



Universidad Nacional
de **Río Negro**

”Importancia de la dosificación de cargas en el proceso de rehabilitación de la tendinopatía rotuliana”

Alumno: Melman, Santiago Javier.

Director: Capaccioni, Marcelo.

Año: 2025.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer de todo corazón a mis padres, Patricia y Daniel, por todo el apoyo, comprensión y confianza a lo largo de este camino, por enseñarme la importancia del respeto hacia los demás. Gracias por confiar en mí, sin ustedes esto no sería posible.

También quiero agradecer a mis hermanos, Luciano y Rocío, que no importa cómo sea nuestra relación siempre están cuando los necesito.

A mi abuela Rosita y mi tía Adriana, quienes, aun desde lejos, me hacen llegar siempre su cariño, su apoyo y sus palabras de aliento.

A mi tío Lali y mis primas, Florencia y Rosario, quienes en las cenas familiares aportan risas, buena energía y momentos que se convierten en refugio en medio de las responsabilidades.

A mis amigos, hermanos de corazón Franco y Nico que a pesar de la distancia siempre están cuando los necesito, gracias por ayudarme a despejar la cabeza, a tomar decisiones importantes y estar ahí en los momentos más difíciles.

A todos mis compañeros especialmente a Nico, Fede y Aldi quienes hoy en día son grandes amigos. Gracias por compartir mis mejores momentos durante la carrera, por darme fuerza e incentivarme en aquellos momentos donde estaba negado con algunas materias.

A mi director de tesis, Capaccioni, a quien hoy considero no solo un mentor sino también un amigo. Gracias por tu acompañamiento, por tu compromiso con la docencia y por guiarme con paciencia y dedicación durante todo este proceso.

A todos aquellos docentes que me hicieron un lugar y me permitieron formar parte de una cátedra, gracias por confiar en mí, por compartir su conocimiento y por brindarme la oportunidad de aprender desde otro rol dentro del ámbito académico.

A todos los profesionales que brindaron su espacio para que pudiera realizar mis prácticas profesionales, por su tiempo, su disposición y por contribuir a mi formación con sus experiencias y conocimientos.

A la Universidad Nacional de Río Negro por brindar una educación pública y de calidad.

¡GRACIAS!

Índice

Resumen.....	4
Introducción.....	6
Capítulo 1.....	7
Justificación.....	7
Planteamiento del Problema.....	8
Objetivos.....	9
Objetivo General:.....	9
Objetivos Específicos:.....	9
Hipótesis.....	9
Capítulo 2.....	9
Marco teórico.....	9
Capítulo 3.....	22
Metodología de Trabajo.....	22
Tipo y diseño de la investigación:.....	22
Criterios de Inclusión y Exclusión.....	22
Criterios de Inclusión:.....	22
Criterios de Exclusión:.....	22
Capítulo 4.....	23
Desarrollo.....	23
Principios y fundamentos del entrenamiento.....	24
Variables de entrenamiento-Componentes de la carga.....	31
Capítulo 5.....	37
Discusión.....	37
Conclusión.....	39
Bibliografía.....	40

Resumen

Introducción: La tendinopatía rotuliana representa una de las afecciones más frecuentes en deportistas que realizan actividades con saltos o esfuerzos repetitivos. Su abordaje terapéutico ha evolucionado hacia la inclusión del ejercicio como herramienta de tratamiento. Sin embargo, la mayoría de los estudios existentes aplican protocolos de carga sin fundamentar su dosificación desde los principios del entrenamiento. En este contexto, el presente trabajo analiza la importancia de la dosificación de la carga dentro del proceso de rehabilitación, considerando los principios, fundamentos y variables del entrenamiento como base teórica aplicable al ámbito kinésico.

Objetivo general: Analizar, mediante una revisión bibliográfica y el estudio de la evidencia científica disponible, la relevancia del manejo y la progresión de la carga en la rehabilitación kinésica de la tendinopatía rotuliana, con el fin de aportar un marco de referencia teórico-metodológico que permita integrar los principios del entrenamiento en el abordaje kinésico de esta patología.

Metodología: El estudio se desarrolló bajo un diseño documental, con enfoque cualitativo y carácter explicativo. Se recolectó información de libros académicos dentro del área de salud, del entrenamiento y artículos científicos publicados desde el año 2015 a 2025. La información fue organizada en categorías temáticas que abarcaron: fisiología del tendón, patología del tendón, fundamentos de la carga, principios del entrenamiento y variables de aplicación clínica.

Desarrollo: La revisión evidenció que la dosificación de la carga, siendo este un estímulo mecánico, constituye un elemento importante en la adaptación del tejido tendinoso. Los principios y fundamentos del entrenamiento permiten estructurar la secuencia del tratamiento desde la fase inicial en consultorio hasta la readaptación deportiva.

El kinesiólogo al asumir el rol de regulador de la dosis mecánica, ajusta el estímulo en función de la respuesta biológica y clínica del paciente. Para ello, puede apoyarse en herramientas de evaluación como el VISA-P, la EVA y la escala de Borg, que funcionan como indicadores de tolerancia, esfuerzo y progresión. Asimismo, durante la transición hacia la readaptación deportiva, es necesario considerar que los estímulos generados por la práctica parcial o progresiva del deporte, así como los trabajos orientados a la reintroducción de gestos técnicos o físicos específicos, forman parte de la dosis total de carga aplicada. Estos estímulos deben ser planificados y controlados dentro del proceso terapéutico, ya que contribuyen a la adaptación del tejido y a la preparación funcional para el retorno deportivo, evitando una sobreexposición o acumulación excesiva de carga que pueda generar recaídas.

Conclusión: La integración de los principios y fundamentos del entrenamiento dentro del proceso de rehabilitación ofrece un marco científico que posibilita una dosificación de la carga adaptada al paciente. Este enfoque permite comprender la rehabilitación como una extensión del proceso de entrenamiento, proponiendo una

progresión lógica desde la readaptación tisular hasta el retorno deportivo. Se concluye que el kinesiólogo debe actuar como mediador entre la biología del tejido y las demandas del movimiento, aplicando conocimiento científico con criterio clínico y sentido humano.

Palabras clave: carga de entrenamiento; tendinopatía rotuliana; rehabilitación; principios del entrenamiento; dosificación; adaptación.

Introducción

Como plantean Menna (2022) y Lazarczuk et al. (2022), la terapia con ejercicio físico constituye actualmente una de las estrategias más estudiadas y aplicadas en el abordaje de las tendinopatías sobre todo en poblaciones vinculadas al deporte. Ello se debe a que los tendones, al ser estructuras altamente sensibles a los cambios en la carga mecánica, responden con adaptaciones estructurales y funcionales cuando el estímulo se aplica de manera progresiva. Dichas adaptaciones incluyen un aumento en la rigidez y en la capacidad de almacenamiento de energía, lo cual repercute en la función mecánica del tejido.

No obstante, como señalan Docking y Cook (2019), el mismo estímulo mecánico que resulta beneficioso en dosis adecuadas puede convertirse en un factor agravante cuando se aplica de forma excesiva, repetitiva o insuficiente. En tales casos, el tendón puede desarrollar respuestas maladaptativas que favorecen la cronificación de la lesión. Esta aparente contradicción ha llevado a un consenso parcial en la literatura afirmando que la actividad física es necesaria en la rehabilitación, pero admitiendo que aún persiste una falta de evidencia clara respecto de cómo prescribir, dosificar y progresar la carga de manera óptima en un programa de rehabilitación.

Entre las diversas tendinopatías, la rotuliana resulta de particular interés por su elevada incidencia en poblaciones de deportistas, donde el objetivo terapéutico principal suele ser la reinserción a la actividad física o deportiva. Este escenario hace imprescindible profundizar en el concepto de carga, en su dosificación y en las respuestas fisiológicas que genera el tendón frente a diferentes dosis de estímulo mecánico.

En consecuencia, el presente trabajo tiene como propósito analizar críticamente la bibliografía disponible acerca del manejo de la carga en la rehabilitación de la tendinopatía rotuliana. A partir de ello, se busca identificar estrategias, principios y bases conceptuales que permitan sustentar la toma de decisiones clínica.

Capítulo 1

Justificación

El tratamiento de la tendinopatía rotuliana se basa, en gran medida, en la aplicación de ejercicio físico. Sin embargo, existe incertidumbre respecto a la dosis de carga que se debe solicitar al paciente en cada ejercicio y a la necesidad de controlar dicha carga para optimizar los resultados. Ante esta problemática, surge el presente trabajo, a fin de conocer y analizar la información sobre el manejo de la dosis de carga en este contexto terapéutico.

Durante el desarrollo de la formación académica y en el marco de las prácticas profesionales supervisadas, se identificó la ausencia de un consenso en la literatura científica respecto de los programas de ejercicios propuestos para la rehabilitación de esta patología. La revisión bibliográfica evidencia que el único acuerdo existente radica en la recomendación del ejercicio físico como primera línea de tratamiento, con especial énfasis en los ejercicios de carácter excéntrico. No obstante, no se dispone de una justificación metodológica clara sobre la forma de aplicación, la dosificación de la carga ni las características o componentes específicos que integran dichos programas. Esta observación se encuentra en concordancia con lo expuesto por De la Fuente et al. (2019).

Asimismo, se observa que la literatura no hace referencia a los principios o fundamentos neurofisiológicos que podrían sustentar la selección y dosificación de la carga, ni a las estrategias que orienten la progresión de los estímulos a lo largo del proceso de rehabilitación.

En función de lo expuesto, la presente investigación tiene como propósito indagar y aportar evidencia sobre los beneficios del control de la carga durante la rehabilitación, así como analizar de qué manera distintas características y principios del entrenamiento pueden ser aplicados en dicho proceso. De esta manera, se busca generar herramientas que sirvan de sustento para la planificación de programas de intervención orientados a objetivos específicos en el futuro.

Planteamiento del Problema

En este trabajo se eligió la tendinopatía rotuliana, con predominio en poblaciones vinculadas al deporte, como objeto de análisis debido a su alta frecuencia y a la importancia que reviste su rehabilitación. Tal como señalan Mascaró et al. (2018), la aplicación de cargas apropiadas se considera el abordaje de primera línea, aunque persisten interrogantes sobre su dosificación y progresión óptimas.

Bueno & Porqueres (2008) nos explica que el tendón, desde su función, está diseñado para transmitir fuerzas (o tensión) con deformación y pérdida de energía mínima desde el músculo hacia el hueso provocando el alargamiento o acortamiento del mismo. Este estímulo mecánico, según Millar et al. (2021), estimula al tenocito quien es el encargado de controlar el metabolismo celular del tendón, y responde a la tensión produciendo colágeno y remodelando la matriz extracelular.

Sin embargo, como mencionan De la Fuente et al. (2019) surge la duda de cómo estructurar el tratamiento; y esto es importante dentro de la rehabilitación ya que, según Lazarczuk et al. (2022), los resultados obtenidos en distintas pruebas sugieren que la magnitud y la duración de la tensión experimentada por los tenocitos es el estímulo mecánico crucial para la adaptación del tendón. De hecho, parece que puede existir una dosis óptima de tensión en la que se maximiza la remodelación anabólica, mientras que una tensión demasiado baja o alta conduce a una adaptación catabólica. Si bien Docking y Cook (2019) también comparten lo mencionado anteriormente, ellos añaden que las consecuencias negativas de la carga también pueden provocar la patología del tendón.

Objetivos

Objetivo General:

- Analizar, mediante una revisión bibliográfica y el estudio de la evidencia científica disponible, la relevancia del manejo y la progresión de la carga en la rehabilitación kinésica de la tendinopatía rotuliana, con el fin de aportar un marco de referencia teórico-metodológico que permita integrar los principios del entrenamiento en el abordaje kinésico de esta patología.

