

La meccanica di scorrimento delle strutture sottocutanee nell'uomo Messa in evidenza di un'unità funzionale: i microvacuoli

J.C.GUIMBERTEAU
INSTITUT AQUITAIN DE LA MAIN

Posta elettronica: adf.guimberteau@wanadoo.fr

Sintesi

La mobilità delle nostre strutture è talmente intrinseca e naturale che l'uomo non si pone alcun interrogativo in materia.

Prendere la pelle e rialzarla, lasciarla andare e osservarla mentre torna come prima in pochi secondi è certamente un gesto semplice e banale. Si tratta invece di una realtà affascinante, se si pensa a tutti gli elementi che entrano in gioco. Come quando chiudiamo le dita: pensiamo al movimento del tendine flessore lungo il palmo, senza che tale movimento si traduca in sollecitazioni esterne.

Per decenni, le spiegazioni scientifiche si sono limitate alla nozione di elasticità o all'esistenza del tessuto connettivo lasso lamellare con, più o meno, uno spazio virtuale. In termini biomeccanici, tuttavia, la spiegazione è alquanto vaga.

Questi vecchi concetti si sono evoluti negli ultimi 50 anni e la ricerca scientifica è passata al livello microscopico, abbandonando il concetto globale, mesosferico.

La dissezione chirurgica in vivo mostra che vi sono solo connessioni tessutali, una vera e propria continuità istologica senza separazioni nette fra pelle e ipoderma, vasi, aponeurosi e muscolo. Sono visibili ovunque strutture che assicurano lo scorrimento, fra aponeurosi muscolare, strutture grasse e derma.

Gli autori, nel corso dei loro studi sui sistemi di scorrimento fra organi, in particolare a livello tendineo, hanno rilevato l'esistenza di un sistema composto da strutture simili a funi, cavi e vele, denominato Sistema Collagenico Multimicrovacuolare di Assorbimento Dinamico (*Multimicrovacuolar Collagen Dynamic Absorption System - MCDAS*)

Si tratta di un sistema dall'organizzazione totalmente caotica e caratterizzato da un funzionamento che si discosta nettamente dalle tradizionali analisi meccaniche.

L'unità funzionale dello scorrimento delle strutture, determinata dall'incrocio delle tre dimensioni nello spazio, è il microvacuolo, unità di forma poliedrica con armatura collagenica di tipo I o III e dal contenuto costituito da proteoglicanoamminoglicani.

La dinamica del sistema multimicrovacuolare, grazie alle diverse proprietà di presollecitazione e di fusione-scissione-dilacerazione molecolare, consente di realizzare tutte le finzze di movimento all'interno del corpo umano, associando mobilità, rapidità, interdipendenza e adattabilità plastica.

La nozione di microvacuolo è tanto più affascinante in quanto permette di spiegare meglio la capacità del sistema di riempire lo spazio.

La materia è costituita da elementi: tali elementi, anche se la ripartizione sembra caotica, non si dispongono a caso. Occupano lo spazio in modo ottimale.

Se si accetta il concetto vacuolare, diventa possibile anche spiegare meglio patologie che sopraggiungono con l'età, come l'edema, l'obesità, l'invecchiamento e l'infiammazione.

Questo sistema di scorrimento si ritrova in tutto il corpo umano e sembra essere la trama tessutale organizzatrice di base. Per questo deve essere considerato secondo un'impostazione più olistica.

Parole chiave: materia vivente / collagene / glicaminoglicani / tendine / tunnel carpale / sistema di scorrimento/ tensegrità / concetto multimicrovacuolare.

Introduzione

Abbiamo realizzato 95 videoregistrazioni con analisi sequenziali sull'organismo umano vivo nel corso di interventi chirurgici.

La manipolazione dell'endoscopio dipende inevitabilmente dai limiti imposti dalla stessa endoscopia e il successo di una buona visione dipende da numerosi fattori. La qualità dei documenti è quella del digitale e le foto tratte da queste sequenze sono di buona qualità ma dipende sempre dai pixel. Tuttavia, tutti i tentativi di tornare alle tecniche del Reflex e dell'argentico sono stati un fallimento. Solo la camera permette di cogliere l'istante non riproducibile. In futuro migliorerà la qualità dei documenti, su questo non ci sono dubbi.

Infine, i rigorosissimi protocolli di sterilizzazione vietano l'utilizzo di materiale non accreditato durante gli interventi, il che complica ulteriormente le cose.

Subito dopo aver superato derma e ipoderma, si scopre un tessuto molto mobile su un piano assolutamente globale ripartito su tutta la superficie delle strutture, che occupa ogni piano detto di scollamento, ingloba i lobuli grassi e s'infiltra fra le fibre muscolari. Non sembrando «nobile» è stato a lungo trascurato, come tessuto di riempimento. È questo tessuto, anch'esso definito connettivo e areolare (attorno ai tendini denominato "paratendineo") che andiamo ad esplorare.

