

Dal Concetto di Catene Muscolari ai Sistemi Complessi

dott. Mauro Lastrico – dott.ssa Laura Manni

Dalle catene muscolari ai sistemi complessi: un'evoluzione storica e scientifica

Il concetto di "catene muscolari" ha radici storiche che precedono di molti decenni la sua sistematizzazione clinica moderna. Nel 1875, Reuleaux introdusse il concetto di "catena cinetica" come sistema meccanico dove il movimento di un segmento ha determinati rapporti con ogni altro segmento del sistema.

Successivamente, nel 1924, Baeyer definì il "sistema articolare cinematico", trasformando l'idea di segmenti anatomici semplici in componenti di un sistema più complesso: "la catena muscolare".

Fu però nel 1947 che una fisioterapista francese, Françoise Mézières, trasformò queste intuizioni teoriche in una rivoluzione clinica.

Attraverso la sua "osservazione capitale", Mézières scoprì che i numerosi muscoli dorsali si comportavano come un solo muscolo, troppo forte e troppo corto.

Questa osservazione la portò a formulare il concetto moderno di catena muscolare, intesa come gruppo di muscoli poliarticolari le cui inserzioni si "sovrappongono come le tegole di un tetto", formando sistemi funzionali integrati.

La metodica di Mézières si diffuse rapidamente e ispirò numerosi sviluppi successivi.

Negli anni seguenti, altri ricercatori come Souchard, Busquet e Myers elaborarono ulteriori classificazioni e applicazioni delle catene muscolari, ciascuno apportando contributi specifici alla comprensione di questi sistemi interconnessi.

Dall'empirismo alla scienza

L'evoluzione del concetto di catene muscolari mostra il passaggio graduale da intuizioni empiriche a spiegazioni scientifiche.

Le osservazioni di Mézières erano basate su evidenze cliniche piuttosto che su modelli matematici. Le sue "leggi" trovarono spiegazione scientifica solo tempo dopo, attraverso l'applicazione della fisica e della matematica ai sistemi biologici.

Questo processo evolutivo rispecchia come la scienza progredisca: dall'osservazione empirica alla comprensione teorica, dalla teoria alla validazione sperimentale.

I principi che Mézières aveva intuito clinicamente trovano conferma nelle leggi fisiche che governano i sistemi complessi.

Il salto concettuale: dai sistemi lineari ai sistemi complessi

Il presente capitolo affronta il passaggio dal concetto di catene muscolari verso una comprensione più ampia dei sistemi complessi.

Mentre le prime teorizzazioni delle catene muscolari si basavano su modelli interpretativi lineari, la moderna scienza dei sistemi complessi offre strumenti matematici e fisici per comprendere il comportamento del sistema muscolo-scheletrico.

La matematica non lineare e la teoria dei sistemi complessi spiegano fenomeni che la visione tradizionale non riusciva a interpretare: come piccole disfunzioni possano generare sintomatologie diffuse, perché i compensi siano spesso imprevedibili, come il corpo riesca a sviluppare strategie adattative.

Questi concetti rappresentano l'applicazione di principi fisici avanzati al sistema muscolo-scheletrico.

I sistemi complessi: definizione e scala di osservazione

Un sistema complesso può essere definito come qualunque "cosa" composta da più di un elemento. Questa definizione racchiude una caratteristica essenziale: la natura scalare e infinitamente divisibile della complessità.

Il concetto di sistema complesso funziona come una clessidra aperta, espandendosi sia verso il micro che verso il macro.

Ogni individuo rappresenta un sistema complesso rispetto ai propri apparati - viscerale, neurologico, muscolo-scheletrico, ecc.

Ciascuno di questi apparati è a sua volta scomponibile in sottosistemi: il sistema muscolo-scheletrico si divide in distretti, ogni distretto in articolazioni, ogni articolazione in componenti specifiche, e così via verso l'infinitamente piccolo.

