



Stretching ad alta intensità per il trattamento della limitazione della flessione dell'artrofibrosi del ginocchio

High-intensity stretching to treat limitation in knee flexion after arthrofibrosis

Gianluca Palmas¹ (foto), Donatello Palmas², Lidia Palmas¹

¹ Unità di Riabilitazione del Ginocchio, Studio Palmas, Assemini (CA), Italia; ² Servizio di Recupero e Rieducazione Funzionale, ASL Medio Campidano (MC), Italia

Riassunto

Introduzione. L'artrofibrosi del ginocchio è una risposta infiammatoria esagerata che coinvolge tutte le strutture articolari ed extra-articolari, e che si manifesta con rigidità e dolore.

Materiali e metodi. Caso clinico di un paziente sportivo, il quale presentava un'importante artrofibrosi successiva ad un infortunio. Dopo 4 mesi dal trauma ha iniziato un trattamento di *stretching* autosomministrati ad alta intensità (HIS) dei tessuti anteriori del ginocchio.

Risultati. Il ginocchio ha guadagnato 21,6° di flessione, passando da 70,1° a 91,7° in 13 settimane, mantenendo il risultato al follow-up di 3 mesi.

Conclusioni. Gli *stretching* HIS si sono dimostrati una terapia economica, di facile utilizzo ed efficace per migliorare la limitazione della flessione del ginocchio fibrotico. È utile sottolineare come sia fondamentale che il paziente mostri un'ottima *compliance* per la buona riuscita del trattamento.

Parole chiave: artrofibrosi del ginocchio, ginocchio rigido, stretching ad alta intensità, total end-range time

Ricevuto: 5 gennaio 2023
Accettato: 20 febbraio 2023

Corrispondenza

Gianluca Palmas

Studio di Fisioterapia Palmas
via Ustica, 6/a, Assemini (CA)
E-mail: docgianluicapalmas@gmail.com

Conflitto di interessi

Gli Autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interesse con l'argomento trattato nell'articolo.

Come citare questo articolo: Palmas G, Palmas D, Palmas L. *Stretching* ad alta intensità per il trattamento della limitazione della flessione dell'artrofibrosi del ginocchio. *Giornale Italiano di Ortopedia e Traumatologia* 2023;49:10-16; <https://doi.org/10.32050/0390-0134-N256>

© Copyright by Pacini Editore Srl



OPEN ACCESS

L'articolo è OPEN ACCESS e divulgato sulla base della licenza CC-BY-NC-ND (Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Non opere derivate 4.0 Internazionale). L'articolo può essere usato indicando la menzione di paternità adeguata e la licenza; solo a scopi non commerciali; solo in originale. Per ulteriori informazioni: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Summary

Introduction. Arthrofibrosis of the knee is an exaggerated inflammatory response observed after joint trauma, inflammation or surgical reconstruction and repair. Involves all joint and extra-articular structures and can lead to stiffness and pain.

Materials and methods. A case report of a patient who presented with significant arthrofibrosis following an injury. At 4 months after the trauma the patient started a series of self-administered high-intensity stretching (HIS) exercises of the anterior tissues of the knee, for 13 weeks.

Results. The knee gained 21.6° of flexion, from 70.1° to 91.7°, maintaining the result at 3 months of follow-up.

Conclusions. HIS stretches have proven to be an economic, easy-to-use, and effective therapy to improve knee flexion limitation by arthrofibrosis. Nevertheless, it is critical that the patient shows excellent compliance for a successful treatment.

Key words: knee arthrofibrosis, stiffness knee, high intensity stretching, total end-range time

Introduzione

Il ginocchio è costituito dalle articolazioni tibiofemorale e patellofemorale. Il movimento si verifica su due piani, consentendo flessione ed estensione, e rotazione in-