Se si afferra con delle pinze, si scopre un'organizzazione sorprendente in quanto apparentemente senza armonia, disorganizzata e vacuolare, in cui l'elevata trazione provoca movimenti strani che sono lo scoppio di piccoli vacuoli a pressione atmosferica, evidenziando la presenza di sistemi idraulici con pressione diversa.

Si tratta di un sistema composto da filamenti fibrillari che vanno in tutte le direzioni, con ripartizione molto caotica e delimitante gli spazi interfibrillari che chiameremo vacuoli, molto rifrangenti.

Questo sistema di scorrimento permette quindi di realizzare lo scorrimento ottimale senza scatti né sollecitazioni sui tessuti periferici. Abbiamo chiamato questo tessuto Sistema Collagenico Multimicrovacuolare di Assorbimento Dinamico (*Multimicrovacuolar Collagen Dynamic Absorption System - MCDAS*), in modo da evidenziarne correttamente il ruolo principale.

Messa in evidenza della nozione di microvacuolo

Dopo 30 anni di dissezioni chirurgiche e, soprattutto, 215 osservazioni realizzate in videoendoscopia (163 con laccio emostatico alla radice degli arti e 52 senza laccio emostatico in zone soprattutto toraciche e addominali) registrate e analizzate, (1, 2) possiamo confermare una totale continuità tessutale fra tutte le parti in causa di un'anatomia tradizionalmente troppo compartimentata. Quando, ad esempio, nei movimenti più ampi, pensiamo all'insieme pelle, arterie, vene, nervi, muscoli e tendini che si sposta tutto nello stesso senso, senza rottura, senza emorragia e in grado di tornare istantaneamente allo statu quo ante, dobbiamo fornire una spiegazione conforme alle nostre osservazioni e ai nostri dati attuali, senza accontentarci di dati ormai vecchi più di un secolo, osservati su cadaveri e conclusi prima del microscopio elettronico e dell'era biomolecolare.

Prendere la pelle e rialzarla (Fig. 1), lasciarla andare e osservarla mentre torna come prima in pochi secondi è certamente un gesto semplice e banale. Si tratta invece di una realtà affascinante, se si pensa a tutti gli elementi che entrano in gioco. Come quando chiudiamo le dita, se pensiamo al movimento lungo il palmo del tendine flessore.

L'esperienza chirurgica, inoltre, mostra le grandi differenze nella qualità delle strutture che abbiamo modo di operare: pelle tesa, rugosa, spessa, sottile, umida o secca, fragile o resistente.

Per decenni, le spiegazioni scientifiche si sono limitate alla nozione di elasticità o all'esistenza del tessuto connettivo lasso lamellare con, più o meno, uno spazio virtuale. In termini biomeccanici, tuttavia, la spiegazione è alquanto vaga.

Al di là di questi vecchi concetti, negli ultimi 50 anni la ricerca scientifica è passata al livello microscopico, abbandonando il concetto globale, mesosferico.

Fig. 1



Ancor più in questa ricerca, dove la cellula che sembra essere l'elemento vivo, attraente, intelligente, organizzatore e responsabile ha monopolizzato tutte le energie. Ma l'ambito extracellulare, spesso rappresentato nei manuali con alcuni tratti e alcune fibre, è stato gravemente trascurato. Questa ricerca scientifica viene realizzata attraverso la conoscenza acquisita con esperienze in vitro, su organi esclusi dal loro ambito naturale e le conclusioni sono troppo spesso bidimensionali.

Le nozioni di fascia e aponeurosi devono essere completamente riviste in quanto obsolete sul piano scientifico. Si tratta infatti di valori della fine del XIX secolo. (3)

Deve essere restituito il giusto ruolo al costituente principale, ossia all'elemento idrico. L'acqua è onnipresente nelle nostre strutture; ciò può essere perfettamente osservato a livello sottocutaneo. Non è possibile studiare l'organizzazione della materia vivente senza includere e approfondire le leggi elementari della meccanica dei fluidi, fra cui i concetti di pressione osmotica e tensione superficiale.

Metodo

I nostri studi si sono concentrati innanzitutto sulle zone di scorrimento dei tendini flessori al polso in zona III (4, 5).

Sono state eseguite 163 osservazioni con laccio emostatico, prima stretto poi gradualmente rilasciato, in modo da avere un flusso sanguigno sufficiente a riempire le strutture vascolari

ma non abbastanza ad inondare il campo operatorio. Sotto la pelle viene introdotto un endoscopio sterilizzato di 19 mm di diametro ad ingrandimento 25x, collegato ad una minicamera con controllo estemporaneo su videoschermo.