Objetivos Específicos:

- Desarrollar los principios y fundamentos del entrenamiento físico aplicables a la rehabilitación de lesión del tendón rotuliano.
- Fundamentar, a partir de la evidencia científica, la importancia del manejo adecuado de la carga en la rehabilitación del paciente con tendinopatía rotuliana.
- Describir las principales variables a considerar para la dosificación y progresión de la carga durante la actividad física de pacientes con tendinopatía rotuliana.

Hipótesis

El manejo adecuado y progresivo de la carga constituye un factor importante para optimizar la rehabilitación kinésica en pacientes con tendinopatía rotuliana, favoreciendo la reparación tendinosa y reduciendo el riesgo de recaídas.

Capítulo 2

Marco teórico

El marco teórico buscará desarrollar los conceptos básicos necesarios para la comprensión del trabajo final de carrera.

Anatomía

Bueno & Porqueres (2008) nos describió el tendón rotuliano empezando por su ubicación en la cara anterior de la rodilla, la cual, está anatómicamente diseñada en función de la rótula; este es un gran hueso sesamoideo cuya principal función es servir de palanca al cuádriceps para multiplicar su fuerza, esto es importante ya que el tendón rotuliano se origina en el polo inferior de la rótula y se inserta en el tubérculo preespinal de la tibia.

Este autor también nos menciona distintos elementos encargados de minimizar la fricción de los tendones sobre las superficies óseas; entre ellos se distinguen la grasa de Hoffa y dos bursas, suprarrotuliana e infrarrotuliana profunda, bajo los tendones cuadricipital y rotuliano, respectivamente; este último posee, a su vez, una bursa más anterior denominada infrarrotuliana superficial.

Con respecto a la irrigación nos detalla que proviene de las arterias geniculadas-inferomedial, inferolateral, superolateral y la arteria tibial anterior recurrente, ramas todas ellas de las arterias femoral y poplítea.

En términos generales la información nerviosa es esencialmente aferente, pudiendo clasificarse en cuatro categorías: tipo 1 o corpúsculos de ruffini, que son receptores de presión y reaccionan lentamente a los cambios de presión; tipo 2 o corpúsculos de pacini, que también reaccionan a presión pero son adaptaciones rápida, intervienen en la detección de movimientos de aceleración y desaceleración; tipo 3 o terminaciones de Golgi, las cuales son mecanorreceptores cuya función es convertir la deformación mecánica, expresada en presión o tensión, contracción o elongación musculares, en señales nerviosas aferentes que sinaptan con neuronas de interconexión en médula espinal e inhiben las motoneuronas alfa; el tipo 4 son terminaciones nerviosas libres, que son receptores de dolor de adaptación lenta.

La inervación propia de este tendón depende de pequeños ramos terminales del nervio ciático, especialmente el nervio poplíteo.

Histología

El tendón, como lo describen Bueno & Porqueres (2008), está constituido, principalmente, por distintos elementos: células, sustancia fundamental y fibras de colágeno, todo ello mantenido por diferentes tipos de enlace. Estos elementos constituyen el cuerpo del tendón en distintas proporciones.

Células: Son numerosos tipos de células, algunas son fijas y otras van y vienen de forma aleatoria respondiendo a las necesidades del tejido.

- **Fibroblastos:** Tienen un papel fundamental en el proceso de reparación tendinoso. Carecen de regulación central, por lo que las modificaciones de su forma, función y composición obedecen a estímulos locales, principalmente mecánicos.
Siendo más específicos, Millar et al. (2021), menciona a los Tenocitos, estos son fibroblastos especializados que se alinean uniformemente a lo largo de las fibras de colágeno. Las principales funciones de los tenocitos son controlar el metabolismo celular (es decir, la formación y degradación de la matriz extracelular) y responder a los estímulos mecánicos que experimenta el tendón. En particular, los tenocitos sufren una transmisión mecánica, es decir, se estiran a lo largo de las fibrillas de colágeno para formar matrices longitudinales al experimentar una carga de tracción, que actúa como señal para la producción de colágeno.
- **Macrofagos:** Numerosos en tejido conectivo laxo. Son carroñeros activos, engullendo células muertas, bacterias y partículas extrañas. Liberan mediadores de respuesta inflamatoria.
- **Células cebadas:** Función controvertida. Producen anticoagulantes como la heparina, también produce histamina y serotonina; sustancias que participan en el control de flujo sanguíneo en la inflamación.

Colágeno: La llave de la fuerza del tejido conectivo es la configuración de la molécula de colágeno. El colágeno presente en el tendón es en su mayoría tipo 1, constituyendo el 70-80% del peso seco del tendón. Los demás tipos se encuentran en cantidades menores.

Sustancia fundamental o matriz extracelular: Su composición responde a una mezcla de agua, PG y GAG. Esta principalmente aporta el cemento que causa que las fibras de colágeno se adhieran unas a otras y proporcionan lubricación y espacio para que puedan deslizarse unas sobre otras.

Enlaces cruzados: Si la sustancia fundamental aporta el espacio físico, la estabilidad molecular la aportan los enlaces cruzados. Los enlaces cruzados son importantes para la fuerza tensil del colágeno, haciéndolo más fuerte por unidad y con capacidad para absorber más energía, lo que aumenta su resistencia al ser sometido a tensión.

Análisis Biomecánico

Resumiendo lo que dice Bueno & Porqueres (2008), los tendones son estructuras diseñadas para transmitir la fuerza generada por los músculos hacia los huesos permitiendo el movimiento. La estructura del tendón define su comportamiento mecánico, y estos poseen dos propiedades fundamentales: fuerza y deformación.

La fuerza depende del grosor del tendón y de su contenido de colágeno independientemente de la tensión máxima generada por su componente contráctil (músculo); y la deformación es la capacidad del tendón de cambiar su forma o estructura cuando se le aplica una carga externa siendo este cambio reversible o no. La presencia del tendón entre el hueso y el vientre muscular tiene una función fundamental adaptando y disipando fuerzas, el componente elástico de la unidad músculo-tendón-hueso también realiza funciones de almacenamiento de energía y

regulación mecánica. Esto se explica ya que el tendón se comporta como un tejido viscoelástico que podemos definir como la relación entre la deformación máxima y el tiempo necesario para conseguirla. La relación entre estrés y estiramiento no es constante, sino que se ve modificada por dos variables, el tiempo y la carga; ante una carga constante el tendón aumenta su longitud, y a medida que es sostenida en el tiempo se necesita menos carga para sostener esa deformación. La relación entre carga aplicada y la deformación del tendón se expresa mediante una curva que incluye una fase inicial de alineación fibrilar, una fase lineal de deformación elástica y una fase de fallo estructural si la carga supera los límites fisiológicos.

La fuerza de tracción a que es sometida la rótula es uniforme en toda la zona de inserción mientras la rodilla permanece extendida pero a medida que aumenta la flexión aumenta la tensión, hasta aproximadamente a los 45° de flexión de rodilla, luego la tensión disminuye aunque la flexión aumente.

Por este motivo también se la conoce como “rodilla del saltador” ya que en la acción de saltar se produce una enorme sollicitación de los músculos extensores de la rodilla poniendo en gran estrés al tendón rotuliano, sin embargo la fuerza, por ende el estrés, generada en el tendón es aún mayor en la toma a tierra y aproximadamente el 60% de estas es absorbido por la unión osteo-tendinosa a nivel del polo inferior de la rótulas explicando así que sea el mayor punto de presentación clínica.

Tendinopatía rotuliana

La tendinopatía rotuliana según Bueno & Porqueres (2008) es un claro ejemplo de tendinopatía por tracción. El síndrome se caracteriza por dolor en la zona anterior de la rodilla que aumenta con la presión sobre el tendón rotuliano, cerca de su inserción en la rótula.

Existen cuatro posibles lugares de localización de la tendinopatía rotuliana, que guardan relación con el lugar de inserción del tendón rotuliano:

- El polo inferior de la rótula.
- tuberosidad anterior de la tibia.
- Inserción del tendón cuadricipital en el polo superior de la rótula.
- Cuerpo del tendón rotuliano.

Consideramos como verdadera tendinopatía rotuliana la que asienta en el polo inferior de la rótula. Es el lugar más común de localización de tendinopatías en individuos esqueléticamente maduros. El 80% de las tendinopatías en este grupo de individuos se localizan en este lugar.

La lesión se presenta habitualmente como una tendinosis del tendón rotuliano, que se localiza normalmente en las fibras medias y posteriores del tendón, cerca de su inserción. Existen dos razones para que la lesión tendinosa asiente en estos lugares: Primera, las fibras cercanas al centro del tendón son menos elásticas; segunda la rigidez de las fibras tiene lugar sobre todo con la rodilla flexionada y, de manera especial, cuando el ángulo es agudo, se focaliza cerca del centro del tendón.

Histopatología

Cuando se presenta esta patología Bueno & Porqueres (2008) describe que en el tendón existe la presencia múltiple de fibroblastos, hiperplasia vascular y desorganización del colágeno. Una característica de la tendinosis es que puede no ser dolorosa debido a la ausencia de células inflamatorias, las cuales si están presentes en la fase aguda de la lesión; una segunda característica es la pérdida de continuidad y desorganización del colágeno, cuyas fibras aparecen fragmentadas, agrietadas y separadas a causa del incremento de la sustancia fundamental, con fibras necróticas ocasionales; y como tercera característica se observa un aumento de la vascularidad y celularidad, aunque las células presentes son fibroblastos y miofibroblastos, no células inflamatorias. Todo esto confiere al tendón una consistencia más blanda de lo habitual y una coloración grisácea o amarillenta (a veces marrón) que en nada se asemeja al blaco brillante que lo caracteriza, a esta apariencia se la conoce como degeneración mucóide.

Teorías sobre la patogenia

En su artículo sobre tendinopatías, Millar et al. (2021) no describe las distintas teorías propuestas a lo largo del tiempo sobre el origen de esta patología:

Teoría Mecánica: Esta teoría condujo a la definición clásica de “tendinosis” y sugirió que la alteración de la cicatrización de las lesiones tendinosas conduce a cambios degenerativos, que son el resultado de una mayor demanda sobre los tendones con una reparación inadecuada y muerte celular progresiva. Esta teoría propone que la estimulación mecánica excesiva a través de tensiones o compresiones repetitivas, o un desencadenante nocivo de los tenocitos, induce cambios degenerativos en los tendones. Es importante destacar que esta teoría sugiere que las interacciones entre las células de los tendones y su entorno mecánico son cruciales para la patogénesis de la tendinopatía.

Teoría de la inflamación: Este modelo sugiere que los cambios patológicos en el tendón se deben a procesos inflamatorios. Aunque los resultados de algunos estudios han llevado a cuestionar esta hipótesis, lo que ha permitido que la teoría mecánica de la patología del tendón sea ampliamente aceptada, los estudios actuales han confirmado la presencia de mediadores inflamatorios y que la inflamación y el uso excesivo no son mutuamente excluyentes.

Teoría de la apoptosis: La teoría de la apoptosis relaciona las dosis elevadas de tensión cíclica (es decir, la carga repetitiva) con el estrés oxidativo, la adquisición de un fenotipo cartilaginoso y la activación de metaloproteinasas con el desarrollo de lesiones degenerativas.

Teoría vascular o neurogénica: Algunos estudios han sugerido que el aumento del crecimiento vascular en los tendones puede provocar su debilitamiento y rotura. Además, también se ha sugerido que la inflamación neurogénica media las respuestas adaptativas de los tendones a la sobrecarga mecánica.

Modelo continuo: El modelo continuo de la patología tendinosa se conceptualizó para integrar los síntomas clínicos y la investigación de laboratorio con el fin de orientar las opciones de tratamiento para las manifestaciones clínicas de la tendinopatía. El modelo consta de tres etapas: Tendinopatía reactiva, deterioro del

tendón (fallo en la curación del tendón) y tendinopatía degenerativa. Otros estudios han intentado fusionar todos estos aspectos en un proceso de tres etapas que consiste en la lesión, el fallo en la curación y los síntomas clínicos. En general, aunque estos modelos son útiles para correlacionar la ciencia básica de los tendones con los hallazgos clínicos, es poco probable que cualquiera de ellos explique completamente la etiología de la patología tendinosa y la compleja interacción entre el dolor y la función, que conduce al desarrollo de la enfermedad.