terna ed esterna, che raramente si producono indipendentemente dal movimento di anca e caviglia¹. Il ginocchio ha importanti funzioni biomeccaniche, molte delle quali sono espresse durante la deambulazione e la corsa¹. L'ampio *range of motion* (ROM), sul piano sagittale, può andare da -5° di iperestensione ai 140° di flessione passiva, ed è importante che sia simmetrico tra le ginocchia. Servono almeno 65° di flessione per deambulare, almeno 90° per scendere le scale o per alzarsi dalla posizione seduta, ma in generale, si può affermare che servano almeno 125° di flessione per affrontare le attività quotidiane²⁻⁷. I pazienti non sportivi possono tollerare bene la perdita di pochi gradi del ROM articolare, ma non quella di parecchi gradi, che incide negativamente anche sulle attività più elementari, creando disabilità funzionale e generando ripercussioni sull'umore^{3,4,8}. Al contrario, i pazienti sportivi mal sopportano anche le piccole limitazioni^{8,9}. Tra le cause che possono limitare il ROM del ginocchio c'è l'artrofibrosi, che incide fino al 35% dopo infortuni o interventi chirurgici¹⁰⁻¹⁶. Si diagnostica escludendo altre problematiche e può ridurre la flessione e/o l'estensione, manifestandosi come una rigidità dei tessuti molli che non era presente prima dell'evento lesivo¹⁷. È il risultato di un'esagerata risposta infiammatoria cicatriziale, dopo un evento lesivo o immobilizzazione, che coinvolge tutte le strutture articolari ed extra-articolari, e che genera dolore e perdita di movimento rispetto all'arto controlaterale sano^{8,17-24}. Si associano edema, ipotrofia del quadricipite, degenerazione della cartilagine articolare, riduzione del movimento della rotula e, in ultima analisi, *patella infera*^{8,21,22,25,26}. I sintomi si intensificano durante l'ortostatismo e la deambulazione, originando un quadro sempre più invalidante, costringendo il paziente a rinunciare al lavoro e alla vita sociale per un lungo periodo ed avendo risvolti psicologici negativi^{18,27,28}. La classificazione può essere¹⁷:

- causale: *primaria* o *secondaria* a traumi o chirurgia
- temporale: *precoce* o *strutturata* (> 6 mesi)
- clinica: *lieve* (Ext. 5/10° - Flex. 90/100°), *moderata* (Ext. 11/20° - Flex. 70/89°) e *severa* (Ext. > 20° - Flex. < 70°)

La patogenesi della fibrosi del ginocchio è ancora molto discussa e sembra essere frutto di una convergenza di fattori, i quali portano ad un'eccessiva proliferazione di miofibroblasti, una riduzione dell'apoptosi, e, come risultato finale, un'eccessiva deposizione di matrice extracellulare, nella quale risultano invasi e contratti tutti i tessuti e le sacche articolari^{17,18}. Oltre l'infiammazione, anche l'immobilizzazione e l'ipossia giocherebbero un ruolo fondamentale nell'irrigidimento del tessuto connettivo e nella formazione di aderenze fibrotiche, dando origine a un tessuto sempre meno elastico^{19,21,29-31}. Il tessuto fibrotico può essere comparato ai tessuti periarticolari, i quali presentano proprietà viscoelastiche: può essere deformato

temporaneamente o permanentemente, a seconda della forza a cui viene sottoposto³². Tuttavia, si stima che maturi e che si irrigidisca molto velocemente, sviluppando il 10% della propria massima resistenza già dopo 10 giorni dall'evento scatenante, il 40% ai 40 giorni, il 70% ai 60 giorni e il 100% ai 12 mesi³³.

Materiali e metodi

Il paziente, uomo di 47 anni, sportivo dilettantistico, il 10/11/2021 ha riportato una lesione del legamento collaterale mediale, una frattura della spongiosa del condilo femorale mediale e una frattura del piatto tibiale laterale, ridotta e sintetizzata con placca e viti, dopo un trauma del ginocchio destro. Il carico è stato proibito per 9 settimane, ha indossato una ginocchiera bloccata a 30° di flessione per 5 settimane, successivamente arco libero per ulteriori 4 settimane, dopodiché ha iniziato la riabilitazione. Ha eseguito 20 sedute di rieducazione motoria, esercizi propriocettivi e training deambulatorio. A quattro mesi dal trauma, preoccupato per la limitazione della flessione, si è rivolto a due specialisti del ginocchio, i quali hanno consigliato un trattamento specifico di *stretching* dei tessuti anteriori del ginocchio, prima della mobilizzazione sotto anestesia (MUA), o di un'eventuale artrolisi chirurgica. Al nostro primo appuntamento si presentava con una fibrosi secondaria, oramai stabilita, *borderline* tra moderata e severa. Riferiva la sensazione di instabilità e la difficoltà di seguire le attività più elementari della vita quotidiana, come alzarsi e sedersi da una sedia o come salire e scendere le scale, con importanti ripercussioni psicologiche ed economiche. Lamentava dolore a riposo 4-5/10 sulla scala NRS³⁴. All'ispezione, il ginocchio appariva tumefatto a livello del condilo femorale mediale e si riscontrava ipomiotrofia del quadricipite e degli hamstring; alla palpazione era minimamente caldo, la rotula ipomobile, la cicatrice non aderente ai piani sottostanti. Lo *stroke test* evidenziava il valore *traccia*^{35,36}. Il ROM attivo era limitato nella flessione (0-70,1°) ed era stata esclusa la condizione di rotula *baja*³⁷. Non dimostrava deficit sensoriali a livello degli arti inferiori, e aveva una deambulazione antalgica, senza ausilio di bastoni. Il trattamento si è basato sull'applicazione di *stretching* ad alta intensità (HIS) per sottoporre il tessuto ad una forza che potesse stirarlo oltre la regione elastica e rompere i legami crociati fra le fibre collagene, facendolo poi riallineare lungo le linee di tensione, rimodellandolo ed allungandolo permanentemente^{18,38}. Si è applicato un dosaggio di forza settimanale minimo, risultato dell'azione di tre variabili modulabili: intensità, durata e frequenza^{39,40}. La prima, è la grandezza della forza applicata al tessuto durante lo *stretching*; la durata è il tempo per il quale viene applicata la forza, e dovrebbero essere inversamente pro-