In caso di dissezione all'altezza del polso, è stata rilevata un'immagine vascolare facilmente reperibile e perfettamente istruttiva (Fig. 2). Curiosamente, l'immagine cambia durante i movimenti di flessione e estensione delle dita; un'immagine simile a quella di un'auto che fa il pieno in una stazione di benzina. L'auto è il tendine che va e viene. Un'immagine vascolare longitudinale è il tubo e un'altra immagine vascolare, in questo caso verticale, è la pompa di benzina. Questa semplice analogia ha il merito di mostrare chiaramente come, nei movimenti, pompa e auto non vadano alla stessa velocità e che il tubo si piega o si distende. Inoltre, anche i vasi attorno a questa "scena" vanno a velocità diverse. Ad esempio, il vaso n. 3 va più veloce della pompa ma anche dell'auto. Esistono quindi diverse velocità di progressione in occasione di un movimento all'interno di una zona tessutale omogenea, non gerarchizzata e continua. Come spiegare questa semplice osservazione?

Evidenza della continuità della materia e dell'esistenza di un tessuto di collegamento fra le diverse componenti funzionali

Le spiegazioni anteriori facevano intervenire il concetto di livelli stratificati che scorrono gli uni negli o sugli altri o il concetto di spazio virtuale, più facile da immaginare che da capire. Fiorivano nozioni come fascia, guaina sinoviale, viscerale o membranosa. Eppure, che si trattasse di dissezione chirurgica che non riesce a trovare un piano netto fra tendine e para tendine, o di constatazioni al microscopio elettronico, le nostre minuziose osservazioni ci spingevano a riaffermare la nozione di continuità della materia fra organo e guaina di scorrimento (Fig. 3).

Ci si trovava quindi di fronte all'inevitabile necessità di porre il problema in termini di dinamica globale, di materia continua, d'introdurre il concetto di continuità tessutale. Occorreva abbandonare la percezione di un corpo composto da diversi elementi funzionali riuniti.

Questa evidenza di una continuità totale della materia vivente imponeva inevitabili e nuovi vincoli di collegamento, organizzazione e comportamento. Questa visione, peraltro, si imponeva, non era fatta per volontà di adeguarsi alle tendenze olistiche. Non potevo continuare ad accettare queste nozioni di fascia che separa i tessuti in strati. Era un obbligo logico.

Fig. 2

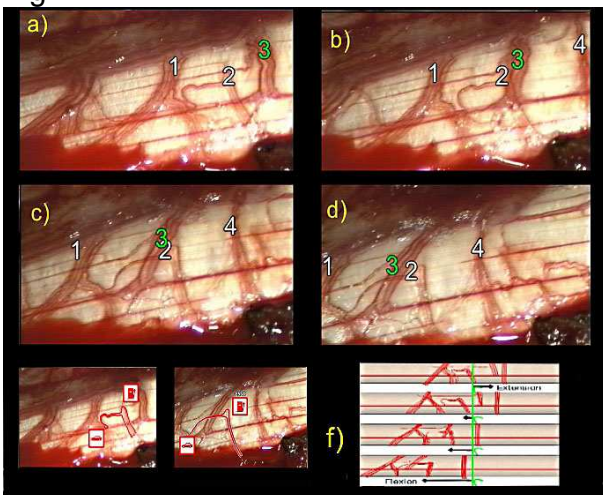
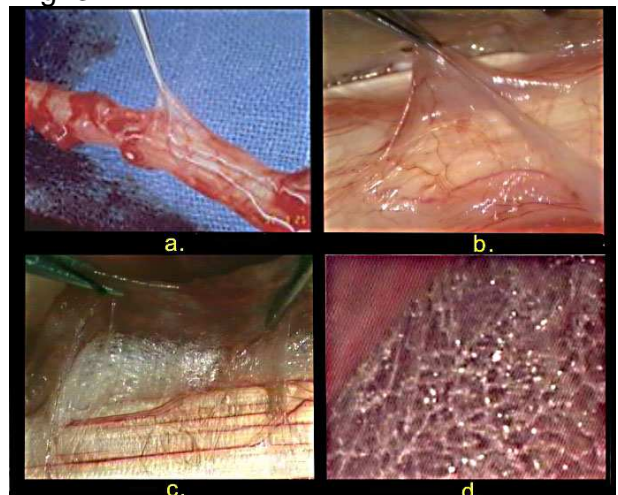


Fig. 3



Abbandono della teoria degli spazi lamellari, concentrici e stratificati a favore di una materia vivente continua la cui unità funzionale è il microvacuolo

Questo tessuto è costituito da miliardi di microvacuoli (Fig. 4), le cui dimensioni variano da alcuni micron a alcune decine di micron, organizzati con disposizione caotica, di aspetto frammentario, apparentemente simili ma tutti unici. Il volume vacuolare costituito dagli incroci delle fibre è concepibile solo nelle 3 dimensioni dello spazio. Il vacuolo è un volume con delle pareti, una forma, dei lati e un contenuto.

La maggior parte delle sequenze mette in evidenza forme pseudogeometriche che rispecchiano una ripartizione poligonale, con differenze di taglia in funzione del ruolo dinamico. Ad un maggiore spostamento longitudinale corrisponderà un'organizzazione vacuolare più fine e ripetuta; ma si tratta sempre di un ambito fibrillare poliedrico con un gel all'interno.