Cuadro clínico

Ante la presentación clínica Bueno & Porqueres (2008) hace referencia al dolor como el síntoma más significativo e invalidante, donde el paciente refiere dolor en la cara anterior de la rodilla que se agrava al correr, saltar y, en general, con la práctica deportiva. El mismo lo describe como un dolor sordo, salpicado por algunas sensaciones agudas que pueden corresponder a micro desgarros del tendón; capaz de localizar con la punta del dedo en los polos inferior (+++) y superior de la rótula (+) y en la eminencia preespinal (+); en pocos casos se aprecia sobre el cuerpo del tendón.

El tendón es sensible a la palpación. Con frecuencia aparece rígido y en ocasiones se puede palpar nódulos intratendinosos que corresponden a tejido cicatricial.

Diagnóstico

En su artículo sobre tendinopatía rotuliana, F. Abat et al. (2021) nos detalla que el diagnóstico de la tendinopatía rotuliana es principalmente clínico, basado en la anamnesis y el examen físico, complementado con pruebas de imagen. El dolor suele ser insidioso y localizado en la inserción del tendón en el polo inferior de la rótula, acentuándose al inicio de la práctica deportiva. La exploración debe realizarse con la rodilla en extensión, ya que la flexión de 90° disminuye la sensibilidad tendinosa. La prueba de sentadilla con declinación a una pierna es la más utilizada para provocar el dolor, al generar una carga significativa sobre el tendón. El principio de tolerancia de carga es clave en la rehabilitación y en la evaluación de resultados.

Las pruebas de imagen más empleadas son la ecografía y la resonancia magnética, aunque la correlación entre hallazgos estructurales y dolor no siempre es lineal. Más recientemente, la elastografía por ultrasonido (UTC) ha permitido detectar cambios sutiles en la elasticidad y estructura del tendón, favoreciendo diagnósticos tempranos y evitando la cronicidad.

Diagnóstico diferencial: El tendón rotuliano es una estructura anatómica íntimamente ligada a la biomecánica de la rodilla, por tanto el estudio y el análisis de las demás estructuras articulares, serán necesarios para un correcto y detallado diagnóstico diferencial. A continuación, se detallan algunos de los diagnósticos diferenciales:

La **tendinopatía rotuliana** se establece principalmente a partir de la localización del dolor, los factores desencadenantes y los hallazgos clínicos específicos. Se caracteriza por dolor anterior de rodilla localizado principalmente en el polo inferior de la rótula, que aumenta con actividades como correr o saltar, acompañado de sensibilidad a la palpación y posible rigidez tendinosa.

Diferenciándose del **síndrome femoropatelar**, que presenta dolor mecánico anterior difuso asociado a crepitación y limitación funcional, sin localización puntual en el tendón rotuliano, y relacionado con alteraciones del alineamiento patelar y déficits musculares.

El **síndrome de la almohadilla grasa (Hoffa)** se diferencia por un dolor anterior más intenso al subir o bajar escaleras y dolor en los últimos grados de extensión, vinculado al pinzamiento de la grasa infrapatelar.

La **apofisitis por tracción (Osgood-Schlatter o Sinding-Larsen-Johansson)** afecta principalmente a niños y adolescentes deportistas, con dolor localizado en la tuberosidad tibial anterior o en el polo inferior de la rótula, relacionado con la tracción repetitiva en zonas de inserción ósea.

Las **lesiones condrales o meniscales** presentan dolor con derrame y síntomas mecánicos, como bloqueos o crepitaciones, que empeoran con la flexión máxima o el impacto, siendo confirmadas mediante radiografía o resonancia magnética.

Finalmente, el **dolor referido de cadera** se distingue por un dolor anterior de rodilla sin lesión local, asociado a patologías articulares proximales como coxartrosis o pinzamiento femoroacetabular, identificado mediante la evaluación conjunta de rodilla y cadera.

Clasificación

F. Abat et al. (2021) menciona en su publicación que existen diversas clasificaciones en la literatura actual; a modo de simplificación para una mayor comprensión se pueden organizar en clasificaciones clínicas, según el momento de aparición del dolor durante la actividad y según el tiempo que lleva con dolor; y de imagen (mediante la utilización de US y RM) según área de lesión o % de rotura. Algunos autores abogan por clasificar las tendinosis rotulianas según su puntuación en el Victorian Institute of Sport Assessment – Patella (VISA-P). Este cuestionario se describe más adelante, en el apartado de “Escalas y Cuestionarios para evaluación de resultados y seguimiento de paciente”.

Tratamientos

Según Hernández Sánchez (2015), el tratamiento de la tendinopatía rotuliana está dirigido a disminuir el dolor, mejorar la función y permitir el retorno de los individuos a su deporte o actividad recreativa previa a la lesión. Para lograr estos objetivos, se han descrito multitud de tratamientos con diversos grados de éxito. La mayoría de ellos han tenido una base eminentemente empírica o clínica, y muchos de ellos se siguen aplicando en la actualidad, pese a no existir evidencias acerca de su efecto.

En la práctica clínica se emplean estrategias polimodales de intervención que, generalmente, implican la combinación de varias medidas, algunas de ellas son: el entrenamiento de rehabilitación, las ondas de choque extracorpóreas, la aplicación mediante inyecciones de plasma rico en plaquetas (PRP), las sustancias esclerosantes, corticoides o la aprotinina, cirugía, parches, oxigenoterapia hiperbárica, electrólisis percutánea intratisular (EPI®) ecoguiada, kinesiotaping,

masaje transverso o Cyriax, ultrasonido, láser, ortesis terapia manual y microelectrólisis percutánea (MEP).

Sin embargo, la literatura reciente sobre la rehabilitación de la tendinopatía, confirma que la medida terapéutica más importante es la gestión de la carga sobre el tendón. La prescripción del ejercicio puede favorecer la reorganización de la matriz extracelular y la síntesis de colágeno, modificar la actividad alterada de los tenocitos y generar un efecto analgésico.

El entrenamiento con ejercicio excéntrico, es el que cuenta con mayores evidencias sobre sus efectos positivos en las tendinopatías; sin embargo, todavía existe una falta de consenso acerca de la dosificación más eficiente.

La creciente publicación de revisiones y ensayos acerca de medidas de tratamiento en la literatura científica, permite un avance en el conocimiento de esta lesión y su manejo. Mayormente se estudia la aplicación individual de medidas o ejercicios, por lo que la prescripción de programas basados exclusivamente en estas evidencias científicas no puede asegurar el éxito del tratamiento. La estrategia de abordaje debe considerar la forma de presentación de la tendinopatía y atender a las particularidades del individuo y su actividad.

El reto es, entonces, afinar en la dosificación óptima de cada uno, así como en la combinación efectiva entre los mismos.

Escalas y Cuestionarios para evaluación de resultados y seguimiento de paciente

Hernández Sánchez (2015) nos explica en su trabajo la importancia de la evaluación de resultados mediante cuestionarios constituye una herramienta esencial para estimar los efectos de una intervención terapéutica, especialmente cuando los resultados no pueden medirse de forma directa. Estos instrumentos permiten cuantificar fenómenos subjetivos como el dolor o la capacidad funcional, integrando la perspectiva del paciente y ofreciendo una medida clínica objetiva y reproducible. A pesar de su utilidad para monitorizar tratamientos, mejorar la comunicación profesional-paciente y planificar intervenciones, su uso en la práctica clínica sigue siendo limitado. Entre los principales motivos se encuentran la falta de tiempo, recursos, formación y conocimiento sobre su aplicación, además de la dificultad para seleccionar herramientas pertinentes.

Uno de los mayores desafíos en la utilización de cuestionarios como el VISA, empleado para evaluar la función y los síntomas en tendinopatías, es la disponibilidad en diferentes idiomas y contextos culturales. La traducción simple no garantiza su validez, por lo que se requiere un proceso riguroso de adaptación y validación transcultural que preserve las propiedades métricas y la equivalencia conceptual del instrumento original. Este proceso resulta indispensable para asegurar la fiabilidad y comparabilidad de los resultados en distintos entornos clínicos y poblaciones.

Cuestionario Victorian institute of sport assessment (VISA-P)

Según lo mencionado por Hernández Sánchez (2015), en 1998 el Victorian Institute of Sport (Australia), ante la necesidad de cuantificar los síntomas de la tendinopatía rotuliana desde una perspectiva funcional y por la falta de instrumentos

específicos para ello, desarrolló una breve escala autoadministrada conocida como VISA-P. Esta herramienta incluye diferentes preguntas relativas al dolor, la función y la capacidad para realizar deporte.

La escala posee ocho ítems, seis de los cuales presentan respuestas graduadas de 0 a 10, referidas al dolor y su repercusión sobre gestos funcionales. En estas escalas, 0 representa la ausencia de dolor y 10 el dolor más intenso imaginable. Este formato de respuesta numérica ha sido ampliamente utilizado y validado en diversos estudios.

Los ítems 7 y 8 hacen referencia al impacto de la lesión sobre la participación deportiva, también con respuestas escaladas. La puntuación máxima posible es de 100 puntos, correspondiente a un sujeto totalmente asintomático, y la mínima teórica es de 0 p, que representa el máximo grado de discapacidad funcional. En las cuestiones relativas al dolor, la puntuación asignada es inversamente proporcional a la intensidad del mismo o a la dificultad para realizar las tareas propuestas.

Los criterios relacionados con las puntuaciones en la escala VISA-P para el retorno a la competencia deportiva son los siguientes:

- Los jugadores con una puntuación inferior a 50 puntos no deben volver al trabajo de campo.
- Pueden reincorporarse al grupo cuando alcanzan más de 60 puntos.
- Deberán haber mejorado en, al menos, 30 puntos desde la primera vez que se pasó el cuestionario, para ser dados de alta médica, siempre y cuando sobrepasen los 60 puntos.

Escala Visual Analógica (EVA)

Es una escala que, por lo descrito por F. Abat et al. (2021), permite medir la experiencia del dolor determinado por el paciente; es subjetiva, unidimensional y sensible, y estima la intensidad del dolor en la patología. Se utiliza como método de control de carga interna, ya sea para estimar la intensidad de un ejercicio o una sesión de rehabilitación. Independientemente, estas mediciones de resultados tienen una buena validez y fiabilidad para la aplicación en muchos entornos clínicos, incluida la rehabilitación de la tendinopatía rotuliana. Permite medir la experiencia de dolor inicial del paciente, durante la rehabilitación y ofrece indicaciones precisas de la intensidad del dolor y las variaciones en el dolor.

The British Pain Society (2019) explica que esta escala consiste en una línea horizontal de longitud fija, generalmente de 100 mm, cuyos extremos representan los límites de la sensación a medir: el extremo izquierdo indica “sin dolor” y el derecho “dolor extremo” u otra expresión equivalente. El puntaje se determina midiendo con una regla la distancia (en mm) entre el punto “sin dolor” y la marca realizada por el paciente, con un rango de 0 a 100. Se han propuesto clasificaciones arbitrarias: sin dolor (0–4 mm), dolor leve (5–44mm), dolor moderado (45–74 mm) y dolor severo (75–100 mm).

“Se recomienda utilizar conjuntamente la EVA y el VISA-P, dado a que ambos son cuestionarios que se utilizan ampliamente en la rehabilitación de la tendinopatía rotuliana” (F. Abat et al., 2021, p. 179).

Escala de borg

Morishita et al. (2018) nos explica que la escala de percepción del esfuerzo (RPE) constituye un método subjetivo y autoinformado utilizado para estimar la intensidad del ejercicio físico. Su aplicación permite controlar la carga interna del entrenamiento mediante la percepción global del esfuerzo, integrando variables fisiológicas como la frecuencia cardíaca y respiratoria. Entre sus versiones más empleadas se encuentran la escala de Borg de 15 puntos (6–20) y la escala Borg CR-10, ambas reconocidas como herramientas válidas, simples y de bajo costo para monitorizar la intensidad del ejercicio.

