

Dr. Mauro Lastrico – Dra. Laura Manni

Principios de aplicación clínica en el modelo biomecánico analítico y sistémico

1. Introducción: del principio físico a la aplicación terapéutica

Este apéndice ofrece orientaciones generales sobre cómo aplicar los principios físicos presentados en el texto al tratamiento del acortamiento muscular.

No se trata de protocolos rígidos, sino de principios guía que cada profesional puede adaptar según su propia formación y experiencia.

Como se ha mostrado en los capítulos anteriores, el objetivo terapéutico consiste en reducir la Fuerza Resistente para aumentar la Fuerza de Trabajo disponible.

Esto se consigue actuando sobre ambos componentes de la fibra muscular: el componente contráctil y el componente de tejido conectivo.

1.1 Los límites del movimiento espontáneo

Ningún movimiento humano espontáneo es capaz de devolver longitud a un sistema muscular acortado.

Los movimientos espontáneos respetan siempre los límites impuestos por los acortamientos existentes, y el cuerpo no puede superar voluntariamente sus propias restricciones estructurales.

La recuperación de la longitud requiere ejercicios terapéuticos específicos y guiados, capaces de llevar el tejido más allá de los límites que el sistema nervioso ha aceptado como normales.

El acortamiento afecta tanto a la porción contráctil, en la que aumenta esencialmente el tono basal, como a la porción de tejido conectivo, en la que se acumulan verdaderos acortamientos residuales.

Son dos porciones diferentes que requieren dos abordajes diferentes.

Esto no reduce el valor funcional o preventivo del movimiento, sino que precisa su alcance: por sí solo, el movimiento espontáneo resulta insuficiente para modificar acortamientos estructurales ya estabilizados.

2. Acción terapéutica sobre las porciones contráctil y de tejido conectivo de la fibra muscular

2.1 Porción contráctil de la fibra muscular

Es la porción más sencilla de tratar, porque responde a cualquier técnica de relajación muscular.

El límite de estas técnicas es su escasa eficacia sobre las porciones de tejido conectivo.

Un puente entre ambas porciones está representado por las técnicas manuales dirigidas a la fascia.

2.2 Porción de tejido conectivo de la fibra muscular

Es la porción más compleja porque, a diferencia de la porción contráctil, sobre la que también se puede actuar de forma independiente, los movimientos espontáneos resultan ineficaces.

La acción sobre la porción de tejido conectivo requiere la intervención del terapeuta, que actuará de forma pasiva mediante masaje profundo siguiendo la dirección de las fibras musculares o, de forma más eficaz, mediante trabajo activo realizado por el paciente con contracciones isométricas en el punto de máximo alargamiento fisiológico o relativo de la fibra muscular.

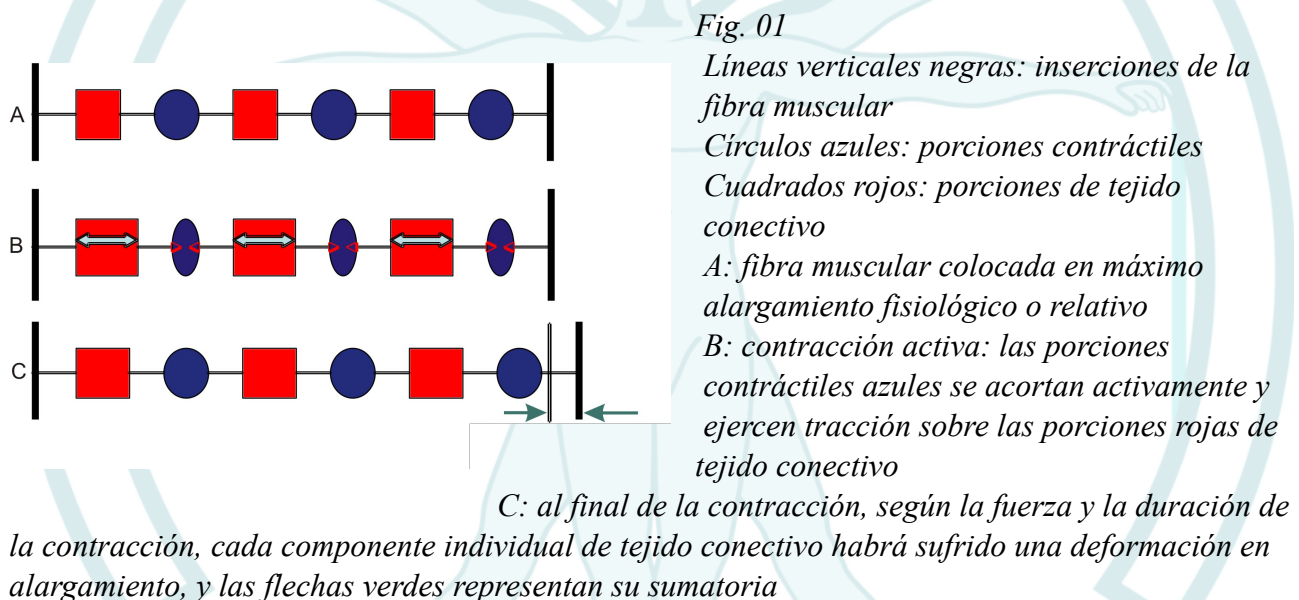
2.3 Efectos de la contracción isométrica