porzionale fra loro; la frequenza è il numero delle ripetizioni che vengono eseguite durante il giorno e la settimana ^{40,41}. Il prodotto delle tre variabili è definito *tempo totale a fine ROM* (TERT), dove risultati più elevati darebbero maggior guadagno in termini di allungamento tessutale ⁴⁰⁻⁴²:

$$\text{TERT} = \text{Intensità}_{(N-m)} \times \text{Durata}_{(\text{minuti})} \times \text{Ripetizioni}_{(\text{Giornaliere})} \times \text{Giorni}_{(\text{Effettuati})}$$

I legami crociati interrotti hanno la tendenza a riformarsi nelle 24 ore successive agli *stretching*, dunque è stato importante ripetere quotidianamente gli esercizi e non lasciar passare troppe ore tra una ripetizione e la seguente ³⁸. Aumentare la sola durata degli *stretching* non sarebbe stato sufficiente per ottenere risultati duraturi, ma era importante ripeterli quotidianamente ed applicare un livello di forza adeguato perché lo *stretching* risultasse efficace ^{39,43-45}. In linea con altri studi, e per ottenere la deformazione plastica dei tessuti, il paziente ha eseguito

90' di *stretching* giornalieri, suddivisi in tre sessioni: una sotto supervisione, praticando 5 esercizi, e due in casa propria, praticandone 4, per un totale di 13 esercizi giornalieri, svolti per 52 giorni consecutivi e coprendo 13 settimane di lavoro ^{39,41,45-52}. Gli esercizi svolti a casa erano il *wall slide*, la *figure-four*, il *flexione seat*, il *rolling stool*; sotto supervisione si aggiungevano le sovrappressioni con macchinario di mobilizzazione continua e con macchinario di *leg extension* (Fig. 1 A-D). La trazione veniva mantenuta il più a lungo possibile, sotto la soglia di sopportazione del dolore ^{47,51,53,54}. Di conseguenza, ogni esercizio ha avuto una durata massima di 5-7 minuti, con tempi di recupero di 2-4 minuti, ricalcando una strategia già utilizzata ^{43,46}. Sapendo che gli *stretching* HIS, eseguiti con *device* o ausili, in particolare se gestiti dal paziente, esprimono livelli di forza adeguati a deformare la fibrosi, si sono scelti esercizi facilmente eseguibili dal paziente e che risultassero



Figure 1. A) Sovrappressione con macchinario MPC; B) *Figure-four*; C) *Heel slide*; D) *Wall slide*.

essere economici^{8,17,39,46,48,55}. Il paziente ha eseguito gli *stretching* secondo la propria massima soglia di sopportazione, potendoli interrompere in qualsiasi momento, nel caso in cui il dolore fosse aumentato oltre la soglia^{8,48,56}. Si è monitorato l'intero intervento perché non era esente da rischi, potendo causare forte dolore e provocare danni tissutali, con conseguente nuova produzione di tessuto cicatriziale^{46,47}. Per sua natura, lo *stretching* dei tessuti coinvolti nell'artrofibrosi, è un processo doloroso in quanto la "rottura" tissutale è necessaria per raggiungere la deformazione plastica ed aumentarne la lunghezza, dunque, abbiamo pensato che un certo grado di dolore dovrebbero averlo provato anche i pazienti coinvolti negli studi di riferimento, anche se menzionato di raro⁴⁸. Tuttavia, grazie alla breve durata degli HIS, e per il fatto di essere autogestiti dal paziente, la trazione è stata sopportata per diversi minuti prima che il dolore innescasse il meccanismo di autodifesa^{40,41,47}.