La escala Borg 6–20 fue desarrollada para cuantificar el nivel de tensión física percibida, donde el valor 6 representa ausencia de esfuerzo (reposo) y el valor 20 corresponde al esfuerzo máximo. Diversos estudios han demostrado una correlación significativa entre las puntuaciones de esta escala y la frecuencia cardíaca, validando su uso para estimar la carga interna durante el entrenamiento de fuerza. Por su parte, la escala Borg CR-10, derivada de la anterior, abarca valores de 0 a 10 y se utiliza con un procedimiento similar, permitiendo al sujeto valorar su esfuerzo inmediatamente después de cada serie de trabajo, desde 0 (sin esfuerzo) hasta 10 (máximo esfuerzo).

La evidencia analizada en la revisión indica que el RPE aumenta proporcionalmente con la intensidad de la carga (%1RM), el número de repeticiones, de series y la duración del ejercicio. Se observó una relación positiva entre las puntuaciones de RPE y los porcentajes de 1RM y de contracción voluntaria máxima, así como con el torque isométrico. Estos resultados confirman que la percepción del esfuerzo refleja adecuadamente las variaciones de la carga interna durante el entrenamiento de fuerza.

En adultos jóvenes, la RPE mostró una relación directa con la intensidad relativa del ejercicio, aunque persiste cierta variabilidad interindividual, dificultando establecer una correspondencia exacta entre valores de RPE y porcentajes de 1RM. A pesar de esta limitación, los hallazgos sugieren que el uso del RPE es un método eficaz para determinar y ajustar la intensidad de carga en programas de entrenamiento de la fuerza, especialmente dentro de contextos de rehabilitación.

Concepto de carga

Como señalan Impellizzeri et al. (2023), el concepto de carga en las ciencias del deporte y la medicina debe entenderse como la “dosis” de estímulo que recibe el organismo, en un sentido análogo al de la farmacología o la epidemiología. La carga representa la cantidad total de exigencia a la que se expone un sistema biológico y que, en el contexto del entrenamiento o la rehabilitación, se manipula con el fin de generar adaptaciones específicas. En otras palabras, la carga no es solo el volumen o la intensidad de un ejercicio, sino un constructo complejo y multidimensional que integra tanto lo que se aplica desde el exterior como la forma en que el organismo lo procesa.

Dentro de este marco, la carga puede dividirse en dos dimensiones complementarias:

- **Carga externa:** hace referencia al trabajo físico objetivamente realizado, expresado en estímulos cuantificables de la actividad (por ejemplo, distancia recorrida, número de repeticiones, velocidad alcanzada o peso movilizado). Representa lo que se prescribe o ejecuta.
- **Carga interna:** corresponde a la respuesta psicofisiológica del organismo frente a esa carga externa. Incluye variables como la frecuencia cardíaca, la concentración de lactato, la percepción subjetiva del esfuerzo o el estrés neuromuscular. Refleja cómo “vive” el organismo el estímulo recibido.

Esta diferenciación es fundamental porque una misma carga externa puede generar respuestas internas muy distintas entre individuos, según factores como la genética, el estado de entrenamiento, la susceptibilidad individual o el contexto metabólico. Por lo tanto, la carga debe comprenderse como un fenómeno integrado, en el que el estímulo aplicado y la respuesta generada se retroalimentan y condicionan mutuamente.

Capacidad de carga

La capacidad de carga según Docking y Cook (2019) se ha definido como la capacidad de realizar movimientos funcionales con el volumen y la frecuencia requeridos sin exacerbar la lesión ni causar daño tisular, lo cual se ve potencialmente mediado por cambios en las propiedades del tendón o en la función de la cadena cinética. Se ha propuesto que la capacidad de carga es un fenómeno dinámico, que puede aumentarse con la aplicación adecuada de la carga o disminuirse en ausencia de ella.

El concepto de capacidad de carga es análogo al "punto mecanostato" propuesto para el hueso. Mientras que la capacidad de carga es un cambio a nivel de persona y el "punto mecanostato" es un cambio a nivel de tejido, ambos sugieren que hay un umbral basado en el tejido que determina si la carga aplicada induce una respuesta adaptativa o desadaptativa. Utilizando cultivos de células de tendón, la aplicación de una tensión de tracción del 6% produjo una posible respuesta adaptativa del tendón (aumento del ARNm del colágeno I y una inhibición de las enzimas de degradación), donde la ausencia de carga indujo marcadores de degradación (aumento de las metaloproteinasas de matriz y las enzimas colagenasas). Críticamente, el "punto mecanostato", o nivel en el que la carga induce una respuesta positiva o negativa, es fluido e influenciado por la carga a largo plazo.

Comprender la adaptación es fundamental para el desarrollo de intervenciones basadas en la carga que aprovechen la mecanotransducción para desarrollar tendones más resilientes y mejorar el rendimiento físico.

Mecanismos de adaptación a la carga

Docking y Cook (2019) nos mencionan en su trabajo que la adaptación puede definirse como el proceso por el cual un organismo, sistema u órgano modifica su estructura o función para responder a las demandas del entorno. En el tendón, este fenómeno está principalmente regulado por estímulos mecánicos, tales como tensión, compresión o fuerzas de cizallamiento.

El concepto se analiza en dos niveles: a nivel del individuo, la adaptación se refleja en una mayor capacidad de carga y a nivel tisular, donde se manifiesta en cambios estructurales, mecánicos o bioquímicos específicos del tendón.

La capacidad de carga es dinámica: aumenta con la aplicación adecuada de cargas y disminuye con la ausencia de estímulo. Este comportamiento se relaciona con el denominado “punto mecanostático”, que actúa como un umbral tisular para determinar si una carga induce una respuesta adaptativa o maladaptativa. Cuando la estimulación mecánica es apropiada, se favorece la síntesis de colágeno y la homeostasis del tejido, mientras que la falta de carga prolongada induce procesos de degradación y una respuesta maladaptativa.

En síntesis, la adaptación tendinosa depende del equilibrio entre la magnitud y la frecuencia de las cargas aplicadas, siendo la adecuada dosificación del estímulo un factor clave para promover respuestas adaptativas y reducir el riesgo de patología.

El tendón responde a la carga mediante una serie de adaptaciones a nivel tisular y del individuo:

- **Adaptación a nivel tisular**

- **Propiedades mecánicas:** la rigidez, elasticidad y módulo de Young del tendón pueden aumentar tras intervenciones de entrenamiento sostenidas. Estas modificaciones permiten una mejor transmisión de fuerza desde el músculo al hueso y optimizan el almacenamiento y liberación de energía elástica.
- **Dimensiones tendinosas:** cambios en el área de sección transversal (CSA) del tendón pueden reducir el estrés relativo durante la carga, aumentando la capacidad de soportar fuerza. Sin embargo, este efecto es más relevante durante la adolescencia; en adultos, la remodelación del colágeno es limitada.
- **Estructura interna:** la alineación y organización de las fibras de colágeno, el contenido de proteoglicanos y agua, y la arquitectura interna del tendón pueden modificarse en respuesta a carga crónica. Estas alteraciones contribuyen a la tolerancia mecánica, aunque no siempre se traducen en cambios observables mediante imágenes convencionales.
- **Flujo sanguíneo y metabolismo:** la perfusión tendinosa aumenta temporalmente tras la carga, lo que puede facilitar la reparación y adaptación del tejido, aunque estas respuestas son transitorias y su relación con la adaptación clínica aún no está completamente definida.

- **Adaptación a nivel del individuo**

- La capacidad de carga del tendón se traduce en el rendimiento funcional y deportivo, incluyendo fuerza, salto, velocidad y resistencia. La adaptación del tendón se integra con la musculatura, el sistema nervioso y otras estructuras de la cadena cinética.
- La adaptación individual no depende únicamente de los cambios estructurales locales; la compensación y reorganización funcional pueden permitir que

tendones con patología estructural mantengan rendimiento similar al de tendones normales (“paradoja del tendón asintomático”).

- **Adaptación en tendones patológicos**

- Los tendones con degeneración o tendinopatía rara vez recuperan estructura normal, pero pueden aumentar su capacidad de carga mediante reorganización de fibras alineadas y cambios en propiedades mecánicas del tejido circundante.
- La adaptación puede ocurrir sin modificación significativa de la estructura degenerada, compensando con otras áreas del tendón o sistemas metabólicamente activos, como musculatura y sistema nervioso.

Estos mecanismos, en parte, están respaldados por Impellizzeri et al. (2023) quien agrega que estos procesos son mediados principalmente por la carga interna, ya que las respuestas biológicas locales del tendón dependen de cómo se percibe y procesa el estímulo mecánico aplicado. Además, la magnitud de la carga determina la naturaleza de la adaptación: protocolos de alta tensión inducen mayores mejoras en la rigidez tendinosa que protocolos de baja tensión, sugiriendo que la intensidad relativa del estímulo es un modulador clave de la respuesta adaptativa.

En síntesis, la carga de entrenamiento debe entenderse como un constructo causal y multidimensional, donde la interacción entre la carga externa y la carga interna condiciona la magnitud y dirección de las adaptaciones biológicas.

Capítulo 3

Metodología de Trabajo

Tipo y diseño de la investigación:

La presente investigación es de tipo documental, con enfoque cualitativo y de carácter explicativo.

Para llevar a cabo dicho trabajo se recolectó información de distintas bases como libros académicos dentro del área de salud, del entrenamiento y artículos científicos publicados desde el año 2015 a 2025, considerando idiomas inglés y español, a través de diferentes bases de datos tales como Google Académico, Pubmed, Scielo; utilizando las siguientes palabras claves: Tendinopatía rotuliana, Tendón, Rehabilitación, Entrenamiento, Concepto de carga, Patellar Tendinopathy, Training, Rehabilitation.

Criterios de Inclusión y Exclusión

Criterios de Inclusión:

- Artículos científicos y revistas relacionados con el tratamiento conservador de tendinopatía rotuliana publicadas entre el año 2015 y 2025.
- Bibliografía que desarrolle conceptos relacionados a Tendones en general, tendinopatía rotuliana y su rehabilitación, características del entrenamiento y principios del entrenamiento.

Criterios de Exclusión:

- Artículos publicados antes del 2015 exceptuando aquellos que sean fundamentales para el marco teórico.
- Artículos que se centren en tratamientos invasivos.

Capítulo 4

Desarrollo

Burton y McCormack (2021) explican que a pesar de que existen diversas opciones de tratamiento, lo más habitual es recomendar y aplicar ejercicio. Recientemente, se ha destacado el grado de heterogeneidad dentro de las poblaciones con tendinopatía, y se ha demostrado que hay una serie de factores individuales que influyen en el riesgo y la aparición de la tendinopatía, así como en los resultados del tratamiento, como el entrenamiento de la fuerza. Por lo tanto, la respuesta de las personas a las intervenciones con ejercicios puede ser diversa y multifactorial, debido a la interacción de una gran cantidad de factores. La respuesta al entrenamiento puede depender de factores como el tipo y la fase de la tendinopatía en el continuo, la duración, factores intrínsecos y extrínsecos individuales como el procesamiento sensorial y la edad, así como parámetros del ejercicio como el tipo, la dosis, la duración, la frecuencia, el volumen y la adherencia a la intervención. Por lo tanto, es plausible que la aplicación de un enfoque de entrenamiento genérico y estandarizado a una población con tendinopatía en gran medida heterogénea pueda reducir la utilidad potencial total del enfoque para mejorar los resultados en la tendinopatía. Las intervenciones de entrenamiento se basan normalmente en los principios básicos del entrenamiento, que, cuando se aplican adecuadamente, pueden garantizar un desafío y una adaptación suficientes del sistema neuromuscular humano.