I costituenti

La struttura fibrillare. (Fig. 5)

Le fibre che costituiscono la struttura di ogni vacuolo sono in continuità le une con le altre e costituite essenzialmente di collagene di tipo 1 (70%), tipo 3 e 4 ma anche di elastina (circa 20%). È anche presente un'elevata percentuale di lipidi (4%).

Partono in tutte le direzioni senza alcuno schema prestabilito o in rapporto con una qualche logica. Si interconnettono, vibrando le une con le altre.

I diametri delle fibre sono di alcuni micron ma di lunghezza eccessivamente variabile, il che dà un aspetto disordinato e caotico, una successione di fasci, una rete di fusti con delle intumescenze. Non può essere osservato alcun punto di riferimento geometrico. Le fibre si incrociano, in modo molto netto o con delle zone intermedie non nitide, dette "escrescenze di Plateau" (*bourrelet de Plateau*), ossia veri e propri nodi, fissi, ad ancoraggio solido o mobile, con uno scorrimento che è funzione della spinta.

Un forte ingrandimento rivela variazioni laterali sui collagene, che suggeriscono che le catene di proteoglicani siano adesive e legate al collagene.

Lo spazio intravacuolare.

Questi proteoglicani, difficili da analizzare, costituiscono la parte intravacuolare e rappresentano, in forma di gel, uno spazio altamente idrofilo, con volume sicuramente costante ma pressione interna mutevole.

Si tratta di proteine come la decorina, glicosilate grazie a legami covalenti anionici con glicioaminoglicani o polisaccaridi solfatati.

Le forti cariche negative facilitano il passaggio ionico e attirano le molecole d'acqua all'interno del vacuolo, spiegandone la capacità di adattamento ai cambiamenti di volume, di resistenza alle sollecitazioni di pressione, creando l'edema, riempiendo gli spazi e facilitando la carica idrica.

Il legame molecolare fra fibrille di collagene I e i proteoglicani potrebbe essere la presenza di collagene di tipo IV, filamentoso, composto da 2 settori globulari e una tripla elica corta, che si aggrega in una struttura che ricorda una collana di perle.

Anche il collagene I ha delle interazioni con la decorina, proteoglicani di piccole dimensioni, ma anche con glicioaminoglicani non solfatati come lo ialuronano.

Questo insieme intravacuolare permette di resistere alla compressione mentre le fibre di

collagene o di elastina resistono alla tensione, sviluppando capacità di distendersi e ripiegarsi sotto sollecitazione meccanica.

La forma

Questa nozione di microvacuolo risulta affascinante anche per le sue caratteristiche polivalenti.

Essa permette infatti di spiegare meglio la capacità di riempire lo spazio. Un corpo vivente è uno spazio pieno di materia delimitato dalla pelle, da un carapace, una pellicola.

Fig. 4

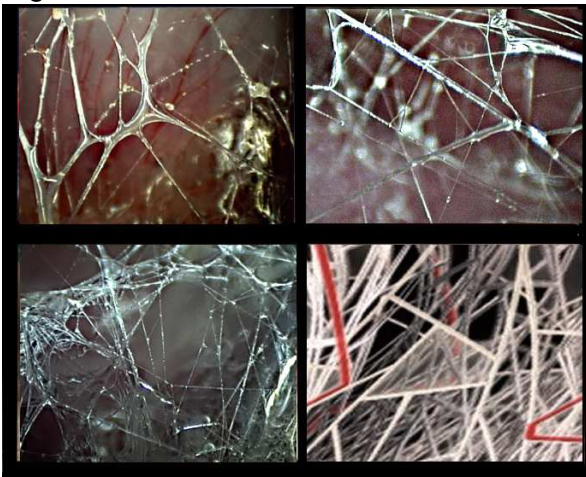
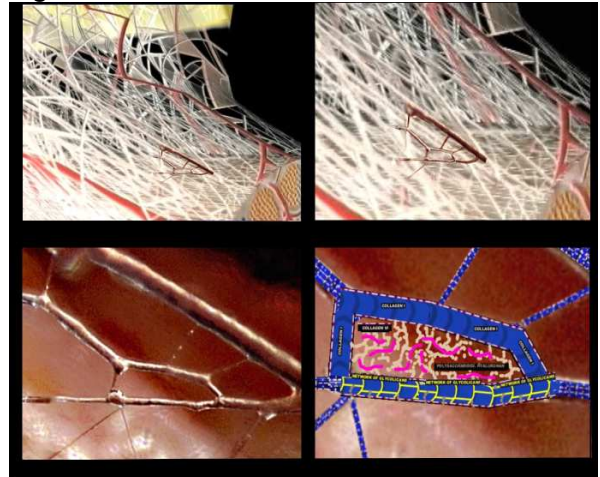


Fig. 5



La materia è costituita da elementi; tali elementi, anche se la ripartizione sembra caotica, non si dispongono a caso. Occupano lo spazio in modo ottimale. La cellula fa parte delle strutture di riempimento ma non è l'unica. Le strutture vacuolari circondano interamente e inglobano gli elementi cellulari. Talvolta la cellula costituisce solo una piccola parte degli elementi strutturanti di base. Esiste un'armatura di tipo poliedrico vacuolare con disposizione spaziale ottimale, al cui interno le cellule specializzate si raggruppano per formare l'organo.