È stato dimostrato che gli HIS sprigionano una forza di circa 25 N·m, così, dal prodotto delle variabili, si è calcolato un TERT oscillante tra 11.375 e 15.925 N·m min/wk, in linea con gli 11.000 N·m min/wk degli studi di successo^{39,45}:

$$\text{TERT} = 25_{\text{N}\cdot\text{m}} \times 5'/7' \times 13_{\text{ripetizioni giornaliere}} \times 7_{\text{Giorni}} = 11.375/15.925 \text{ N}\cdot\text{m min/wk}$$

È stato ritenuto sufficiente per ottenere un allungamento permanente dei tessuti, anche se si aveva a che fare con un tessuto fibrotico che aveva già sviluppato oltre il 70% della propria forza di resistenza alla tensione, e non si aveva certezza che sarebbe stato sufficiente per ottenere la deformazione plastica^{33,41,43,45,46}. Per avere piena *compliance* da parte del paziente, gli è stato spiegato il meccanismo di stress-rilassamento che si voleva sfruttare, esortandolo ad aumentare la spinta dello *stretching* ogni qualvolta sentisse cedere le resistenze e diminuire il dolore^{47,48,50}. Ogni mattina, prima degli esercizi, veniva effettuata la rilevazione della flessione attiva, marcando i punti di repere sulla cute e avvalendosi della misurazione fotografica, ritenuta accurata e precisa, comparabile a quella effettuata con il goniometro universale^{57,58}. Per gli scatti è stato usato uno *smartphone* (Samsung S9, Corea del Sud), e le immagini sono state trasferite su un computer (Apple MacBook Pro 13,3", USA) dove, grazie all'utilizzo di un *software* di calcolo matematico e geometrico *open source* di largo utilizzo scolastico (GeoGebra Classic, versione 6), veniva calcolato l'angolo di flessione del ginocchio.

Risultati

L'incremento della flessione attiva è stato di 21,6° (+30,7%), raggiungendo 91,7° all'ultima seduta, in li-