La stessa logica si applica in direzione opposta: l'individuo diventa sottosistema quando si vuole studiare il comportamento di una popolazione, che a sua volta diventa sottosistema nell'analisi di fenomeni continentali o planetari, procedendo verso l'infinitamente grande fino a comprendere l'intero universo.

Solo nella fisica quantistica esistono elementi che non sono ulteriormente divisibili.

Per la fisica generale qualunque sistema può essere scomposto in elementi più piccoli: è solo questione di disporre degli strumenti adeguati per farlo.

Questa caratteristica di infinita divisibilità e ricomposizione rappresenta una delle proprietà dei sistemi complessi.

Le quattro caratteristiche dei sistemi complessi

Quello che comunemente viene chiamato "catena muscolare" rappresenta in realtà un esempio di sistema complesso, governato da leggi fisiche precise e prevedibili.

Non si tratta di sostituire i concetti classici, ma di fornire loro una base scientifica che ne spieghi il funzionamento e ne ampli le possibilità applicative.

1 Prima caratteristica: interdipendenza e interazione degli elementi

In un sistema complesso tutti gli elementi che lo compongono sono interdipendenti e interagenti.

È il classico esempio della ragnatela: agendo su una porzione è l'intera ragnatela che deve adattarsi alla modifica.

Applicando questo principio al sistema muscolo-scheletrico, qualunque azione segmentaria localizzata a un distretto corporeo determinerà adattamenti nei distretti adiacenti.

Adattamenti che potrebbero essere correttivi o di entità trascurabile, ma potrebbero anche essere aggravanti.

Approfondendo ulteriormente l'analisi, sappiamo che se l'azione distrettuale avviene in senso correttivo degli assi scheletrici ma determina l'aumento dell'energia del sistema - nel senso dell'aumento del tono muscolare - si verificheranno aggravamenti sistemici superiori alla correzione ottenuta.

Esempi clinici di interdipendenza

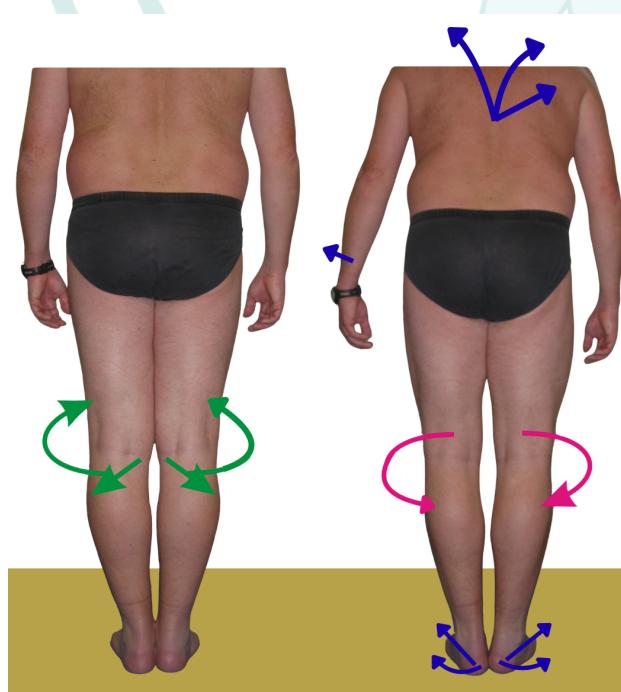


Fig. 01 - In abituale, foto a sinistra, il paziente presenta un'intrarotazione degli arti inferiori evidenziata dalla proiezione posteriore dei condili femorali mediali (frecce verdi). Alla richiesta di correzione attiva, foto a destra (frecce magenta), ed alla correzione passiva (non rappresentata), si evidenziano delle modifiche dell'assetto corporeo (frecce blu):

- flessione anteriore del tronco e sua lateralizzazione
- abduzione arto superiore;
- apertura della base d'appoggio con spostamento del carico sul bordo esterno del piede;

con conseguente maggior difficoltà nel mantenimento della stazione eretta ed un aumento sistematico del tono muscolare. In questo caso le componenti aggravanti sistemiche derivate dall'azione correttiva locale sono di maggiore entità rispetto all'effetto positivo della correzione stessa.