Questo vacuolo deve anche essere in grado di accogliere tutte le esigenze di cambiamento morfologico sotto la minima sollecitazione, e le forme sono varie, tendenzialmente rotonde, triangolari, rettangolari, cilindriche o con forme più caotiche. Anche le dimensioni sono molto diverse, da meno di 10 micron attorno ai tendini a, ad esempio, 50 se non addirittura 100 micron in zona addominale. Si ritrova, tuttavia, un quadro poliedrico. Una volta costituita, questa forma subisce tutte le sollecitazioni e pressioni esterne o interne, adattandosi, di conseguenza, alla forza.

L'adattamento meccanico favorisce il movimento. In termini matematici, le forme icosaedriche sono le più adatte in questo. Da questo punto di vista, il microvacuolo soddisfa questa prima esigenza.

La struttura fibrillare del vacuolo è pseudogeometrica, poligonale (Fig. 6A, 6B).

Determina un volume nello spazio che deve combinarsi con gli altri vacuoli, rispondendo alle esigenze chimico-fisiche per riempire lo spazio e quindi alla ricerca di superfici dette di area minima nella disposizione. La disposizione spaziale delle strutture è un fenomeno che non si conosce bene per quanto riguarda la materia vivente. L'insieme ha un aspetto caotico, senza regolarità apparente. È interessante tuttavia notare come si ritrovi sempre la forma del vacuolo, spesso poligonale, triangolare, pentagonale o esagonale, con ripartizione caotica e frammentaria: un'osservazione inevitabile che deve avere una spiegazione. Questa relativa

omogeneità delle forme può essere accostata a degli icosaedri e ad altre forme geometriche vicine.

Il comportamento termodinamico di queste forme è certamente ottimale; esse sono state selezionate per garantire il metabolismo migliore al prezzo energetico più basso.

La selezione della forma sotto l'azione delle forze fisiche era già in corso.

Ruolo della rete strutturale microvacuolare (Fig. 6)

Il suo comportamento deve rispettare il principio essenziale: assicurare la progressione totale della parte mobile senza che niente si muova intorno. La struttura vacuolare deve resistere, adattarsi alle sollecitazioni fisiche di base dell'esterno e conservare la propria architettura (6.). Quindi, un ruolo dinamico assoluto e di ammortizzamento totale. Devono essere svolti, senza interruzione dell'approvvigionamento di informazioni ed energia, due ruoli dinamicamente contrari combinati, dotati di memoria di ritorno ed efficacia termodinamica.

Nutrimiento e informazione

Queste fibrille sono utilizzate come supporti, come struttura per i vasi; questo spiega la sorprendente varietà di forme vascolari. I vasi, in tal modo solidali, fusi nella struttura, adottano tutti i cambiamenti di posizione grazie alla mobilità del MCDAS, senza interruzione dei rifornimenti e senza rischio, per esempio, di trazioni e fratture tessutali. Gli altri portatori di informazioni nervose possono, ad esempio, adottare la stessa rete. La continuità tessutale è sempre totale.

Comportamento meccanico e mobilità della struttura (Fig. 7)

Alcuni fatti sono evidenti e devono essere integrati per concepire il comportamento biomeccanico.

Questa trama organizzativa, supporto di vita in equilibrio, non può essere senza regole di funzionamento.

Il ruolo è duplice. Assicurare la progressione completa dell'organo e, contemporaneamente, preservare la stabilità degli altri tessuti adiacenti.

In che modo il MCDAS assorbe questo dilemma?

Fig. 6

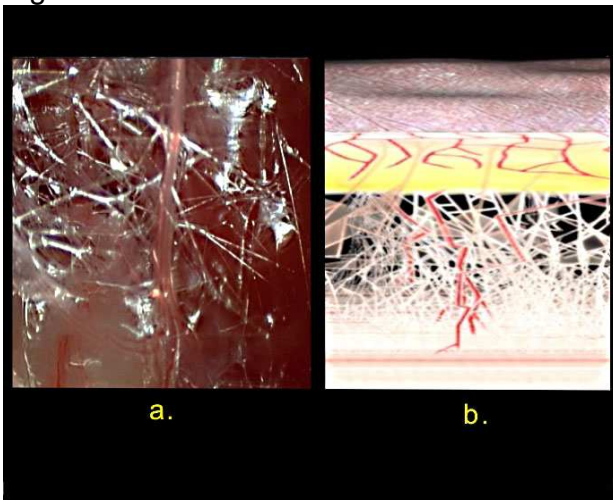
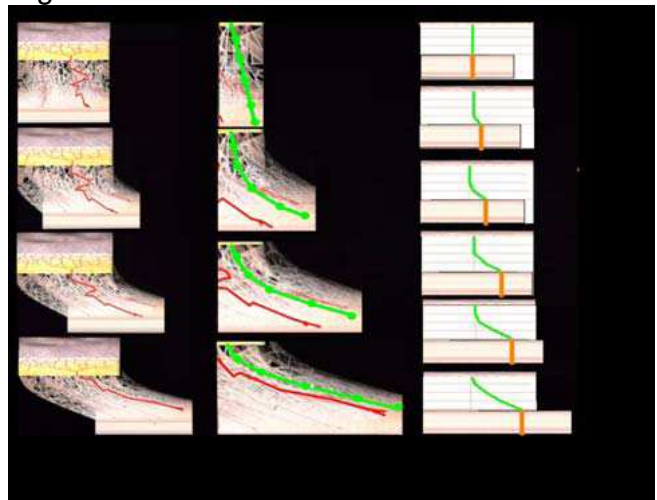