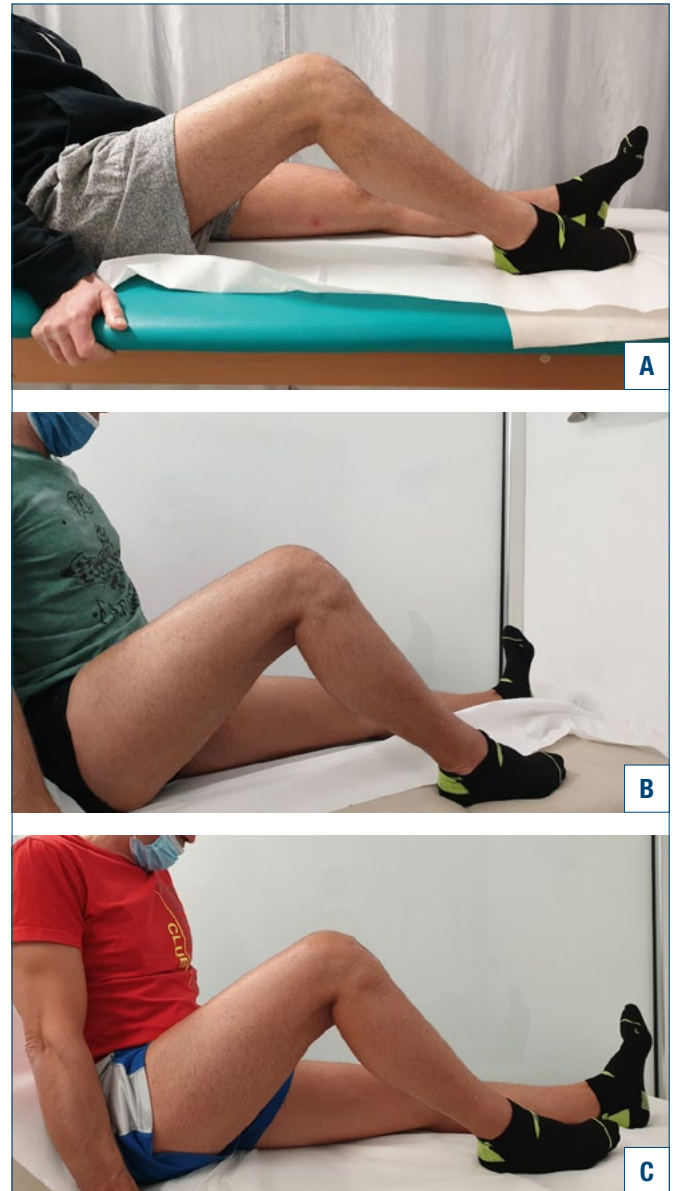


Figure 2. A) Inizio trattamento; B) Fine trattamento; C) Follow-up 3 mesi.

nea con quello registrato negli studi che hanno utilizzato *stretching* HIS^{48,52}. Anche al follow-up di 3 mesi si è mantenuto il risultato di 91,7° di flessione attiva (Fig. 2 A-C).

Discussione

Gli *stretching* ad alta intensità hanno dato risultati equiparabili a quelli raggiunti con i *device*, senza i rischi che accompagnano le procedure chirurgiche^{27,52}. Sono stati economici e di facile impiego, non ostacolando eventuali

gesti chirurgici ma, anzi, anticipandoli e permettendo di poter ottenere migliori risultati clinici. La *compliance* del paziente è stata un elemento fondamentale per il raggiungimento di un ROM in flessione più ampio. A differenza dei *device*, questo protocollo di esercizi è stato economico avendo pertanto anche la potenzialità di poter essere utilizzato anche con pazienti impossibilitati all'acquisto. Alla luce del dosaggio che deve essere raggiunto per ottenere dei risultati nel trattamento dell'artrofibrosi del ginocchio, gli *stretching* HIS possono essere particolarmente indicati quando il fisioterapista può dedicare un tempo limitato al paziente.

Conclusioni

Gli esercizi di *stretching* autosomministrati ad alta intensità, se impiegati per un dosaggio adeguato, possono rappresentare una terapia efficace per il trattamento della limitazione del movimento in flessione del ginocchio fibrotico. Possono essere un'opzione economica, e di facile utilizzo, da impiegare entro i sei mesi dall'insorgenza della fibrosi per poter ottenere risultati positivi e cercare di eludere eventuali gesti chirurgici. Possono essere utilizzati in aggiunta alla fisioterapia standard, potenziandola ed estendendola anche a domicilio. Potrebbero essere considerati per ogni paziente a rischio di perdita del movimento dopo trauma o chirurgia del ginocchio, riducendo le complicazioni e i costi derivanti. Tuttavia, è fondamentale che il paziente mostri un'ottima *compliance* per la buona riuscita del trattamento.