Nell'esempio precedente, la correzione locale ha richiesto l'attivazione ad alta intensità di alcuni gruppi muscolari. Nell'esempio seguente, al contrario, la richiesta correttiva è a basso dispendio teorico di energia: la derotazione degli arti superiori che dovrebbe avvenire per la sola attivazione degli extrarotatori omerali.

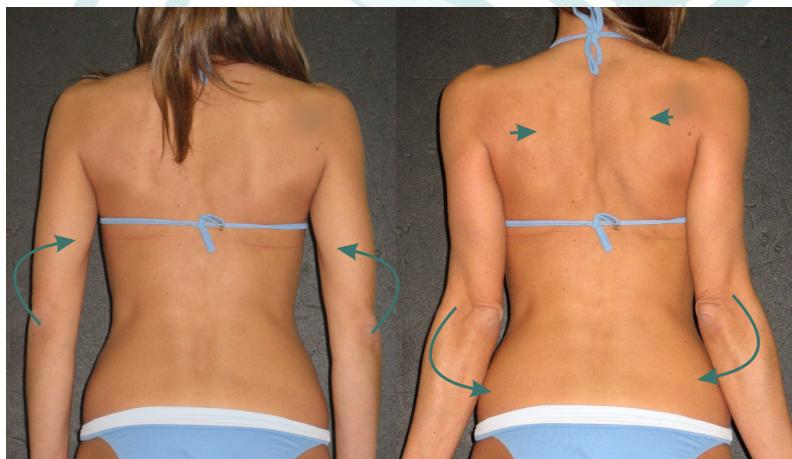


Fig. 02 - Foto a sinistra: paziente in abituale in cui si evidenzia la rotazione interna degli omeri. Foto a destra: viene richiesta la rotazione esterna degli omeri. Pur non presentando problematiche di spalla, la paziente attiva in co-contrazione con gli extrarotatori altri gruppi muscolari che determinano scheletricamente l'adduzione delle scapole, con proiezione anteriore ed in compressione delle vertebre dorsali e l'innalzamento del tono. Anche in questo l'aggravamento sistematico è superiore alla correzione ottenuta.

È quindi possibile che i tentativi di auto-correzione - il genitore che dice al figlio "stai dritto", le auto-correzioni davanti allo specchio, le indicazioni segmentarie sulla dinamica - nascondano le insidie di aggravamenti strutturali.

Di conseguenza, anche gli interventi terapeutici dovranno essere modulati per evitare l'insorgenza di problematiche "matematicamente certe".

2 Seconda caratteristica: comprensione sistemica necessaria

La comprensione del funzionamento di un sistema complesso può avvenire esclusivamente considerando il sistema nel suo insieme.

Questo significa che per interpretare il significato delle strategie segmentarie sia statiche che dinamiche che il sistema mette in atto, è necessario osservare i collegamenti tra il pattern alterato distrettuale e i pattern complessivi.

Significa, tra l'altro, che il sintomo può essere espressione di una sofferenza locale, riferita, o di un disagio sistemico.

Per individuare l'origine centrale di sintomi periferici ci si baserà su un'analisi muscolo-scheletrica complessiva, sull'utilizzo delle tavole dermatomeriche e di quelle di innervazione periferica; l'esecuzione di test analitici e sistemici permetterà di rilevare le dominanze che interferiscono sul bilanciamento muscolare e di distinguere tra accorciamenti primari e secondari.

3 Terza caratteristica: abilità emergenti e momenti sostitutivi

Un sistema complesso, nel perseguitamento dei propri obiettivi, è in grado di generare soluzioni non prevedibili dall'esame dei singoli elementi.