Sin embargo Bompá y Buzzichelli (2019) mencionan que dichas intervenciones de entrenamiento se basan normalmente en los principios básicos del entrenamiento, que, cuando se aplican adecuadamente, pueden garantizar un desafío y una adaptación suficientes del sistema neuromuscular humano. Dichas adaptaciones se explican por principios neurofisiológicos que regulan el reclutamiento y la activación de las unidades motoras, como el principio del tamaño de Henneman, el reclutamiento de unidades motoras ocurre progresivamente desde las más pequeñas hasta las más grandes según la demanda de fuerza; la frecuencia de disparo, el aumento en la frecuencia de impulsos de una unidad motora incrementa la fuerza sin requerir nuevas unidades; Badillo y Ayestarán (2002) también describen la ley del todo o nada donde cada unidad motora, al activarse, contrae todas sus fibras con igual intensidad o no se activa; y la sincronización, siendo esta la activación simultánea de múltiples unidades motoras, de dos formas: Coordinación intramuscular, las unidades motoras se sincronizan y se reclutan de forma más coordinada con menor estímulo; y Coordinación intermuscular: se produce un proceso de aprendizaje, esto permite realizar un movimiento de modo más económico, y más sincronizado. los músculos agonistas se activan de modo más coordinado, los músculos antagonistas optimizan su tensión. Estos mecanismos determinan la capacidad del sistema nervioso para responder a los estímulos mecánicos y generar adaptaciones estructurales y funcionales, justificando la importancia de controlar la carga aplicada.

Por lo tanto, Burton y McCormack (2021) creen que la aplicación de los principios de entrenamiento puede ayudar a manipular adecuadamente variables,

como la carga, que pueden influir en los resultados clínicos. Es esencial que los principios científicos del entrenamiento se apliquen y se comuniquen correctamente en las intervenciones, con el fin de lograr dosis y estímulos óptimos de ejercicio, y permitir una evaluación adecuada de su viabilidad y eficacia en las poblaciones con tendinopatía. Comprender la adopción actual de los principios del entrenamiento de la fuerza puede abrir una vía para mejorar la aplicación adecuada de los principios clave, lo que podría mejorar la utilidad de las intervenciones de entrenamiento y los resultados a largo plazo para los pacientes con tendinopatía.

Principios y fundamentos del entrenamiento

Para generar un contexto sobre estos principios y fundamentos, Bompa y Buzzichelli (2019) no explican, de forma breve, qué es el entrenamiento: Es un proceso mediante el cual un deportista se prepara para conseguir los niveles más altos posibles de rendimiento donde la capacidad del entrenador para dirigir la optimización de unos resultados se concreta en el desarrollo de planes sistemáticos de entrenamiento que se nutren del conocimiento adquirido a partir de un amplio abanico de disciplinas científicas.

Los objetivos de los procesos de entrenamiento se centran en el desarrollo de los atributos específicos relacionados con la ejecución de diversas tareas. Dichos atributos específicos incluyen el desarrollo físico multilateral, el desarrollo físico específico del deporte, las destrezas técnicas, las habilidades tácticas, las características psicológicas, el mantenimiento de la salud, la resistencia a las lesiones y el conocimiento teórico. Su éxito se basa en la utilización de medios y métodos individualizados, que han de adecuarse a la edad, experiencia y nivel de talento de los deportistas.

Adaptación

Bompa y Buzzichelli (2019) describen el entrenamiento como un proceso organizado en el que el cuerpo y la mente se exponen constantemente a factores estresantes de diferente volumen e intensidad. La habilidad de un deportista para adaptarse y ajustarse a las cargas de trabajo impuestas por el entrenamiento y la competición es tan importante como la de las especies para adaptarse a los entornos en los que viven. La incapacidad del deportista para adaptarse a las variaciones constantes de las cargas de trabajo ya los factores estresantes asociados con el entrenamiento y la competición, le provocará un nivel crítico de fatiga, de sobrecarga o, incluso, de sobreentrenamiento. En tales circunstancias, será incapaz de conseguir las metas del entrenamiento.

Un elevado nivel de rendimiento es el resultado de muchos años de trabajo bien planificado, metódico y estimulante. Por tanto, el objetivo de cualquier plan de entrenamiento bien organizado es inducir adaptaciones que mejoren el rendimiento. Esto solo es posible si el deportista observa esta secuencia:

Incremento del estímulo (carga) → Adaptación → Mejora del rendimiento

Si la carga es siempre del mismo nivel, se produce una adaptación en la primera fase del entrenamiento seguida de una segunda de meseta (estancamiento) sin ninguna mejora posterior.

Pérdida de estímulo → Meseta → Perdida de la mejora

Si el estímulo es excesivo o demasiado variado, el deportista no será capaz de adaptarse, lo que le producirá una mala adaptación.

Estímulo excesivo → Mala adaptación → Disminución del rendimiento

Por tanto, el objetivo del entrenamiento es incrementar, progresiva y sistemáticamente, los estímulos del entrenamiento (la intensidad, el volumen de las cargas de trabajo y la frecuencia) para inducir mayores adaptaciones y, como resultado, mejorar el rendimiento. En las modificaciones de dichos estímulos ha de incluirse la variación del entrenamiento para maximizar las adaptaciones del deportista al plan de trabajo.

Las adaptaciones del entrenamiento son la suma de las transformaciones provocadas por la repetición sistemática de las sesiones de ejercicios. Estos cambios estructurales y fisiológicos son resultado de las demandas específicas que los deportistas imponen a su organismo por las actividades que ejercen, dependiendo del volumen, intensidad y frecuencia del entrenamiento. El trabajo físico es beneficioso siempre y cuanto sobrecargue al organismo, de tal modo que lo estimule para que se produzcan las adaptaciones. Si el estímulo no provoca retos fisiológicos suficientes, no puede esperarse que estas se incrementen. Por otro lado, si las cargas de entrenamiento son muy elevadas, intolerables y se imponen durante un periodo de tiempo excesivamente largo, pueden provocar lesiones o sobreentrenamiento.

Especificidad de adaptación

El proceso de adaptación al entrenamiento, mencionado por Bompa y Buzzichelli (2019), depende del sistema energético dominante en el deporte, las destrezas específicas y las habilidades motoras implicadas. Cuanto mayor es la complejidad fisiológica, técnica y psicológica de la actividad, más tiempo requiere el organismo para alcanzar un nivel elevado de adaptación. El progreso deportivo se logra mediante una exposición progresiva y sistemática a estímulos crecientes que superen el umbral de adaptación y desarrollen las capacidades funcionales del deportista.

Las principales adaptaciones inducidas por el entrenamiento se agrupan en los siguientes sistemas:

- **Neuromuscular:** Incremento de la eficacia motora, la coordinación y la actividad refleja, mejora del reclutamiento y sincronización de unidades motoras, aumento de la tasa de estimulación y de la hipertrofia muscular, junto con adaptaciones mitocondriales y en las vías metabólicas celulares.
- **Metabólica:** Aumento de los depósitos musculares de ATP, fosfocreatina y glucógeno, mejora en la tolerancia al ácido láctico, optimización del uso de grasas como fuente energética, desarrollo de la red capilar y eficiencia de los sistemas glucolítico y oxidativo, además de modificaciones enzimáticas específicas.

- **Cardiorrespiratoria:** Incremento del volumen pulmonar, hipertrofia ventricular izquierda, aumento del volumen sistólico y densidad capilar, elevación del umbral de lactato y del VO₂ máx, y reducción del ritmo cardíaco en reposo.

La adaptación es una respuesta fisiológica progresiva y específica al entrenamiento, dirigida a optimizar el rendimiento competitivo. Este proceso se manifiesta en diferentes fases:

- **Preadaptación:** Etapa inicial caracterizada por una adaptación gradual y temporal, donde el organismo incrementa su capacidad de trabajo y tolerancia al esfuerzo.
- **Compensación:** Fase en la que el deportista presenta mejoras funcionales y de rendimiento, compensando positivamente las exigencias del entrenamiento.
- **Adaptación estable o precompetitiva:** Etapa de equilibrio entre carga y recuperación, en la cual se consolidan las adaptaciones fisiológicas y psicológicas necesarias para la competencia.
- **Estado de preparación para la competición:** Resultado final del proceso adaptativo, en el que el deportista demuestra eficacia técnica, alto rendimiento físico y capacidad para tolerar y responder al estrés competitivo.

Efecto del entrenamiento

Cualquier programa de entrenamiento, también descrito por Bompa y Buzzichelli (2019), crea una cierta reacción a las respuestas adaptativas del organismo; esto se denomina efecto del entrenamiento. Los efectos del entrenamiento pueden clasificarse en tres categorías:

- Efecto inmediato del entrenamiento: puede detectarse durante e inmediatamente después de una sesión de entrenamiento en forma de reacción fisiológica a las cargas de trabajo, como el incremento del latido cardíaco, el aumento de la presión sanguínea, la disminución de la producción de fuerza como resultado de la fatiga, el incremento de la fatiga y el vaciamiento del glucógeno muscular, en función de la intensidad y el volumen del esfuerzo del entrenamiento.
- Efecto retardado del entrenamiento: es el resultado final de una sesión de entrenamiento, y puede ser de larga duración. Aunque el efecto inmediato post-entrenamiento es reducido debido a la fatiga, el retardado (es decir, los beneficios positivos del entrenamiento) surge después, tras haberse disipado la fatiga asociada al trabajo. La aparición del efecto retardado del entrenamiento depende del esfuerzo efectuado: cuanto más intensa sea la sesión, más larga será la franja de tiempo antes de que aparezcan las ganancias de rendimiento.
- Efecto acumulativo: es el resultado de muchas sesiones, e incluso fases de entrenamiento, en las que pueden incluirse sesiones con cargas que supongan un reto muy elevado, que supone la ruptura o superación del umbral de adaptación de una fase de entrenamiento dada. Con frecuencia, la aparición del efecto de entrenamiento acumulativo sorprende por igual a entrenadores y

deportistas, los cuales puede que no sean capaces de anticiparlo o explicarlo. La buena planificación de las sesiones, alternando las cargas e intensidades elevadas con sesiones de compensación, permitirá al deportista beneficiarse de los efectos acumulativos del entrenamiento.

Entendiendo esta descripción, proponen que la relación entre la fatiga y las ganancias del entrenamiento sea de un factor de 3:1, significando que la fatiga tiene una duración tres veces menor (por ejemplo, 24h) que el efecto de entrenamiento positivo (por ejemplo, 72 h). Ciertamente, el tipo de trabajo puede cambiar esta proporción dado que el entrenamiento anaeróbico es más exigente y, por tanto, provoca más fatiga. En cualquier caso, el efecto positivo de una sesión de entrenamiento es visible después de eliminada la fatiga; la adaptación producida se acompaña de una mejora del rendimiento.

Ciclo de supercompensación y adaptación

En su libro “Periodización - Teoría y metodología del entrenamiento”, Bompa y Buzzichelli (2019) desarrollan el fenómeno del entrenamiento denominado supercompensación, también conocido como ley de Weigert de supercompensación, fue descrito por primera vez por Folbot en 1941 y, más tarde, fue abordado por Hans Selye, quien lo denominó síndrome general de adaptación (SGA).

La teoría del síndrome general de adaptación de Selye (SGA) es la base de la sobrecarga progresiva la cual, si se aplica inadecuadamente, puede generar altos grados indeseables del estrés, este concepto sugiere que para que se produzcan las mejores adaptaciones al entrenamiento, sus intensidades, volúmenes y especificidad bioenergética tienen que modificarse sistemática y racionalmente en una secuencia de fases.

Por tanto, la supercompensación es la relación entre el trabajo y la recuperación que provoca una adaptación física superior, y una estimulación metabólica y neuropsicológica previa a una competición.

El entrenamiento físico provoca una serie de respuestas fisiológicas agudas que alteran la homeostasis del organismo y generan un estado de fatiga temporal. Estas respuestas están directamente relacionadas con la intensidad, volumen y frecuencia del ejercicio. A partir de dichas alteraciones, el cuerpo inicia un proceso de recuperación que, si se maneja de manera adecuada, conduce al fenómeno de supercompensación, considerado la base fisiológica de la mejora del rendimiento deportivo. Este proceso se desarrolla a través de cuatro fases secuenciales, que reflejan la interacción entre carga, recuperación y adaptación.