Fig. 7



Riteniamo che le nostre strutture siano in situazione di presollecitazione e, quindi, sviluppino

una tensione tessutale. Questa tensione è messa in evidenza negli interventi chirurgici: quando si incide la pelle o tagliamo un'aponeurosi, gli "argini" si spostano immediatamente di alcuni millimetri. Esiste quindi effettivamente una tensione globale intratessutale, ripartita in tutte le strutture che compongono la materia vivente e, in particolare, la trama fibrillare del MCDAS.

La nozione di sollecitazione trasmessa combinata e di risposta adattata multifunzionale e multidirezionale

Le strutture vacuolari vicine o in continuità con la parte mobile avranno lo spostamento più rilevante. La relazione reologica delle fibre collageniche e di elastina non può essere lineare, illimitata, in quanto la parte mobile trascinerrebbe i tessuti periferici. Non può essere neanche un comportamento di tipo plastico, che accetta la trazione ma limitata al di là di certi limiti, provocando altrimenti un blocco (*en plateau*) e una rottura improvvisa. Occorre che il comportamento sia di tipo « gommoso », che consenta cioè la trazione delle fibrille associando progressivamente le altre fibre vicine, distribuendo la sollecitazione ed evitando la frattura fibrillare. L'assorbimento della sollecitazione avviene lungo tutta la rete. Così, il vacuolo più vicino alla parte mobile svolge al massimo il suo ruolo plastico, a differenza del più lontano, meno coinvolto.

L'insieme delle fibre si dispone per rispondere alla sollecitazione locale, adottando immediatamente la soluzione dinamica più adeguata, sollecitando la struttura collagenica in compressione locale, variando le forme vacuolari, comprimendo i volumi, spiegando la resistenza provata, progressiva e crescente nel tempo, e facendo evocare una relazione fra la densità delle fibre che rispondono alla sollecitazione e la resistenza provata.

La tensione globale che, quindi, si propaga nel sistema di scorrimento lungo le fibre si esaurisce, diminuendo gradualmente con l'allontanarsi dalla parte mobile; in tal modo restano immobili le strutture più distanti.

È quella che chiameremo "sollecitazione trasmessa combinata": ogni elemento della fibra è collegato al vicino tramite un legame lasso. Quando questo legame viene messo sotto tensione, l'elemento successivo viene sottoposto ad una tensione decrescente fino alla realizzazione della relativa deformazione. Tutti gli elementi costitutivi girano per orientarsi in maggior numero nella direzione della forza applicata, rispettandola ma controllandola per evitare la rottura.

Ma queste spiegazioni meccaniciste rientrano in una visione bidimensionale, restando piuttosto lontane dalle osservazioni effettuate in videoanalisi.

È necessario immaginare il movimento in 3D.

Altri comportamenti si aggiungono allo schema generale di orientamento delle fibre.

Questa apparente disorganizzazione ed irregolarità delle forme esprime una complessità ancora inesplorata e spinge a ripensare il funzionamento in modo diverso.

La nozione di equilibrio delle forze all'interno della struttura è inevitabile come la capacità adattativa alle sollecitazioni

i) Abbiamo osservato che la fibrilla sollecitata risponde innanzi tutto con un allungamento, segno di riorganizzazione molecolare con capacità istantanea di recupero della forma iniziale. Per tensioni minime, sembra innescarsi in primo luogo una presollecitazione interna, come per una molla.

ii) Le fibre sotto sollecitazione meccanica possono dividersi, in modo apparentemente non brutale nello spazio, in molte altre fibrille che si disperdono, potendo così ripartire le forze ed assorbirle efficacemente.

iii) Le fibre possono scorrere le une rispetto alle altre su un punto cardine mobile lungo tutta una delle due fibre.