Bibliografia

- 1 Neumann DA. Knee. In Neumann DA. Kinesiology of the Musculoskeletal System. Foundations for Rehabilitation. 3rd Ed. St. Louis, Missouri: Elsevier 2017, pp. 538-594.
- 2 DeHaven KE, Cosgarea AJ, Sebastianelli WJ. Arthrofibrosis of the knee following ligament surgery. Instr Course Lect 2003;52:369-381 PMID: 12690864.
- 3 Magit D, Wolff A, Sutton K, et al. Arthrofibrosis of the knee. J Am Acad Orthop Surg 2007;15:682-694. <https://doi.org/10.5435/00124635-200711000-00007>. PMID: 17989419.
- 4 Rowe PJ, Myles CM, Walker C, et al. Knee joint kinematics in gait and other functional activities measured using flexible electrogoniometry: how much knee motion is sufficient for normal daily life? Gait Posture 2000;12:143-155. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(00\)00060-6](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(00)00060-6). PMID: 10998612.
- 5 Freeman MAR, Pinskerova V. The movement of the normal tibio-femoral joint. J Biomech 2005;38:197-208. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.02.006>. PMID: 15598446.
- 6 Kettelkamp DB. Gait characteristics of the knee: normal, abnormal, and post-reconstruction. In: Surgeons AAoO. Symposium on Reconstructive Surgery of the Knee. Saint Louis: C.V. Mosby 1978, pp. 47-57.
- 7 Laubenthal N, Smidt GL, Kettelkamp DB. A quantitative analysis of knee motion during activities of daily living. Phys Ther 1972;52:34-43. <https://doi.org/10.1093/ptj/52.1.34>. PMID: 5061683.
- 8 Noyes FR, Barber-Westin SD. Prevention and Treatment of Knee Arthrofibrosis. In Noyes FR. Noyes' Knee Disorders: Surgery, Rehabilitation, Clinical Outcomes. 2nd Ed. Philadelphia: Elsevier; 2017;1059-1102.
- 9 Cosgarea AJ, DeHaven KE, Lovelock JE. The surgical treatment of arthrofibrosis of the knee. Am J Sports Med 1994;22:184-191. <https://doi.org/10.1177/036354659402200206>. PMID: 8198185.
- 10 Lindenfeld TN, Wojtys EM, Husain A. Operative Treatment of Arthrofibrosis of the Knee. Instr Course Lect 2000;49:211-221. PMID: 10829177
- 11 Haller JM, Holt DC, McFadden ML, et al. Arthrofibrosis of the knee following a fracture of the tibial plateau. Bone Joint J 2015;97-B:109-114. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.97b1.34195>. PMID: 25568423.
- 12 Haffar A, Goh GS, Fillingham YA, et al. Treatment of arthrofibrosis and stiffness after total knee arthroplasty: an updated review of the literature. Int Orthop 2022;46:1253-1279. <https://doi.org/10.1007/s00264-022-05344-x>. PMID: 35301559.
- 13 Tibbo ME, Limberg AK, Salib CG, et al. Acquired Idiopathic Stiffness After Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Bone Joint Surg Am 2019;101:1320-1330. <https://doi.org/10.2106/jbjs.18.01217>. PMID: 31318813; PMCID: PMC6641113.
- 14 Eakin CL. Knee arthrofibrosis: prevention and management of a potentially devastating condition. Phys Sportsmed 2001;29:31-42. <https://doi.org/10.3810/psm.2001.03.668>. PMID: 20086565.
- 15 Zhou Y, Yang K. Prevention of arthrofibrosis during knee repair by extracorporeal shock wave therapy: preliminary study in rabbits. Injury 2019;50:633-638. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.01.054>. PMID: 30739764.
- 16 Harner CD, Irrgang JJ, Paul J, et al. Loss of motion after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med 1992;20:499-506. <https://doi.org/10.1177/036354659202000503>. PMID: 1443315
- 17 Kalson NS, Borthwick LA, Mann DA, et al. International consensus on the definition and classification of fibrosis of the