È in grado cioè di generare "abilità emergenti".

Questa terza caratteristica ha risvolti terapeutici molto importanti.

Sostanzialmente significa che nel compiere un'azione non verranno necessariamente impiegati solo i muscoli anatomicamente preposti all'azione.

Tali muscoli possono essere sostituiti o accompagnati da muscoli che secondo un'analisi vettoriale di matematica lineare non dovrebbero o non potrebbero entrare in gioco.

Si determinano, cioè, momenti sostitutivi.

I due contesti dei momenti sostitutivi

Tali momenti si manifestano in due occasioni principali:

3.1 Sostituzione per ottimizzazione energetica

Dalla fisica sappiamo che le coppie di forza rispetto alle singole forze presentano il vantaggio di eseguire un miglior lavoro utilizzando complessivamente minore energia.

Quasi tutti i muscoli hanno la possibilità di avvalersi di sinergisti (coppie di forza) mentre altri si trovano "isolati" e vettorialmente sottodominanti nella loro azione di agonisti o antagonisti.

Alcuni esempi: il retto addominale, nella discesa del torace nell'atto respiratorio attivo; il gran dentato, nell'abduzione della scapola per la proiezione anteriore dell'arto superiore; il retto femorale nell'antropulsione dell'emibacino omolaterale durante la deambulazione e nel bilanciamento della retroversione del bacino nel salire le scale; gli ioidei nell'apertura della mandibola.

I centri corticali (sistema piramidale) individuano l'obiettivo di movimento, cioè il "cosa", mentre il "come" è sotto il controllo dei centri sottocorticali (sistema extrapiramidale) attraverso una mappatura definita "schema corporeo".

Il "cosa" è prioritario sul "come".

Se gli antagonisti al movimento “obiettivo” risultano in eccesso di forza resistente, cioè in accorciamento, i muscoli isolati si trovano in sotto-dominanza vettoriale e nell'impossibilità di eseguire l'azione.

Poiché l'azione ha la prevalenza sulla modalità esecutiva, questi muscoli verranno integrati da altri muscoli, attraverso pattern coordinativi emergenti che permetteranno un'azione finalizzata in alterazione del movimento scheletrico fisiologico.

Il sistema neuromuscolare sviluppa strategie coordinate che trascendono la funzione anatomica isolata del singolo muscolo, creando risultanti vettoriali inaspettate attraverso l'attivazione in sinergia di gruppi muscolari non previsti dall'analisi segmentaria.

Esempi di strategie sostitutive

Caso dell'extrarotazione omerale: Nella figura 2 sono state evidenziate le reazioni scheletriche “eccessive” alla semplice richiesta di derotazione omerale.

Andando più nello specifico, alla palpazione e alla vista è osservabile l'interessamento, oltre che degli adduttori scapolari e dei fasci superiori del trapezio, anche l'attivazione dei gran dorsali e dei sottoscapolari.

La paziente ha utilizzato gli intrarotatori omerali a supporto degli extrarotatori.

Come gli intrarotatori omerali possano contribuire all'extrarotazione attraverso pattern di reclutamento non convenzionali non è spiegabile con diagrammi vettoriali isolati: è un'abilità emergente che il sistema utilizza attraverso coordinazioni sinergiche complesse per arrivare al “cosa” nel “qui e ora”.

Strategia respiratoria sostitutiva: nell'inspirazione fisiologica a riposo, il diaframma, dopo essersi abbassato, dovrebbe permettere alle sue inserzioni costali di aumentare il volume laterale della gabbia toracica.

Nel caso in cui, ad esempio il gran dorsale, opponga resistenza all'espansione laterale del torace, essendo la funzione respiratoria prioritaria, il diaframma con le sue inserzioni vertebrali e insieme allo psoas con cui è in coppia di forza, provvederà a sollevare il torace aumentando la lordosi.

L'aumento della lordosi sarà confermato visivamente dall'addome che si “gonfia”.

