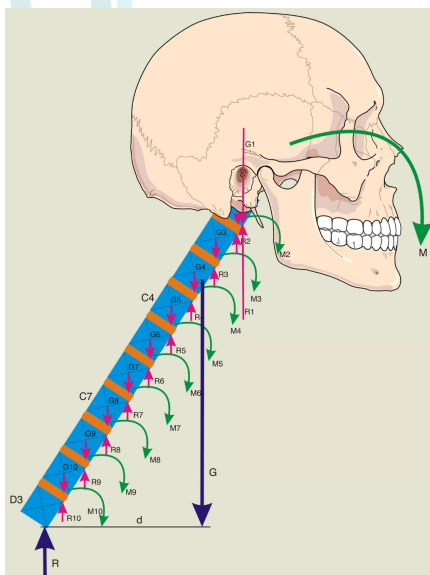


Figura 23: Colonna cervico-dorsale rettilinizzata e obliqua per l'azione degli anteriori del collo, scaleni e sternocleidomastoidei. Le singole forze G ed R determinano i momenti di forza da $M2$ a $M10$. Le componenti g ed r creano compressioni meccaniche alle porzioni anteriori dei dischi intervertebrali. Le forze compressive G ed R determinano un momento di forza M che deve essere equilibrato dalla tensione dei muscoli posteriori.

2.8 Conclusioni e strumenti diagnostici

Sulla colonna cranio-cervico-dorsale agiscono muscoli sia anteriori che posteriori e il loro bilanciamento determina la corretta posizione nello spazio del tratto scheletrico.

Il potenziale bilanciamento dei muscoli anteriori è possibile solo in condizione di lordosi fisiologica.

Il suo aumento ad opera dei muscoli posteriori (che non invertono mai la loro azione) determina l'inversione di azione degli anteriori, trasformandoli in co-agonisti dei posteriori.

Quando ciò accade, oltre ai cambi di curva si determinano compressioni sui dischi inter-vertebrali indotti, bilateralmente, dalle componenti vettoriali verticali dei muscoli obliqui che si sommano.

Test diagnostico: trazione craniale

Un modo per differenziare e individuare la **dominanza nella** produzione di iperlordosi tra muscoli anteriori e posteriori è quello di effettuare, in posizione supina, una piccola trazione craniale:

- Se con la trazione la colonna tende a normalizzarsi è ipotizzabile una dominanza dei muscoli posteriori e la manovra può diventare anche uno strumento efficace di trattamento.
- Se alla trazione la colonna viene proiettata in avanti (anche di una singola o coppia di vertebre) questo è il segnale della dominanza dei muscoli anteriori e la manovra, ripetuta in terapia, aggraverebbe il quadro.