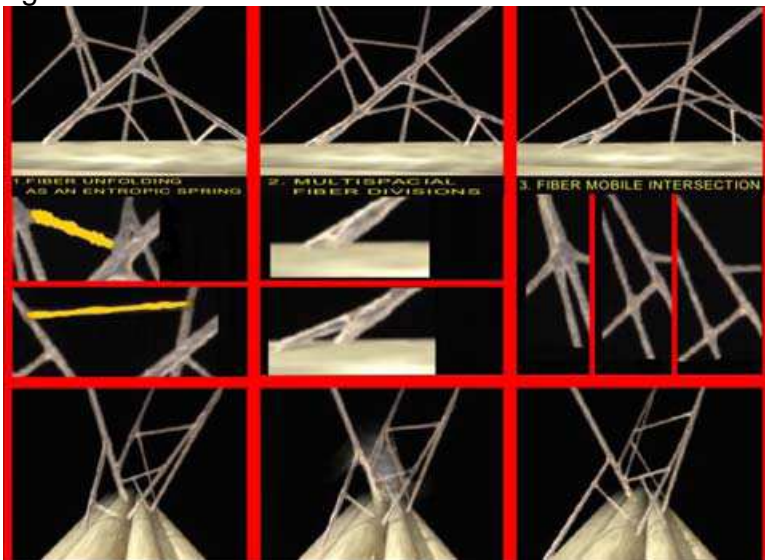
iiii) Le fibre, spesso nella loro giunzione con altre, hanno la capacità di fusione o di scissione all'interno di un gel comune, a riprova di una fluidità viscosa capace di attrito o attrazione spiegabile con dei legami covalenti.

L'insieme di queste capacità fibrillari, sottintese da capacità molecolari, offre un'infinità di soluzioni di adattamento per dare una risposta alla sollecitazione imposta.

La comprensione di questo fenomeno può realizzarsi solo nelle 3 dimensioni dello spazio (Fig. 8).

Gli elementi devono essere presollecitati e la stabilizzazione deve essere un equilibrio fra forze opposte di tensione e compressione; questo permette di conservare forma, solidità, adattabilità multidirezionale e indipendenza rispetto alla gravità. La gravità vede quindi diminuire il proprio ruolo, in particolare nelle fasi di elaborazione o di crescita. Tutte le strutture dell'architettura ripartite nello spazio sono quindi reattive alla minima tensione in aumento su uno degli elementi e trasmessa a tutti gli elementi, anche distanti. Una qualsiasi compressione locale cambia la tensione globale. Sin dalla sua elaborazione, la forma non può essere che in equilibrio.

Fig. 8



Le sequenze di intrecci, di aggrovigliamenti di strutture fibrillari, tramite il potere ricorrente di movimenti all'interno di movimenti, si trovano fuori della portata analitica standard, e richiamano regole fisiche basate sulle matematiche non lineari differenti. Questa complessità nell'approccio matematico e meccanico è inoltre accentuata dal fatto che gli elementi strutturali in presenza, come i cavi e l'"alberatura" di una nave, aggiungono il fattore della diversità del materiale, in termini di rigidità e resistenza.

iiiiii) Inoltre, tutte queste osservazioni e conclusioni sul gioco fibrillare, che mettono a disposizione un'infinità di risorse dinamiche in risposta alla sollecitazione, non devono ignorare il volume intravacuolare, interfibrillare. Le forze fisiche convenzionali come la pressione osmotica, i gradienti elettrici, la tensione superficiale e le tensioni intermolecolari assumeranno tutto il loro ruolo. I gel di proteoglicani hanno sicuramente una implicazione meccanica nella risposta alla trazione, oltre al ruolo di nutrimento e lubrificazione. La costante

del volume compresso e le diverse forme risultanti danno un potenziale notevole in termini di agilità, ma anche resistenza, con diffusione rapida nel sistema di scorrimento. Volume e struttura non possono essere separati.

Questo insieme di tre movimenti permette di assumere un'infinità di movimenti nello spazio ed ecco qui, ad esempio, una sequenza presa in vivo, di capacità di un insieme fibrillare di cambiare forma e di adattarsi a una nuova sollecitazione, permettendo così di spiegare tutto quello che vediamo quotidianamente nell'attività di chirurghi, ossia la mobilità, l'agilità, l'interdipendenza degli organi e appare già rassicurante solo il fatto di poter spiegare la mobilità di numerosi tendini, uno accanto all'altro con una dissociazione funzionale completa. (Fig. 9)

Questo per quanto attiene alla spiegazione biomeccanica, come mi sembra che possa essere proposta.

Fisiopatologia e capacità evolutiva del MCDAS (Fig. 10)

L'altro elemento interessante da considerare in questo insieme, di questa presa di coscienza del corpo come un'immensa rete multifibrillare, caotica e frammentaria, è la sua evoluzione.

Di fatto, questo tessuto resta comunque un tessuto fragile.

Può strapparsi o deteriorarsi: il chirurgo vede, nella sua vita quotidiana, questi deterioramenti.

Prendiamo il caso dell'ematoma: quando si incide un vecchio ematoma trasformatosi in siero si vede bene che c'è una metaplasia che circonda la formazione con una incapacità delle superfici di collaborare le une con le altre.

Lo stesso dicasi per l'igroma.