- Fase 1 – Fatiga (1 a 2 horas post ejercicio)
Corresponde al periodo inmediatamente posterior a la sesión de entrenamiento. Durante esta fase, el organismo experimenta una disminución transitoria de su capacidad funcional producto de la alteración de los procesos metabólicos, neuromusculares y energéticos. La fatiga representa el punto más bajo de la curva homeostática, marcando el inicio del proceso adaptativo.

- **Fase 2 – Compensación (24 a 48 horas post ejercicio)**
En esta etapa se produce la restauración progresiva de las reservas energéticas y la recuperación de la función muscular. Se restablecen los depósitos de ATP, fosfocreatina y glucógeno muscular, al mismo tiempo que aumenta la síntesis proteica y el consumo energético en reposo. Este periodo corresponde al comienzo de la fase anabólica, donde el organismo busca reequilibrar su estado fisiológico y preparar sus sistemas para futuros estímulos de carga.
- **Fase 3 – Supercompensación (36 a 72 horas post ejercicio)**
En esta fase, el cuerpo alcanza un nivel funcional superior al previo al entrenamiento. Se produce la recuperación completa del rendimiento, acompañada de una reposición total del glucógeno y una mejora de la capacidad contráctil muscular. Además, se manifiestan adaptaciones psicológicas positivas, como el aumento de la autoconfianza y la disposición al esfuerzo. Este momento representa la ventana óptima para aplicar un nuevo estímulo de entrenamiento, con el objetivo de potenciar las adaptaciones y continuar el progreso del rendimiento.
- **Fase 4 – Involución (3 a 7 días post ejercicio)**
Si no se aplica un nuevo estímulo durante la etapa de supercompensación, el organismo tiende a retornar gradualmente a su estado inicial, perdiendo parte de las adaptaciones adquiridas. Un intervalo excesivo entre sesiones puede provocar una disminución de la capacidad funcional, mientras que una frecuencia excesiva o sin recuperación adecuada puede generar sobreentrenamiento. Por lo tanto, el equilibrio entre la carga y la recuperación es determinante para sostener el progreso fisiológico.

El ciclo de supercompensación constituye un principio biológico esencial del entrenamiento, basado en la alternancia entre esfuerzo y recuperación. La adecuada planificación de la intensidad, frecuencia y tipo de estímulo permite que el deportista eleve su nivel de homeostasis. En cambio, una mala distribución de las cargas o un tiempo insuficiente de recuperación impiden alcanzar la supercompensación y limitan el desarrollo de las adaptaciones deseadas.

Especialización

Bompa y Buzzichelli (2019) mencionan que el entrenamiento deportivo conduce a adaptaciones fisiológicas específicas en función del tipo de actividad, sus demandas metabólicas y patrones de movimiento. Cada modalidad estimula de manera diferenciada los sistemas neuromuscular, metabólico y bioenergético, evidenciando la plasticidad del músculo esquelético ante distintos estímulos de fuerza o resistencia. Las adaptaciones también abarcan aspectos técnicos, tácticos y psicológicos, consolidando las bases para la especialización.

La especialización se desarrolla de forma progresiva sobre un fundamento multilateral, incrementando gradualmente el volumen, la intensidad y la especificidad del entrenamiento. Las mejores adaptaciones se alcanzan tras establecer bases multilaterales sólidas. La proporción entre ejercicios específicos y generales varía según el deporte: en disciplinas de resistencia predomina el trabajo específico, mientras que en actividades técnicas como el salto de altura se mantiene un equilibrio entre ambos tipos.

Especificidad y correspondencia dinámica

Siff y Verkhoshansky (2004) hace referencia al concepto de especificidad de entrenamiento de una forma sencilla diciendo que es ejercitar para mejorar de forma específica la expresión de factores como: tipo de contracción muscular, modelo de movimiento, región del movimiento, velocidad del movimiento, fuerza de contracción, reclutamiento de fibras musculares, metabolismo, adaptación biomecánica, flexibilidad, fatiga; de un deporte determinado.

Ellos le dieron tal importancia a la especificidad del entrenamiento que culminaron con la formulación del principio de la correspondencia dinámica. Este principio hace hincapié en que los medios para el entrenamiento de la fuerza en todos los deportes debe mejorar las capacidades motrices por lo que respecta a factores como la amplitud y dirección de los movimientos, así como el ritmo y tiempo de la producción de fuerza máxima.

Todo movimiento deportivo es específico y está dirigido a una meta. Por tanto, la fuerza desarrollada en la ejecución de cada movimiento es también específica y encaminada a un objetivo. No hay que hablar de fuerza en general, sino sólo en el contexto de la tarea relevante. Dicho de otro modo, los medios y métodos para el entrenamiento de la fuerza proporcionan un régimen de trabajo adecuado para el sistema motor en los ejercicios especiales y, por tanto, aseguran que haya una continua mejora del rendimiento deportivo. El fundamento de esta aseveración radica en el principio de la correspondencia dinámica, que hace hincapié en que los medios y métodos del entrenamiento de la fuerza para deportes específicos deben escogerse con el fin de mejorar las capacidades motrices requeridas en lo que respecta a: La amplitud y dirección del movimiento, la zona en donde se acentúa la producción de fuerza, la dinámica del esfuerzo, el ritmo y la duración de la producción de fuerza máxima, y el régimen de trabajo muscular.

Individualización

La individualización, según Bompa y Buzzichelli (2019), es una de las principales exigencias del entrenamiento contemporáneo. Esta exige que el entrenador tenga en cuenta las habilidades, el potencial y las características de aprendizaje del deportista, así como las exigencias del deporte, independientemente de su nivel de rendimiento. Cada deportista tiene unos atributos fisiológicos y psicológicos peculiares que necesitan considerarse al desarrollar un plan de entrenamiento.

Burton y McCormack (2021) apoyan esta idea mencionando que él mismo, ha recibido recientemente una mayor atención y, cuando las intervenciones de ejercicio se adaptan individualmente, se ha demostrado que los resultados mejoran en comparación con las intervenciones estandarizadas. La individualización de la prescripción de ejercicios también puede ser muy relevante en la tendinopatía debido a su naturaleza heterogénea, por lo que los principales investigadores y clínicos en tendinopatía han destacado la importancia de individualizar los tratamientos con ejercicios para mejorar los resultados.

Bompa y Buzzichelli (2019) mencionan algunos factores a tener en cuenta dentro de este apartado con el fin de remarcar su importancia:

Plan según nivel de tolerancia

La planificación del entrenamiento debe fundamentarse en la evaluación integral de los parámetros fisiológicos y psicológicos del deportista, con el fin de determinar su capacidad individual de trabajo. Esta capacidad está condicionada por diversos factores:

- **Edad biológica:** Constituye un indicador más preciso del potencial de rendimiento que la edad cronológica. La maduración sexual, reflejada en los niveles de testosterona, se asocia con mayor fuerza, velocidad y desempeño. Los jóvenes presentan mayor resistencia a la fatiga y toleran mejor volúmenes elevados de trabajo con cargas moderadas, mientras que los adultos mayores muestran menor tolerancia al esfuerzo intenso y mayor riesgo de lesiones.
- **Edad de entrenamiento:** Corresponde al tiempo total de preparación deportiva. Una edad de entrenamiento elevada indica una base sólida que permite asumir planes especializados. En cambio, deportistas con experiencia limitada requieren mayor trabajo multilateral antes de especializarse.
- **Historia de entrenamiento:** Determina el grado de desarrollo físico y la capacidad de respuesta al estímulo. Aquellos con antecedentes de entrenamiento multilateral presentan mejor preparación para soportar cargas más exigentes.
- **Estado de salud:** Las enfermedades o lesiones reducen la capacidad de trabajo y limitan la tolerancia a las cargas. El monitoreo del estado físico es esencial para ajustar adecuadamente la intensidad y volumen del entrenamiento.
- **Estrés y recuperación:** Los factores estresantes extradeportivos influyen en la tolerancia a la carga. Situaciones académicas, laborales o familiares elevan el nivel de estrés total, por lo que es necesario ajustar las cargas durante estos periodos para evitar la fatiga excesiva y el sobreentrenamiento.

Individualizar las cargas de entrenamiento

La habilidad de adaptarse a una carga de entrenamiento depende de la capacidad del individuo. Como se ha reseñado en la sección precedente, muchos factores contribuyen a la respuesta individualizada del deportista a las cargas de trabajo y a las progresiones: la historia del entrenamiento, el estado de salud, el estrés de la vida, la edad cronológica, la edad biológica y la edad de entrenamiento. En lugar de ello, se debe dirigir las necesidades y capacidades del individuo mediante el desarrollo de un programa personalizado que requiere observaciones detalladas su técnica y habilidades prácticas, características físicas y puntos fuertes o débiles.

La variación en el entrenamiento

Es un componente esencial para inducir adaptaciones y evitar la monotonía. La periodización equilibra variación y estabilidad, permitiendo que las adaptaciones morfofuncionales se construyan progresivamente. La variación puede aplicarse en microciclos mediante modificaciones en volumen, intensidad, frecuencia y selección de ejercicios, alternando sesiones múltiples o simples, y ajustando la intensidad de las sesiones para generar estímulo y recuperación. La planificación de la variación

debe basarse en la bioenergética del deporte, los esquemas de movimiento, la necesidad de destrezas específicas y el nivel de desarrollo del deportista, siendo los avanzados más sensibles a cambios en la carga y los principiantes a variaciones en los ejercicios dentro de un enfoque multilateral.

Progresión de la carga

Bompa y Buzzichelli (2019) explican que las mejoras en el rendimiento resultan directamente de la cantidad y calidad del trabajo durante el entrenamiento. Las cargas de entrenamiento deben incrementarse gradualmente y variarse periódicamente, según la capacidad fisiológica, habilidades psicológicas y tolerancia del deportista.

La carga de entrenamiento se concibe como la combinación de intensidad, volumen y frecuencia, determinada por el grado de especificidad del trabajo y el estatus de rendimiento del deportista. La aplicación de las cargas provoca respuestas fisiológicas que permiten la adaptación, elevando la forma física, la tolerancia al entrenamiento y la capacidad de rendimiento. A medida que el deportista se adapta, la carga debe incrementarse para inducir nuevas adaptaciones fisiológicas.

Las cargas se clasifican según sus efectos en las adaptaciones fisiológicas: de desarrollo, de mantenimiento o de desentrenamiento. La carga de desarrollo es más elevada que la habitual, la de desentrenamiento es sustancialmente menor y la de mantenimiento corresponde al trabajo típico, permitiendo conservar la forma física mientras se recupera. Esta clasificación es fluida, cambiando conforme el deportista se adapta, por lo que el entrenador debe considerar la secuencia de cargas en el plan periodizado.

La correcta secuenciación de las cargas se basa en su incremento gradual, produciendo mejoras en la capacidad de rendimiento. Incrementos súbitos requieren más tiempo para adaptaciones fisiológicas y aumentan el riesgo de malas adaptaciones y lesiones. La manipulación sistemática y gradual de las cargas constituye la base de la periodización, aplicable a todos los niveles del plan de entrenamiento y del deportista, estando directamente relacionada con las mejoras de rendimiento.

Variables de entrenamiento-Componentes de la carga

La eficacia de un programa de entrenamiento físico es resultado de la manipulación del volumen, la intensidad y la frecuencia, lo que constituyen sus variables clave. Estas variables deben manejarse según los requerimientos fisiológicos y psicológicos de las metas de entrenamiento (Bompa & Buzzichelli, 2019).

Los programas de entrenamiento deben enfatizar sobre las diferentes variables en función de las necesidades del deportista. El profesional debe monitorear continuamente las respuestas del deportista al programa para determinar si estas precisan futuros ajustes.