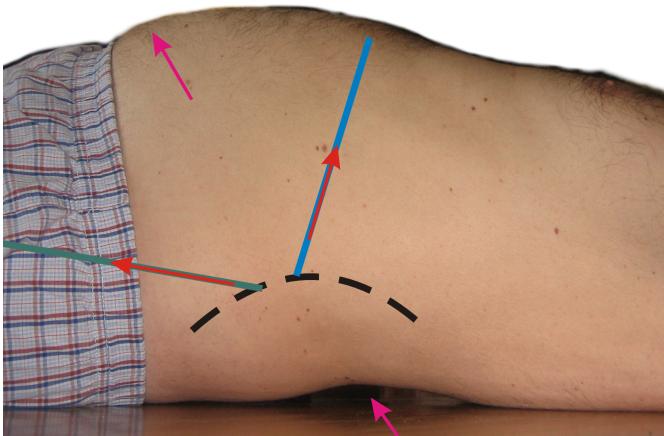


Fig. 03 - Pilastri del diaframma: blu; psoas: verde. Durante l'inspirazione il paziente utilizza la coppia diaframma-psoas in sostituzione della dinamica costale del diaframma. Il torace si solleva e la zona ipogastrica si espande come risultante meccanica della proiezione anteriore della colonna dorso-lombare (frecce magenta).

3.2 Muscoli frequentemente sostituiti

I muscoli che tendono a essere sostituiti non sono casuali ma sono prevedibili, secondo la logica matematica delle coppie di forza:

- Sottoioidei
- Dentato anteriore
- Retto addominale
- Tricipite brachiale
- Quadricep femorale
- In generale i monoarticolari

Gli stessi che, ad esempio, Françoise Mézières aveva definito "fuori catena" nelle sue osservazioni empiriche.

3.3 Strategie protettive e blocchi muscolari

Il secondo filone di indagine sui momenti sostitutivi è indirizzato a individuare blocchi articolari non meccanici ma muscolari, finalizzati alla protezione di possibili conflitti meccanici diretti o indiretti.

L'assenza di dolore non è necessariamente sinonimo di assenza di patologie latenti o possibili.



fig 1

fig 2

Fig. 04 - Durante la deambulazione, il paziente, nella fase in cui entrambi i piedi sono in appoggio, mostra una limitata estensione dell'anca. Rispetto all'asse verticale, l'angolo alfa 2 risulta minore dell'angolo alfa 1 (fig 1). Raggiunto l'angolo alfa2, inizia la flessione dell'arto inferiore e la proiezione anteriore del bacino (fig 2).

In questo caso, la limitazione dell'estensione potrebbe essere dovuta ad un meccanismo protettivo che limiti la messa in tensione dell'ileopsoas (tratti rossi) che a sua volta determinerebbe l'aumento della lordosi lombare.

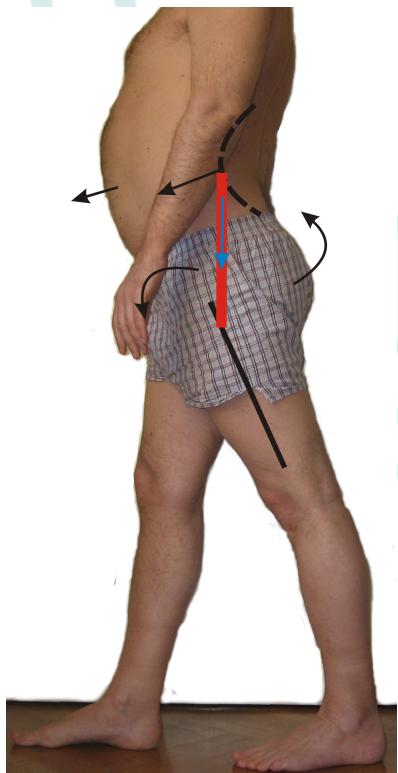


Fig. 05 - Al paziente è stata richiesta una maggior estensione dell'anca mantenendo il piede in appoggio (il test articolare non ha evidenziato problematiche alla coxo-femorale).