- knee joint. *Bone Joint J* 2016;98-B:1479-1488. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.98B10.37957>. PMID: 27803223
- 18 Usher KM, Zhu S, Mavropalias G, et al. Pathological mechanisms and therapeutic outlooks for arthrofibrosis. *Bone Res* 2019;7. <https://doi.org/10.1038/s41413-019-0047-x>. PMID: 30937213.
 - 19 Sasabe R, Sakamoto J, Goto K, et al. Effects of Joint Immobilization on Changes in Myofibroblasts and Collagen in the Rat Knee Contracture Model. *J Orthop Res* 2017;35:1998-2006. <https://doi.org/10.1002/jor.23498>. PMID: 27918117.
 - 20 Unterhauser FN, Bosch U, Zeichen J, et al. Alpha-smooth muscle actin containing contractile fibroblastic cells in human knee arthrofibrosis tissue. Winner of the AGA-DonJoy Award 2003. *Arch Orthop Trauma Surg* 2004;124:585-591. <https://doi.org/10.1007/s00402-004-0742-x>. PMID: 15378321.
 - 21 Scheidt M, Ellman MB, Bhatia S. Knee Arthrofibrosis: How to Prevent and How to Treat. In LaPrade RF, Chahla J. *Evidence-Based Management of Complex Knee Injuries: Restoring the Anatomy to Achieve Best Outcomes*. St. Louis: Elsevier 2021, pp. 385-395.
 - 22 Paulos LE, Wnorowski DC, Greenwald AE. Infrapatellar contracture syndrome. Diagnosis, treatment, and long-term followup. *Am J Sports Med* 1994;22:440-449. <https://doi.org/10.1177/036354659402200402>. PMID: 7943507.
 - 23 Ushiyama T, Chano T, Inoue K, et al. Cytokine production in the infrapatellar fat pad: another source of cytokines in knee synovial fluids. *Ann Rheum Dis* 2003;62:108-112. <https://doi.org/10.1136/ard.62.2.108>. PMID: 12525378.
 - 24 Border WA, Noble NA. Transforming Growth Factor β in Tissue Fibrosis. *N Engl J Med* 1994;331:1286-1292. <https://doi.org/10.1056/nejm199411103311907>. PMID: 7935686.
 - 25 Irrgang JJ, Harner CD. Loss of motion following knee ligament reconstruction. *Sports Med* 1995;19:150-159. <https://doi.org/10.2165/00007256-199519020-00006>. PMID: 7747004.
 - 26 Pujol N, Boisrenoult P, Beaufile P. Post-traumatic knee stiffness: Surgical techniques. *Orthop Traumatol Surg Res* 2015;101:S179-186. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2014.06.026>. PMID: 25583236
 - 27 Werner BC, Cancienne JM, Miller MD, et al. Incidence of Manipulation Under Anesthesia or Lysis of Adhesions After Arthroscopic Knee Surgery. *Am J Sports Med* 2016;43:1656-1661. <https://doi.org/10.1177/0363546515578660>. PMID: 25883170.
 - 28 Scholtes SA, Khoo-Summers L, Damico KJ. Presentation and management of arthrofibrosis of the knee: a case report. *Physiother Theory Pract* 2017;33:815-824. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1346027>. PMID: 28715241.
 - 29 Born CT, Gil JA, Goodman AD. Joint Contractures Resulting From Prolonged Immobilization: Etiology, Prevention, and Management. *J Am Acad Orthop Surg* 2017;25:110-116. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-15-00697>. PMID: 28027065.
 - 30 Farmer SE, James M. Contractures in orthopaedic and neurological conditions: a review of causes and treatment. *Disabil Rehabil* 2001;23:549-558. <https://doi.org/10.1080/09638280010029930>. PMID: 11451189.
 - 31 Wong K, Sun F, Trudel G, et al. Temporal gene expression profiling of the rat knee joint capsule during immobilization-induced joint contractures. *BMC Musculoskelet Disord* 2015;16. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0588-0>. PMID 26006773.
 - 32 Fung YC. Bioviscoelastic Solids. In Fung YC. *Biomechanics: mechanical properties of living tissue*. 2nd Ed.. La Jolla, California: Springer 1993, pp. 242-320.
 - 33 Elhorn A, Sawyer M. The problem knee: soft tissue consideration. In Engle R. *Knee Ligament Rehabilitation*. New York, NY: Churchill Livingstone 1991, pp. 197-212.
 - 34 Thomeé R. A comprehensive treatment approach for patellofemoral pain syndrome in young women. *Phys Ther* 1997;77:1690-1703. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.12.1690>. PMID: 9413448.
 - 35 Lynch AD, Chmielewski T, Bailey L, et al. Current Concepts and Controversies in Rehabilitation After Surgery for Multiple Ligament Knee Injury. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2017;10:328-34. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9425-4>. PMID: 28779476.
 - 36 Sturgill LP, Snyder-Mackler L, Manal TJ, et al. Interrater Reliability of a Clinical Scale to Assess Knee Joint Effusion. *J Orthop Sports Phys Ther* 2009;39:845-849. <https://doi.org/10.2519/jospt.2009.3143>. PMID: 20032559.
 - 37 Caton J, Deschamps G, Chambat P, et al. Patella infera. Apropos of 128 cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1982;68:317-325.
 - 38 Cummings G, Tillman L. Remodeling of dense connective tissue in normal adult tissues. In: Currier D, Nelson R. *Dynamics of Human Biologic Tissues*. Philadelphia: F.A. Davis Co. 1992, pp. 45-73.
 - 39 Uhl TL, Jacobs CA. Torque measures of common therapies for the treatment of flexion contractures. *J Arthroplasty* 2011;26:328-334. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2009.12.007>. PMID: 20206464.
 - 40 McClure P, Blackburn L, Dusold C. The Use of Splints in the Treatment of Joint Stiffness: Biologic Rationale and an Algorithm for Making Clinical Decisions. *Phys Ther* 1994;74:1101-1107. <https://doi.org/10.1093/ptj/74.12.1101>. PMID: 7991651.
 - 41 Jacobs CA, Sciascia AD. Factors That Influence the Efficacy of Stretching Programs for Patients With Hypomobility. *Sports Health* 2011;3:520-523. <https://doi.org/10.1177/1941738111415233>. PMID: 23016052.
 - 42 Flowers KR, LaStayo P. Effect of total end range time on improving passive range of motion. *J Hand Ther* 1994;7:150-