La contracción isométrica produce alargamiento de la porción de tejido conectivo solo cuando se realiza en el punto de máximo alargamiento de la fibra.

El máximo alargamiento será relativo a la máxima extensibilidad pasiva del músculo tratado y puede no coincidir con su máximo alargamiento fisiológico.

Si la contracción isométrica se realiza por debajo del máximo alargamiento disponible, el efecto será un mayor acortamiento del componente de tejido conectivo.

Utilizando un modelo matemático simplificado del comportamiento de la fibra, durante una contracción isométrica realizada en máximo alargamiento fisiológico o relativo ocurrirá lo siguiente:



En la contracción isométrica en máximo alargamiento, las porciones contráctiles sufren una deformación en compresión; sin embargo, dado que su coeficiente de elasticidad es mayor que el de las porciones de tejido conectivo, el acortamiento residual de las porciones contráctiles será menor que el alargamiento residual de las porciones de tejido conectivo.

Por tanto, al final del tratamiento, para resolver el acortamiento residual de las porciones contráctiles, será suficiente utilizar cualquier técnica de relajación, ya que, como se ha señalado, la porción contráctil no sufre un verdadero acortamiento, sino un aumento del tono basal.

Las modalidades prácticas para aplicar estos principios dependen de la formación del clínico y quedan fuera de los objetivos de este texto.

3. La doble lógica del tratamiento: local y sistémica

El acortamiento muscular sistémico puede compararse con el descenso del techo de una casa.

Para mantenerse de pie, cada persona desarrollaría estrategias adaptativas individuales: flexionar las rodillas, inclinar el tronco o inclinar la cabeza.

Aunque estas estrategias son funcionalmente útiles a corto plazo, mantienen y refuerzan el problema.

El tratamiento será eficaz solo si, al final de la sesión, el techo se ha elevado, permitiendo estrategias más eficientes.

Un abordaje exclusivamente sistémico, sin embargo, corre el riesgo de volverse demasiado genérico y de no resolver problemas específicos.

Si un hombro presenta un conflicto mecánico local, es necesaria una intervención específica para reequilibrar vectorialmente esa región.

Sin embargo, la intervención local debe realizarse sin producir un agravamiento sistémico.

Si el techo no se eleva, o incluso desciende más, el sistema tenderá a volver al equilibrio disfuncional anterior.

Como ya se ha visto en el capítulo sobre los sistemas complejos, una acción correctiva regional, aunque técnicamente correcta, puede producir agravaciones sistémicas mayores que la corrección obtenida localmente.

4. El papel del fortalecimiento muscular en el modelo biomecánico

Lo presentado hasta aquí podría interpretarse como una negación del valor del fortalecimiento muscular en rehabilitación. Es esencial aclarar el punto.

En el modelo biomecánico presentado aquí, el fortalecimiento muscular se integra como recurso terapéutico y se utiliza en la fase adecuada. Simplemente no representa la fase inicial del tratamiento cuando aún están presentes acortamientos vectoriales dominantes. En estas condiciones, el fortalecimiento muscular no puede producir correcciones mecánicas estables.

El principio es simple y deriva directamente del análisis vectorial: un músculo subdominante no puede modificar la alineación articular mientras el vector dominante oponga una Fuerza Resistente mayor que la Fuerza de Trabajo que el músculo subdominante puede expresar.