Intensidad

Bompa y Buzzichelli (2019) describen la intensidad como un componente cualitativo del trabajo que se realiza. Es otra variable importante de entrenamiento, relacionando el consumo de energía o trabajo por unidad de tiempo. Según esta definición, cuanto mayor sea el trabajo que se realiza por unidad de tiempo, mayor será la intensidad. Esta es una función de la activación neuromuscular, cuanto mayor sea la intensidad, mayor activación neuromuscular se requiere. Tales esquemas de activación estarán dictados por las cargas externas, la velocidad de ejecución, la cantidad de fatiga desarrollada y el tipo de ejercicio realizado. Un factor añadido a considerar es la tensión psicológica de un ejercicio. El aspecto psicológico de un ejercicio, incluso bajo tensión física escasa, puede tener un alto nivel de intensidad, lo cual se manifiesta como resultado de la concentración o estrés psicológico.

Hay muchos métodos para cuantificar y establecer la intensidad del trabajo. Por ejemplo, con ejercicios que se realizan contra una resistencia, o a alta velocidad, la intensidad del entrenamiento puede cuantificarse como el porcentaje del mejor rendimiento.

Se plantea que las altas intensidades generan adaptaciones fisiológicas rápidas pero menos estables y con mayor riesgo de sobreentrenamiento, en tanto que las bajas intensidades producen adaptaciones más lentas, aunque sostenidas y consistentes en el tiempo.

Densidad: Badillo y Ayestarán (2002) describen la densidad como la relación entre la frecuencia de entrenamiento y el tiempo de recuperación, tanto entre series dentro de una sesión como entre sesiones y unidades de entrenamiento más amplias. A mayor pausa, menor intensidad, mientras que a menor pausa, la intensidad aumenta.

Volumen

Según Bompa y Buzzichelli (2019), el volumen del entrenamiento, en ocasiones denominado inadecuadamente duración del entrenamiento, puede definirse como la cantidad total de actividad realizada en el entrenamiento; También puede considerarse como la suma del trabajo realizado durante una sesión de trabajo o fase. El volumen total del entrenamiento debe cuantificarse y monitorizarse por su impacto sobre las adaptaciones y la capacidad del deportista para recuperarse del entrenamiento; este mismo incluye las siguientes partes integrales:

- El tiempo o duración del entrenamiento.

En este apartado Badillo y Ayestarán (2002) lo dividen entre: el tiempo de entrenamiento, es decir, la duración total de la sesión; y el tiempo bajo tensión que es el tiempo de estímulo total sin contabilizar las pausas de descanso.

- La distancia cubierta, o el tonelaje en el entrenamiento de fuerza (tonelaje = series x repeticiones x carga en kg).

- El número de repeticiones de un ejercicio o elemento técnico en una prestación del deportista en un tiempo dado.

Bompa y Buzzichelli (2019) explican que la evaluación precisa del volumen de entrenamiento depende del deporte de la actividad concreta. En los deportes de resistencia la unidad apropiada para determinarlo es la distancia cubierta. En el levantamiento de peso o en el entrenamiento de fuerza, la unidad apropiada es el tonelaje, o toneladas métricas de trabajo, expresadas en kilogramos (tonelaje = series x repeticiones x resistencia en kg). Alternativamente, una unidad muy práctica para determinar volúmenes de entrenamiento es el número total de repeticiones de cada zona de intensidad. También puede utilizarse el número de repeticiones para calcular el volumen en actividades como la pliometría o los lanzamientos. Aunque el tiempo parezca ser un denominador común en la mayor parte de los deportes, la forma más sensible de expresar el volumen sería el factor de las zonas de intensidad.

A lo largo de la carrera del deportista, se incrementa el volumen de entrenamiento. Una vez que se ha adaptado bien a él, necesita mayor volumen de trabajo para estimular sus mejoras fisiológicas e incrementar el rendimiento. Una vez alcanzado el nivel más alto, en lugar de incrementar indefinidamente el volumen, se aumentan aún más las adaptaciones fisiológicas añadiendo más cantidad de trabajo específico dentro del plan anual.

Hay muchos métodos para incrementar el volumen de entrenamiento de las deportistas. Los tres más efectivos son:

- Incrementar la frecuencia del entrenamiento.
- Incrementar el volumen dentro de la sesión de trabajo.
- Incrementar tanto la frecuencia del entrenamiento como el volumen dentro de la sesión de trabajo.

Relación entre volumen e intensidad

Más allá de describir solo las variables, Bompa y Buzzichelli (2019) le dan importancia a la relación de las mismas, en este apartado haciendo desarrollando las mencionadas anteriormente. La compensación entre volumen e intensidad es fundamental en el proceso de entrenamiento; la interacción de estas variables es el fundamento de los planes de entrenamiento periodizados por sus efectos específicos sobre las adaptaciones fisiológicas y el rendimiento. La periodización del entrenamiento trata de orientarse hacia el rendimiento de los resultados mediante la manipulación fluctuante tanto del volumen como de la intensidad de trabajo. En la mayoría de los casos, el volumen y la intensidad están en relación inversa.

Por ejemplo, cuando la intensidad de entrenamiento es más elevada, generalmente el volumen es bajo. Las diferentes adaptaciones fisiológicas y de rendimiento se pueden estimular mediante el cambio del énfasis relativo sobre estos componentes. Sin embargo, debido a que el entrenamiento implica tanto cantidad como calidad, es impracticable contemplarlas por separado debido a que el trabajo realizado se considera un buen indicador del estrés de entrenamiento.

La relación entre el volumen y la intensidad varía a lo largo del proceso, dependiendo del propósito de la fase del plan propuesto. Normalmente, en el comienzo de la fase preparatoria, el énfasis se pone en el desarrollo del entrenamiento físico base, utilizando cargas de trabajo elevadas. Estas se logran por la vía del incremento del volumen de entrenamiento con una disminución concomitante en la intensidad. Cuando el deportista avanza en esta fase, disminuirá progresivamente el volumen de trabajo físico a la vez que se incrementa la intensidad.

Determinar la carga de trabajo óptima, lo que implica establecer combinaciones entre el volumen y la intensidad del entrenamiento, es una tarea compleja que depende de muchos factores, incluidos los específicos del deporte, la fase de entrenamiento anual y el nivel de desarrollo del deportista. Es mucho más fácil cuantificar el volumen y la intensidad en deportes que pueden evaluarse objetivamente.

Relación entre volumen y adaptación: La relación entre la dosificación del entrenamiento y estas adaptaciones es de especial interés para Bompa y Buzzichelli (2019). Los sistemas fisiológicos deben sobrecargarse progresivamente para inducir las adaptaciones necesarias que mejoren el rendimiento. Si el volumen de trabajo, el volumen del entrenamiento y su intensidad son excesivos, se elevan bruscamente o exceden la capacidad de trabajo del deportista, pueden producir una respuesta de mala adaptación. El programa de entrenamiento debe incluir variaciones en la intensidad, el volumen y la frecuencia, de tal forma que el deportista alterne entre la estimulación y la recuperación (es decir, trabajo y descanso); por lo general, esto ocurre a nivel de macrociclo (colocando una semana de descarga al final) y de microciclo (alternando las cargas de trabajo).

Por tanto, si se reitera la misma carga una y otra vez, se producen modificaciones fisiológicas y adaptaciones menos significativas. Para continuar estimulando apropiadamente las adaptaciones fisiológicas, la dosificación externa o sobrecarga de trabajo debe incrementarse progresivamente, tal como sugiere la teoría de la sobrecarga progresiva. Además, si las cargas se reducen sustancialmente, el efecto del entrenamiento disminuye y se produce una fase de involución.

Aunque es necesaria la reducción de la carga de trabajo del deportista que intenta eliminar la fatiga, recuperarse o conseguir el pico competitivo, permanecer en períodos de entrenamiento infra umbrales durante demasiado tiempo provocará una pérdida de las adaptaciones fisiológicas y, al final, la disminución de la capacidad de rendimiento.

Frecuencia

La frecuencia del entrenamiento puede definirse, según Bompa y Buzzichelli (2019), como la distribución de las sesiones de trabajo. Esta puede concebirse como una relación, que se expresa en unidades de tiempo, entre las fases de trabajo y de recuperación. Por tanto, cuanto mayor es la frecuencia, más corto es el tiempo de recuperación entre las fases de trabajo. Cuando se incrementa la frecuencia del entrenamiento, el deportista y el entrenador deben establecer un equilibrio entre trabajo y recuperación para evitar niveles excesivos de fatiga.

Es muy difícil calcular la cantidad óptima de tiempo necesario entre las múltiples sesiones de entrenamiento, ya que son muchos los factores que pueden contribuir al ritmo de recuperación del deportista. La intensidad y el volumen de una sesión de trabajo tienen una labor principal para determinar el tiempo necesario que debe mediar antes de la siguiente sesión de entrenamiento. Cuanto mayor sea la carga de trabajo de la sesión, mayor será la cantidad de tiempo necesario para la recuperación de la forma física o del restablecimiento de la capacidad de rendimiento.

Complejidad

Bompa y Buzzichelli (2019) describen la complejidad se refiere al grado de sofisticación y dificultad biomecánica de una destreza. La educación de destrezas más complejas en el entrenamiento puede incrementar su intensidad. Aprender una destreza compleja puede requerir trabajo extra en comparación con las básicas, en especial si el deportista posee menor coordinación neuromuscular o no se concentra por completo en la adquisición de la destreza.

Además Siff y Verkhoshansky (2004) nos mencionan algo importante a tener en cuenta cuando pensamos en cómo afecta un movimiento a una estructura del cuerpo, y es que la fuerza que un músculo genera sobre una articulación no siempre se traduce en la misma fuerza angular o torque. Esto ocurre porque el torque depende tanto de la magnitud de la fuerza muscular como de la distancia perpendicular entre la línea de acción de esa fuerza y el eje articular (brazo de momento). Si cambia la fuerza o cambia esa distancia durante el movimiento, el torque también varía.

Índice de exigencia global

Bompa y Buzzichelli (2019) continúan explicando la relación entre las variables mencionando que el volumen, la intensidad, la frecuencia y la complejidad, todos afectan a las exigencias globales (es decir, cargas de trabajo) que el deportista encuentra en el entrenamiento. Aunque estos factores pueden complementarse entre sí, un énfasis mayor en uno, sin ajustar el que se aplica a los otros, puede causar el incremento de las exigencias sobre el deportista. Por ejemplo, si el entrenador pretende mantener la misma exigencia de trabajo, y las características del deporte exigen desarrollar resistencia de alta intensidad, es posible que se incremente el volumen de entrenamiento. Cuando se incrementa el volumen, el entrenador ha de considerar cómo afecta el incremento de frecuencia del entrenamiento y cómo debe disminuir su intensidad.

Tipo de contracción vinculadas a la rehabilitación

Contracción isométrica (o estática)

Definida por Siff y Verkhoshansky (2004) como la contracción muscular en la que no se produce movimiento externo ni cambio en el ángulo articular. Ocurre cuando la fuerza generada por el músculo iguala la resistencia externa, manteniendo constante la posición del segmento corporal. Aunque el término “isométrico” implica “igual longitud”, en realidad se mantiene constante el ángulo articular, no la longitud del músculo.

Contracción concéntrica

Según Siff y Verkhoshansky (2004), se produce cuando la fuerza muscular supera la carga externa, provocando el acortamiento del músculo. También se denomina contracción por superación y representa un trabajo positivo. Existen dos formas:

- Concéntrica dinámica: implica acortamiento del músculo con movimiento visible.
- Concéntrica estática: se intenta el acortamiento, pero sin generar movimiento externo.

Contracción excéntrica

Siff y Verkhoshansky (2004) la definen como la acción en la que la fuerza muscular genera un alargamiento del músculo en contracción. Es conocida como contracción por cesión y su trabajo se considera negativo. Presenta dos variantes:

- Excéntrica dinámica: el músculo se estira mientras está activo.
- Excéntrica estática: el músculo resiste el estiramiento sin producir movimiento visible.