157. [https://doi.org/10.1016/s0894-1130\(12\)80056-1](https://doi.org/10.1016/s0894-1130(12)80056-1). PMID: 7951706.
- ⁴³ Dempsey AL, Branch TP, Mills T, et al. High-intensity mechanical therapy for loss of knee extension for worker's compensation and non-compensation patients. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol* 2010;2. <https://doi.org/10.1186/1758-2555-2-26>. PMID: 20939921.
- ⁴⁴ Steffen TM, Mollinger LA. Low-load prolonged stretch in the treatment of knee flexion contractures in nursing home residents. *Phys Ther* 1995;75:886-895. <https://doi.org/10.1093/ptj/75.10.886>. PMID: 7568388.
- ⁴⁵ Uhl TL, Jacobs CA. Torque Measures of Common Therapies for the Treatment of Loss of Knee Flexion. *Sports Health* 2012;4:101-106. <https://doi.org/10.1177/1941738111424124>. PMID: 23016075.
- ⁴⁶ Branch TP, Karsch RE, Mills TJ, et al. Mechanical therapy for loss of knee flexion. *Am J Orthop* 2003;32:195-200. PMID: 12723771.
- ⁴⁷ Bhav A, Sodhi N, Anis HK, et al. Static progressive stretch orthosis -consensus modality to treat knee stiffness - rationale and literature review. *Ann Transl Med* 2019;7(Suppl 7):S256. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.06.55>. PMID: 31728380.
- ⁴⁸ Aspinall SK, Bamber ZA, Hignett SM, et al. Medical stretching devices are effective in the treatment of knee arthrofibrosis: A systematic review. *J Orthop Translat* 2021;27:119-131. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2020.11.005>. PMID: 33659182.
- ⁴⁹ Aspinall SK, Wheeler PC, Godsiff SP, et al. The STAK tool: evaluation of a new device to treat arthrofibrosis and poor range of movement following total knee arthroplasty and major knee surgery. *Bone Jt Open* 2020;1:465-473. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.18.bjo-2020-0096>. PMID: 33215140.
- ⁵⁰ Bonutti PM, McGrath MS, Ulrich SD, et al. Static progressive stretch for the treatment of knee stiffness. *Knee* 2008;15:272-276. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2008.04.002>. PMID: 18538574.
- ⁵¹ Papotto BA, Mills T. Treatment of severe flexion deficits following total knee arthroplasty: a randomized clinical trial. *Orthop Nurs* 2012;31:29-34. <https://doi.org/10.1097/nor.0b013e3182419662>. PMID: 22278649.
- ⁵² Stinton SK, Beckley SJ, Branch TP. Efficacy of non-operative treatment of patients with knee arthrofibrosis using high-intensity home mechanical therapy: a retrospective review of 11,000+ patients. *J Orthop Surg Res* 2022;17:337. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03227-w>. PMID: 35794671.
- ⁵³ Banks K, Hengeveld E. The Maitland Concept as a clinical practice framework for neuromusculoskeletal disorders. In: Hengeveld E, Banks K. *Maitland's Peripheral Manipulation*. 5th Ed. Elsevier 2013, pp.1-65.
- ⁵⁴ Schomacher J. Aspetti del trattamento delle articolazioni. In Schomacher J. *Terapia Manuale - Imparare a muovere e percepire*. Milano: Masson 2004, pp. 25-29.
- ⁵⁵ Stephenson JJ, Quimbo RA, Gu T. Knee-attributable medical costs and risk of re-surgery among patients utilizing non-surgical treatment options for knee arthrofibrosis in a managed care population. *Curr Med Res Opin* 2010;26:1109-1118. <https://doi.org/10.1185/03007991003676479>. PMID: 20225995.
- ⁵⁶ Meroni R, Cerri CG, Lanzarini C, et al. Comparison of Active Stretching Technique and Static Stretching Technique on Hamstring Flexibility. *Clin J Sport Med* 2010;20:8-14. <https://doi.org/10.1097/jsm.0b013e3181c96722>. PMID: 20051728.
- ⁵⁷ Sheridan GA, Keenan G, Beverland DE. Knee Flexion Angle Measurement Using Virtual Assessment Tools: Correct Procedure and Potential Pitfalls. *Arthroplast Today* 2022;14:205-209. <https://doi.org/10.1016/j.artd.2021.11.012>. PMID: 35510069.
- ⁵⁸ Russo RR, Burn MB, Ismaili SK, et al. Is digital photography an accurate and precise method for measuring range of motion of the hip and knee? *J Exp Orthop* 2017;4:29. <https://doi.org/10.1186/s40634-017-0103-7>. PMID: 28884315.