Volviendo al ejemplo del hombro: si los rotadores internos dominantes desplazan anteriormente el húmero debido al acortamiento de sus componentes de tejido conectivo, el fortalecimiento aislado de los rotadores externos no puede reposicionar la cabeza humeral. Los rotadores externos pueden ciertamente aumentar su Fuerza de Trabajo, pero si la Fuerza Resistente de los rotadores internos permanece sin cambios, el equilibrio geométrico no cambia.

Esto sitúa el fortalecimiento dentro de condiciones biomecánicas favorables, necesarias para que pueda ser eficaz.

4.1 Secuencia terapéutica: primero recuperación del equilibrio, después fortalecimiento

A partir de los principios vectoriales presentados, la secuencia terapéutica lógica incluye una fase preparatoria seguida de una fase de consolidación.

La fase preparatoria se centra en:

- reducir la Fuerza Resistente en los músculos acortados mediante técnicas de alargamiento prolongado que actúan sobre los componentes de tejido conectivo;
- reequilibrar los vectores dominantes;
- restaurar la alineación articular fisiológica;
- reducir los conflictos articulares y las compensaciones.

Una vez restaurada una mecánica articular coherente, el fortalecimiento se vuelve plenamente aplicable y cumple funciones esenciales:

- consolidar la corrección obtenida;
- aumentar la Fuerza de Trabajo de los músculos previamente subdominantes;
- mejorar la capacidad funcional y la resiliencia del sistema;
- prevenir la recidiva.

En este sentido, el abordaje descrito aquí favorece la Exercise Therapy: crea las condiciones que permiten que los protocolos de fortalecimiento trabajen con eficacia.

4.2 Por qué esta secuencia es necesaria

El fortalecimiento aplicado antes del reequilibrio vectorial presenta varios aspectos críticos:

- dado que no modifica la Fuerza Resistente de los músculos responsables del desplazamiento articular y deja alterada la geometría, cualquier aumento de la Fuerza de Trabajo por parte de los músculos diana, incluso si fuera posible mientras ya están desarrollando una Fuerza Resistente máxima, se disiparía en el intento de oponerse a fuerzas dominantes que no han sido reducidas;
- aumentaría la resistencia global del sistema, porque en un sistema complejo todos los elementos interactúan y son interdependientes, y por tanto aumentaría también la Fuerza Resistente de los músculos dominantes. La consecuencia sería un empeoramiento de las fuerzas compresivas sobre la articulación;
- probablemente reforzaría un patrón compensatorio, porque cuando el sistema neuromuscular no consigue corregir la alineación, desarrolla siempre estrategias alternativas que, una vez reforzadas, se vuelven más estables y más difíciles de modificar.

Por el contrario, el fortalecimiento aplicado después del reequilibrio vectorial:

- estabiliza las relaciones articulares recuperadas;
- mejora el rendimiento funcional;
- reduce la probabilidad de recidiva;
- aumenta el valor del trabajo de alargamiento realizado en la fase anterior.

Conclusión operativa: en el modelo presentado aquí, el fortalecimiento pertenece a la fase posterior, cuando la biomecánica ha sido suficientemente restaurada. El tratamiento en alargamiento reduce la Fuerza Resistente; el fortalecimiento, aplicado en el momento adecuado, aumenta la Fuerza de Trabajo y consolida la estabilidad funcional. Son intervenciones complementarias, integradas en una misma secuencia terapéutica.

Ejemplos clínicos

Clínicamente, se observa una marcada rotación interna del húmero y se decide realizar un trabajo específico de alargamiento sobre los músculos rotadores internos.

Técnicamente, es correcto.

Pero si, durante el alargamiento correctivo, el paciente co-contrae el elevador de la escápula, los romboides y los paravertebrales, el techo descende.

El sistema registra un aumento global de la tensión y, en pocos días, el húmero vuelve a la rotación interna.

Por el contrario, trabajar únicamente de forma genérica sobre el reequilibrio sistémico sin abordar el

conflicto mecánico específico que genera el síntoma puede hacer que el paciente se sienta “más suelto”, mientras el dolor de hombro persiste porque el conflicto subacromial no se ha resuelto.

5. El equilibrio como solución adaptativa del sistema

El equilibrio existente en cada persona, aunque parezca patológico, representa la mejor solución que el sistema ha encontrado, en función de los recursos disponibles, para evitar conflictos peores.

Un hombro elevado, una rotación vertebral o una inclinación pélvica son estrategias adaptativas organizadas por el sistema subcortical.

Corregir una asimetría visible sin comprender la lógica sistémica que la ha generado puede producir conflictos más graves que los inmediatamente aparentes.