Come conseguenza dell'azione il paziente lamenta la comparsa di dolore in zona lombare (non percepito durante la deambulazione spontanea).

Visivamente si evidenzia (frecce nere):

- antiversione del bacino
- proiezione anteriore colonna lombare
- proiezione anteriore regione ipogastrica

L'ipotesi è che l'estensione dell'anca metta in tensione lo psoas (rosso).

La limitazione all'ampiezza articolare della coxo-femorale sembra quindi funzionale alla salvaguardia di potenziali conflitti latenti in regione lombare.

Visivamente si evidenzia (frecce nere):

- *antiversione del bacino*
- *proiezione anteriore colonna lombare*
- *proiezione anteriore regione ipogastrica*

L'ipotesi è che l'estensione dell'anca metta in tensione lo psoas (rosso).

La limitazione all'ampiezza articolare della coxo-femorale sembra quindi funzionale alla salvaguardia di potenziali conflitti latenti in regione lombare.

Implicazioni terapeutiche

Terapeuticamente è importante rilevare le strategie sostitutive in atto e creare le condizioni affinché i muscoli isolati riprendano la loro funzione anatomica.

Ciò è ottenibile attraverso il recupero di lunghezza dei muscoli "freno", quelli in eccesso di forza resistente, in modo che i muscoli sottodominanti tornino ad essere svincolati e automaticamente reinseriti nel funzionamento sistematico.

Non si tratta di rinforzare i sottodominanti ma di "liberarli" dall'interferenza dei dominanti.

4 Quarta caratteristica: equilibrio ai margini del caos

Il concetto di Equilibrio ai Margini del Caos è mutuato dalla Teoria della Dinamica Non Lineare e dalla Teoria del Caos Deterministico, dove rappresenta la condizione in cui un sistema complesso opera con massima efficienza e adattabilità.

Biomeccanicamente, questo stato è identificato dalla dominanza della Forza Lavoro sulla Forza Resistente.

In questa regione, il sistema risponde in modo ottimale ai piccoli segnali (perturbazioni), modificando il proprio stato con il minimo dispendio energetico.

Un sistema complesso, quindi, utilizza al meglio la propria energia quando si pone ai "limiti del caos", quando cioè gli elementi di stabilità e dinamicità sono in equilibrio tale da permettere a piccoli segnali di modificare lo stato del sistema.

Riferito al sistema muscolare, questo si pone ai limiti del caos quando la Forza Lavoro è dominante sulla Forza Resistente, quando cioè gli elementi dinamici prevalgono su quelli statici che saranno calibrati al minimo necessario per garantire la stabilità articolare: $FL >> FR$

Una delle prerogative dei sistemi complessi è la capacità di adattamento: il "margin del caos" è il luogo in cui vi è sufficiente innovazione da dar vita a un sistema dinamico, e sufficiente stabilità da impedirgli di precipitare nell'anarchia.

Se un sistema vivente si avvicina troppo al margine dinamico rischia di precipitare nell'incoerenza; ma se si ritrae troppo diventa rigido.

Le condizioni ottimali

La sinusoide vertebrale fisiologica e la fisiologica successione articolare sistemica sono possibili solo se non vi sono alterazioni strutturali specifiche e se tutti i muscoli lavorano in condizioni di lunghezza ideale.

In queste condizioni il sistema muscolo-scheletrico si trova a essere "ai margini del caos" in quanto attraverso piccoli segnali potrà guidare comportamenti diversi risparmiando energia.

Potrà, ad esempio, passare dalla fase statica a quella dinamica con un piccolo spostamento di un segmento corporeo.