E come non accostare un igroma come quello che si vede alla guaina digitale di un lungo flessore, come quello che si vede qui.

Il sistema multimicrovacuolare può svilupparsi o adattarsi creando un megavacuolo, che è un altro sistema di funzionamento con creazione in periferia di una zona di metaplasia riassorbente, secernente e questo mi permette, in veste di chirurgo della mano, di spiegare ad esempio l'esistenza, all'interno della mano, di numerosi tipi di ricongiungimento, di più tipi di scorrimento nelle zone 3 4 5; possiamo avere un sistema globale multimicrovacuolare con un sistema metavacuolo metà multimicrovacuolare e globalmente megavacuolo, come nel canale digitale.

Questo permette anche di spiegare come, a livello di pulegge delle mani A1, si passi brutalmente da un sistema multimicrovacuolare, completo e naturale, alla zona del canale digitale, dove vi è totale assenza di microvacuoli.

Ma è possibile spiegare abbastanza facilmente anche altri elementi quali edema, infiammazione, obesità e invecchiamento.

Conclusione

Questa percezione dell'insieme del corpo, in termini di strutture fibrillari, caotiche, frammentarie, all'interno di una forma, permette di avere una visione generale dell'agilità, della coerenza e della continuità.

Inoltre, questa organizzazione, come essa viene esposta, nel suo aspetto frammentario, caotico, globale rispetto all'insieme del resto del corpo, introduce ovviamente altre dimensioni, che sono quelle del rapporto con le altre forze viventi, vegetali, gli altri animali, ma anche il sistema non animato, e si può così affrontare la relazione fra le strutture non animate e le strutture inanimate se si ha ben presente questa organizzazione multimicrovacuolare della materia vivente (7).

Fig. 9

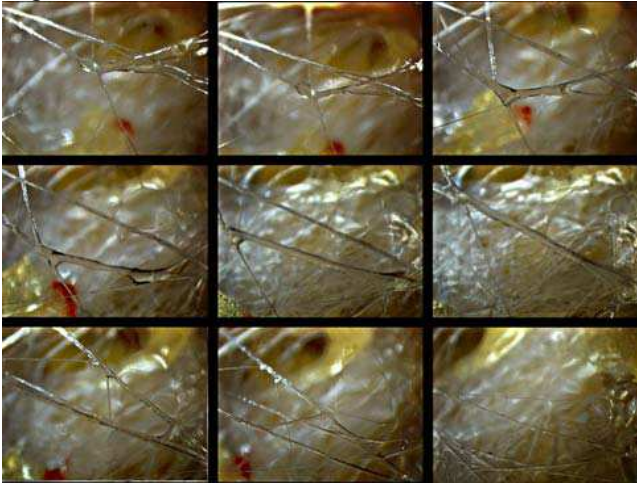
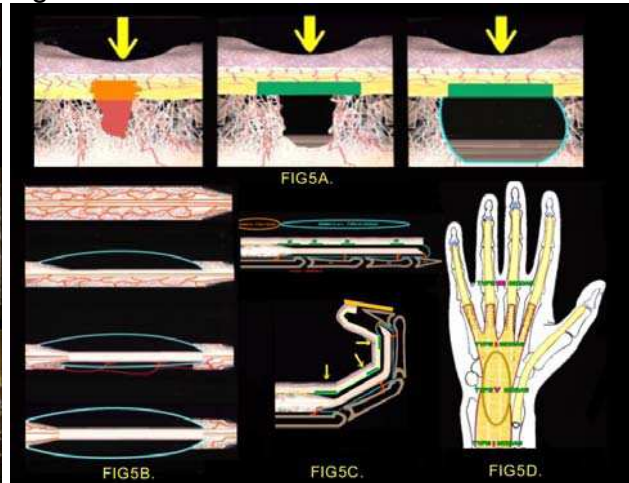


Fig. 10



Discussione

Intervento di Y Chapuis

Vi siete appena immersi in un mondo affascinante della materia vivente, e più particolarmente del collagene.

Due domande:

- Esiste un'impostazione matematica di questa struttura?
- È possibile immaginare un'applicazione industriale?

Risposte di JC Guimberteau

Domanda 1

L'impostazione matematica non è francamente chiarita in quanto le nozioni stesse di caos e di caos deterministico non sono ancora totalmente accettate dalla comunità scientifica. Idee importanti espresse in linguaggio corrente tramite l'effetto "farfalla" e tradotte in equazioni con delle funzioni non lineari sono apparse solo verso gli anni '60, e c'è voluto del tempo prima che si imponessero come idee accettabili. E ci vorrà ancora tempo per introdurre delle evoluzioni dinamiche apparentemente disordinate e imprevedibili all'interno della materia vivente.

Domanda 2

Per il momento vedo solo, per formazione medica, la messa a punto, forse tramite genio genetico, di una materia di sostituzione che abbia le stesse caratteristiche di agilità adattativa e possa essere utilizzata nel trattamento delle aderenze tissutali.