Un paciente que desciende voluntariamente un hombro elevado frente a un espejo activa el elevador de la escápula en acortamiento excéntrico, produciendo rotaciones de las vértebras cervicales que pueden generar síntomas.

Al intervenir sobre un equilibrio disfuncional, por tanto, es necesario asegurarse de que lo propuesto sea realmente mejor que la organización anterior.

La mejora no se mide exclusivamente por la apariencia visual de mayor simetría, sino también por la reducción de la tensión global y el aumento de la eficiencia funcional.

6. Principios operativos

Durante el tratamiento, la observación del paciente debe ser continua, para evaluar cada intervención regional dentro del contexto global y modificarla si resulta necesario.

Si el sistema se vuelve más rígido, por ejemplo, es necesario cambiar el abordaje.

Es necesario identificar las dominancias principales que bajan el techo y tratar esos músculos aunque no estén directamente relacionados con el síntoma.

El dorsal ancho, por ejemplo, puede ser una prioridad incluso en un problema cervical.

La secuencia de intervención no es fija.

A veces es necesario elevar el techo antes de poder trabajar eficazmente sobre el problema local.

En otras ocasiones, el problema local es tan limitante que debe abordarse de inmediato, manteniendo una atención constante a los efectos sistémicos.

Al final de la sesión deberían observarse:

- mejora del problema local;
- aumento del espacio sistémico;
- reducción global de la tensión muscular;
- mayor eficiencia del movimiento.

Si falta incluso uno de estos elementos, los resultados serán inestables.

7. Conclusiones

El tratamiento del acortamiento muscular debe ser simultáneamente analítico y sistémico.

El objetivo consiste en integrar continuamente estos abordajes.

La comprensión de los principios físicos presentados en el texto —la relación Fuerza Resistente/ Fuerza de Trabajo, la dominancia vectorial y las características de los sistemas complejos— proporciona la base para orientarse en esta complejidad.

Sin estas premisas, existe el riesgo de caer en un tecnicismo segmentario que ignora el sistema, o en un abordaje genérico que no resuelve problemas específicos.

Los principios generales considerados anteriormente son, evidentemente, herramientas de orientación y no protocolos fijos.

Cada profesional puede desarrollar sus propias estrategias terapéuticas, verificando que la mejora local esté acompañada por la elevación del techo sistémico, teniendo presente que la eficacia no se mide por la perfección técnica de la intervención individual, sino por la capacidad de producir cambios estables e integrados sin empeorar las compensaciones.

Referencias

- [1] Oranchuk DJ, Storey AG, Nelson AR, Cronin JB. Isometric training and long-term adaptations: Effects of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. *Scand J Med Sci Sports*. 2019;29(4):484-503. [2] Rio E, Kidgell D, Purdam C, Gaida J, Moseley GL, Pearce AJ, Cook J. Isometric exercise induces analgesia and reduces inhibition in patellar tendinopathy. *Br J Sports Med*. 2015;49(19):1277-83. [3] Gajdosik RL. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomech*. 2001;16(2):87-101. [4] Fung YC. *Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues*. 2nd ed. New York: Springer; 1993. [5] Lieber RL. *Skeletal Muscle Structure, Function, and Plasticity*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010. [6] Sahrmann SA. *Diagnosis and Treatment of Movement Impairment Syndromes*. St. Louis: Mosby; 2002. [7] Page P, Frank CC, Lardner R. *Assessment and Treatment of Muscle Imbalance: The Janda Approach*. Champaign: Human Kinetics; 2010. [8] Neumann DA. *Kinesiology of the Musculoskeletal System*. 3rd ed. St. Louis: Elsevier; 2017. [9] Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor Control: Translating Research into Clinical Practice*. 5th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2017. [10] Hodges PW, Tucker K. Moving differently in pain: a new theory to explain the adaptation to pain. *Pain*. 2011;152(3 Suppl):S90-S98. [11] Latash ML. *Synergy*. New York: Oxford University Press; 2008. [12] Bar-Yam Y. *Dynamics of Complex Systems*. Reading: Addison-Wesley; 1997. [13] Kisner C, Colby LA, Borstad J. *Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques*. 7th ed. Philadelphia: F.A. Davis; 2017. [14] Alizadeh S, Daneshjoo A, Zahiri A, et al. Resistance Training Induces Improvements in Range of Motion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. 2023;53(3):707-722.