Capítulo 5

Discusión

El presente trabajo tuvo como propósito analizar la relevancia del manejo y la dosificación de la carga en la rehabilitación kinésica de la tendinopatía rotuliana, integrando los fundamentos, principios y variables del entrenamiento como marco teórico referencial.

A partir de la revisión realizada, se identificó que la literatura científica reciente, si bien reconoce el valor del ejercicio como primera línea terapéutica, no desarrolla de forma explícita los fundamentos del entrenamiento que sustentan la dosificación de la carga ni las bases fisiológicas que la regulan. Esta limitación metodológica obligó a recurrir a fuentes provenientes de la preparación física, las cuales proporcionan los principios necesarios para comprender, organizar y controlar la dosis del estímulo mecánico dentro del proceso de rehabilitación.

Desde esta perspectiva, el principio de individualización constituye el punto de partida indispensable. Cada paciente presenta una respuesta biológica y funcional particular frente a la carga, determinada por factores estructurales, histológicos y contextuales. El kinesiólogo, por tanto, debe actuar como regulador de la dosis mecánica, interpretando la biología del tejido y ajustando el estímulo según la respuesta observada. La utilización de cuestionarios validados, como la escala VISA-P, la EVA y la escala de Borg, permite objetivar la percepción de dolor, esfuerzo y función, funcionando como indicadores de progresión y tolerancia dentro del proceso de carga.

El proceso debe iniciar con una primera fase del abordaje en consultorio, en la que se utilizan múltiples herramientas terapéuticas para restaurar las capacidades básicas del sistema musculotendinoso. A medida que el paciente progresa, se transita hacia una mayor especificidad, donde las acciones comienzan a acercarse a las demandas del deporte hasta alcanzar nuevamente la competencia. Esta transición es gradual desde lo general a lo específico permite que las cargas se apliquen de forma funcional y segura.

No obstante, es importante destacar que la correspondencia dinámica no debe entenderse exclusivamente como la reproducción final del gesto deportivo. Ejercicios con correspondencia dinámica pueden y deben introducirse en fases anteriores, incluso dentro del ámbito del consultorio, siempre que cumplan con ciertos criterios biomecánicos y neuromusculares como la dirección del movimiento, la dinámica del esfuerzo, la zona de acentuación de la fuerza o la duración de la producción de fuerza. De este modo, se pueden diseñar tareas que estimulen patrones motores con similitudes funcionales respecto a las acciones deportivas (por ejemplo, correr, saltar o cambiar de dirección), sin necesidad de replicarlas completamente ni utilizar cargas externas elevadas. Estos ejercicios favorecen una transferencia progresiva y controlada hacia la especificidad, manteniendo la seguridad del proceso y optimizando la readaptación del tejido a las demandas futuras.

La relación entre trabajo y recuperación, descrita en el principio de supercompensación, adquiere un papel central en este contexto. La adaptación

tendinosa requiere periodos adecuados de recuperación para favorecer la síntesis de colágeno y evitar respuestas maladaptativas. El kinesiólogo debe planificar las cargas bajo este paradigma, promoviendo un equilibrio entre estímulo y descanso que posibilite la regeneración y la mejora funcional del tejido.

La progresión de la carga, regulada mediante la manipulación de las variables del entrenamiento (volumen, intensidad, frecuencia y densidad), se convierte en la herramienta para inducir adaptaciones controladas. La adecuada modificación de estas variables a lo largo de las fases del modelo continuo de tendinopatía permite transitar desde una etapa reactiva hacia un estado de tendón adaptado y funcional. Esta progresión representa el núcleo del razonamiento clínico basado en los principios del entrenamiento, transformando la rehabilitación en un proceso de aprendizaje fisiológico orientado a la readaptación mecánica y funcional.

Finalmente, la especificidad y correspondencia dinámica alcanzan su máxima expresión cuando el paciente ejecuta movimientos propios de su disciplina deportiva. En esta fase, la carga deja de ser solo un estímulo terapéutico y pasa a ser una herramienta de readaptación deportiva. El rol del kinesiólogo, en esta instancia, es guiar la transición entre la clínica y el campo, garantizando que las demandas del deporte sean incorporadas de manera progresiva y controlada, respetando las respuestas biológicas del tejido.

Reflexión final

El trabajo con tendinopatías exige un abordaje integral. El kinesiólogo no solo interviene sobre un tejido, sino sobre una persona que busca recuperar funcionalidad y confianza. La educación del paciente, la comunicación efectiva y la participación activa son pilares esenciales del proceso.

La ciencia ofrece los fundamentos para comprender la respuesta del tendón frente a la carga, pero la práctica clínica requiere interpretar esas bases desde la observación y la empatía. La dosificación de la carga sintetiza el punto de encuentro entre el conocimiento científico y el arte clínico: demanda precisión técnica, sensibilidad profesional y la capacidad de traducir principios de entrenamiento en decisiones terapéuticas individualizadas.

Así, el kinesiólogo se posiciona como un mediador entre la biología del tejido y las demandas del movimiento, aplicando el conocimiento científico con sentido humano.

Conclusión

El análisis bibliográfico y la revisión de la evidencia científica permitieron cumplir el primer objetivo específico, se lograron desarrollar los principios y fundamentos del entrenamiento físico aplicables a la rehabilitación, Desarrollando/explicando su relevancia dentro del abordaje kinésico. Estos principios permiten planificar una exposición gradual y controlada al estímulo mecánico, favoreciendo la adaptación tisular y minimizando el riesgo de reagudización.

Respecto al segundo objetivo específico, la evidencia científica revisada fundamenta que el manejo adecuado de la carga es un factor importante en la evolución clínica de la tendinopatía rotuliana. Una dosificación correcta del estímulo promueve la síntesis de colágeno y la reorganización estructural del tendón, mientras que no tener en cuenta estos factores en la gestión de la carga constituye una de las principales variables predisponentes a la cronificación de la lesión. La literatura coincide en que el monitoreo simultáneo de la carga externa y de la carga interna, evaluada mediante escalas como la Borg, la EVA y el VISA-P, permite ajustar el proceso de rehabilitación de manera más efectiva y segura.

En relación con el tercer objetivo específico, se describieron las principales variables implicadas en la dosificación y progresión de la carga: volumen, intensidad, frecuencia, densidad, complejidad y tipo de contracción. Comprender cómo estas variables se relacionan entre sí, permite diseñar programas de entrenamiento de rehabilitación más adaptados a la persona y al estadio de la lesión.

En relación con el objetivo general de este trabajo, la revisión bibliográfica respalda que el manejo y la progresión de la carga representan un componente fundamental dentro de la rehabilitación kinésica de la tendinopatía rotuliana, y que, al integrar los principios del entrenamiento en la práctica clínica, se construye un marco teórico–metodológico sólido, que promueve una mejora en la toma de decisiones, posibilitando el control de la dosis del estímulo mecánico orientado al proceso terapéutico con la readaptación funcional progresiva del tendón como objetivo final.

A partir del análisis de los hallazgos teóricos y experimentales disponibles respaldan parcialmente la hipótesis, ya que coinciden en que la respuesta del tendón a los estímulos mecánicos depende de una relación dosis–respuesta y que el control progresivo de la carga es un elemento clave en la adaptación tisular y en la prevención de recaídas. Por ello, la hipótesis se mantiene como plausible y coherente con la evidencia actual, pero requiere investigaciones más complejas que permitan verificarla de forma directa.

Finalmente, este trabajo reafirma la necesidad de que el kinesiólogo adopte un rol activo en la dosificación y regulación del estímulo mecánico, tanto en las etapas iniciales de la rehabilitación como en el retorno al deporte, y destaca la importancia de continuar investigando métodos objetivos y combinados de evaluación de la carga que permitan optimizar la respuesta adaptativa y funcional del tendón.

Bibliografía

1. Badillo, J. J. G., & Ayestarán, E. G. (2002). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo*. INDE.
2. Bompa, T. O., & Buzzichelli, C. (2019). *Periodization-6th Edition: Theory and Methodology of Training*. Human Kinetics.
3. Bueno, A. J., & Porqueres, I. M. (2008). *TENDÓN. Valoración y tratamiento en fisioterapia*. Editorial Paidotribo.
4. Burton, I., & McCormack, A. (2021). The implementation of resistance training principles in exercise interventions for lower limb tendinopathy: A systematic review. *Physical Therapy In Sport*, 50, 97-113. Bompa <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2021.04.008>
5. De la Fuente, A., Valero, B., & Cuadrado, N. (2019). Abordaje fisioterápico de la tendinopatía rotuliana: revisión sistemática. *Fisioterapia*, 41(3), 131-142. <https://doi.org/10.1016/j.ft.2019.02.007>
6. Docking, S. I., & Cook, J. (2019). *How do tendons adapt? Going beyond tissue responses to understand positive adaptation and pathology development: A narrative review*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6737558/>
7. F. Abat, B. Capurro, I. De Rus Aznar, A. Martín Martínez, J. Campos Moraes, & G. Sosa. (2021). Tendinopatía rotuliana: enfoque diagnóstico y escalas de valoración funcional. *REVISTA ESPAÑOLA DE ARTROSCOPIA y CIRUGÍA ARTICULAR*. <https://mail.fondoscience.com/sites/default/files/articles/pdf/reaca.28373.fs2004023-tendinopatia-rotuliana-enfoque-diagnostico.pdf>
8. Hernández Sánchez, S. (2015). *Adaptación transcultural de la escala Victorian Institute of Sport Assessment - Patella (VISA-P) para la valoración de la gravedad de los síntomas en población deportista española con tendinopatía rotuliana*. [Tesis, Universidad de Murcia]. <https://digitum.um.es/server/api/core/bitstreams/cd974956-aecf-434c-ace3-63f5c005e2e9/content>
9. Impellizzeri, F. M., Shrier, I., McLaren, S. J., Coutts, A. J., McCall, A., Slattery, K., Jeffries, A. C., & Kalkhoven, J. T. (2023). Understanding Training Load as Exposure and Dose. *Sports Medicine*, 53(9), 1667-1679. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01833-0>
10. Lazarczuk, S. L., Maniar, N., Opar, D. A., Duhig, S. J., Shield, A., Barrett, R. S., & Bourne, M. N. (2022). Mechanical, Material and Morphological Adaptations of Healthy Lower Limb Tendons to Mechanical Loading: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 52(10), 2405-2429. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01695-y>
11. Mascaró, A., Cos, M. À., Morral, A., Roig, A., Purdam, C., & Cook, J. (2018, 1 enero). *Gestión de la carga en la tendinopatía: progresión clínica de las tendinopatías aquilea y rotuliana*. Apunts Sports Medicine. <https://www.apunts.org/es-titulo-articulo-X0213371718623192>

12. Menna, S. (2022). *Aplicación aislada de un programa de ejercicios como tratamiento de la tendinopatía rotuliana* [Universidad del Gran Rosario]. <https://rid.ugr.edu.ar/bitstream/handle/20.500.14125/462/Inv.%20D-246%20MFN7460%20TF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
13. Millar, N. L., Silbernagel, K. G., Thorborg, K., Kirwan, P. D., Galatz, L. M., Abrams, G. D., Murrell, G. A. C., McInnes, I. B., & Rodeo, S. A. (2021). Tendinopathy. *Nature Reviews Disease Primers*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41572-020-00234-1>
14. Morishita, S., Tsubaki, A., Takabayashi, T., & Fu, J. B. (2018). Relationship Between the Rating of Perceived Exertion Scale and the Load Intensity of Resistance Training. *Strength And Conditioning Journal*, 40(2), 94-109. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000373>
15. Siff, M. C., & Verkhoshansky, Y. (2004). *SUPERENTRENAMIENTO*. Editorial Paidotribo.
16. The British Pain Society. (2019). *Pain Assessment Tools - Outcome measures*. https://www.britishpainsociety.org/static/uploads/resources/files/Outcome_Measures_January_2019.pdf