Il circuito di autoalimentazione della rigidità

Se il sistema muscolare è in aumento di forza resistente per eccesso di tono basale della componente contrattile e se quest'ultimo perdura nel tempo, si determina l'interessamento della porzione connettivale della fibra, con accorciamenti della lunghezza dei muscoli stessi (accorciamenti muscolari primari).

Analogo meccanismo può avvenire come conseguenza di una disfunzione di un altro apparato (accorciamenti muscolari secondari).

In entrambi i casi la conseguenza sarà il disallineamento dei singoli baricentri scheletrici e la perdita della capacità dinamica dei muscoli.

Il sistema entrerà in un circuito di autoalimentazione: il disallineamento dei singoli baricentri scheletrici richiede una maggior contrazione basale per il mantenimento della stazione eretta e per la dinamica; l'aumento del tono basale determina l'accorciamento del muscolo con conseguente ulteriore disallineamento dei baricentri e modifiche dell'andamento sinusoidale della colonna e dell'assialità di tutte le altre articolazioni.

Il sistema si allontana dal "margine del caos" e diviene rigido.

Conclusioni: la trasformazione concettuale

Questa trasformazione concettuale - dalle catene muscolari empiriche ai sistemi complessi fisicamente dimostrabili - rappresenta il naturale sviluppo di intuizioni geniali verso una comprensione scientifica completa del sistema muscolo-scheletrico umano.

Le quattro caratteristiche dei sistemi complessi offrono una chiave interpretativa per fenomeni che prima erano osservati nella realtà ma inspiegabili, aprendo nuove possibilità diagnostiche e terapeutiche basate sui principi della fisica.

L'applicazione della teoria dei sistemi complessi al sistema muscolo-scheletrico trasforma osservazioni empiriche in analisi quantificabili.

Le quattro caratteristiche forniscono strumenti interpretativi basati su principi fisici verificabili, permettendo di prevedere e comprendere comportamenti che l'approccio lineare non poteva spiegare.

Concetti chiave del capitolo

Evoluzione storica: da catene muscolari a sistemi complessi Da Reuleaux (1875) a Mézières (1947) fino alla moderna teoria dei sistemi complessi. Il passaggio da intuizioni empiriche a spiegazioni scientifiche basate su principi fisici dimostrabili.

Prima caratteristica: interdipendenza e interazione In un sistema complesso tutti gli elementi sono interdipendenti. Ogni azione locale determina adattamenti sistemici che possono essere correttivi o aggravanti (esempio della ragnatela).

Seconda caratteristica: comprensione solo sistemica Il funzionamento può essere compreso esclusivamente considerando il sistema nel suo insieme. Il sintomo può essere espressione locale, riferita o di disagio sistemico.

Terza caratteristica: abilità emergenti e momenti sostitutivi Il sistema genera soluzioni non prevedibili dall'esame dei singoli elementi. Muscoli anatomicamente non preposti possono sostituirsì per raggiungere l'obiettivo ("cosa" prioritario sul "come").

Quarta caratteristica: equilibrio ai margini del caos Sistema ottimale quando la Forza Lavoro domina sulla Forza Resistente. Piccoli segnali modificano lo stato risparmiando energia. Rigidità = allontanamento dal margine del caos.

Muscoli frequentemente sostituiti Sottoioidei, dentato anteriore, retto addominale, tricipite brachiale, quadricipite femorale, monoarticolari in generale. Quelli che Mézières chiamava empiricamente "fuori catena".

Correzioni locali con aggravamenti sistemici Se la correzione distrettuale aumenta l'energia del sistema (tono muscolare), gli aggravamenti sistemici superano i benefici locali ottenuti.

Strategie protettive attraverso limitazioni funzionali Blocchi articolari muscolari (non meccanici) per evitare la manifestazione di conflitti latenti. L'assenza di dolore non significa assenza di patologie potenziali.

Natura scalare della complessità Sistema complesso espandibile sia verso il micro (articolazioni→componenti→molecole) che verso il macro (individuo→popolazione→universo). Infinita divisibilità e ricomposizione.