



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS MÉDICAS,
ODONTOLÓGICAS Y DE LA SALUD**

CAMPO DEL CONOCIMIENTO EN EPIDEMIOLOGÍA CLÍNICA

Asociación entre la hemoglobina y la fuerza muscular de extensores y flexores de rodilla en adultos hombres de 20-50 años de edad

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:
SANTIAGO ALEJANDRO CARRILLO MEDINA

TUTORES PRINCIPALES
DR. GUILLERMO MELÉNDEZ MIER
HOSPITAL GENERAL DE MÉXICO. DR. EDUARDO LICEAGA
DRA NALLELY BUENO HERNANDEZ
HOSPITAL GENERAL DE MÉXICO. DR. EDUARDO LICEAGA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR
DRA. SANDRA ELVIA HERNÁNDEZ VALENCIA
FACULTAD DE MEDICINA, UNAM
DRA. LAURA MORENO ALTAMIRANO
FACULTAD DE MEDICINA, UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS MÉDICAS,
ODONTOLÓGICAS Y DE LA SALUD**

CAMPO DEL CONOCIMIENTO EN EPIDEMIOLOGÍA CLÍNICA

Asociación entre la hemoglobina y la fuerza muscular de extensores y flexores de rodilla en adultos hombres de 20-50 años de edad

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

SANTIAGO ALEJANDRO CARRILLO MEDINA
Vo. Bo

DR. GUILLERMO MELÉNDEZ MIER
TUTOR PRINCIPAL

DRA. NALLELY BUENO HERNÁNDEZ
TUTORA PRINCIPAL

DRA. PATRICIA CLARK PERALTA
RESPONSABLE DEL CAMPO
DISCIPLINARIO
DISCIPLINARIO



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL**
(Graduación con trabajo escrito)

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción 1 y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la Institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado "**Asociación entre la hemoglobina y la fuerza muscular de extensores y flexores de rodilla en adultos hombres de 20-50 años de edad**" que presenté para obtener el grado de **Maestro en Ciencias** es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi programa de posgrado, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de graduación.

Atentamente

Santiago Alejandro Carrillo Medina
52200728-6

Dr. Guillermo Meléndez Mier
Vo. Bo. Tutor principal

Agradecimientos

“Al ver el resultado de este trabajo solo me queda decir: Gracias”

Agradezco a mi madre Edna Medina Ruiz y a mi padre Juan Carlos Carrillo Pérez, por todo su amor, enseñanzas y palabras de aliento. Este trabajo es un testimonio de su inmenso amor hacia mí. Este logro es gracias a ustedes, ya que en cada etapa de mi vida han estado presentes, apoyando mis proyectos, decisiones, victorias y derrotas. Agradezco las lecciones de vida que me han impartido, por que eso han hecho el hombre que soy ahora. Gracias papas.

A mis abuelitos Enrique Carrillo Alpuche, José Nemesio Medina Robledo, Teresa Ruiz Aguilar, y Noemí Pérez Arzapalo pilares fundamentales durante mi crianza, crecimiento y educación. Gracias por inculcarme sus principios, que ahora son los míos. Siempre estaré eternamente agradecidos con los 4 por apoyarme y amarme cada uno a su forma. Sus consejos de vida e historias siempre los tendré presente en la mía.

A mis hermanos Fátima Vanessa Carrillo Medina y Matías Jesús Carrillo Vera, ambos mis motores de vida. Gracias por estar conmigo en todo momento, se que es difícil dejar las convivencias con ustedes y perderme momentos especiales de ambos, pero sin duda alguna los llevo siempre en mi corazón. Les agradezco, las llamadas y los ratos de juegos en línea, además de brindarme su tiempo y apoyo en los momentos difíciles.

Quiero agradecer también a mis tutores el Dr. Guillermo Meléndez Mier, a la Dra. Sandra Hernández Valencia, a la Dra. Nallely Bueno Hernández y la Dra. Laura Moreno Altamirano, por creer en mí desde el principio, por apoyarme durante cada etapa de la maestría, por tomarse el tiempo en enseñarme cuando no comprendía los temas, por los comentarios acertados durante los coloquios de investigación que permitieron aprender de mis errores y seguir esforzándome. Les agradezco por la amistad que me brindaron y por animarme cuando no lograba encontrar los resultados que quería. En ustedes puedo ver, la pasión, el profesionalismo y el amor hacia la investigación y docencia, son el reflejo de lo que quiero lograr ser. Mis admiraciones y respeto a todos y sin duda alguna este logro no se hubiera alcanzado sin ustedes.

Así mismo quiero agradecer al Dr. José Gilberto Franco Sánchez y a la Subdirección de Medicina del Deporte del Instituto Nacional de Rehabilitación por las facilidades que me dieron y por todo el apoyo otorgado para poder realizar el presente protocolo de investigación. De igual forma agradezco a la Maestra Andrea Pegueros Pérez por su amistad, disposición y enseñanza en la elaboración de los resultados, lo cual fue pieza fundamental para este trabajo, mis admiraciones para su manejo en el análisis de datos. Fue un gusto haber compartido nuevamente conocimientos y vivencias con todo el personal. Agradezco a todos los médicos del deporte y residentes, por enseñarme continuamente y hacerme parte de su equipo de trabajo, así como la amistad que me han brindado durante años.

Finalmente, quiero agradecer al CONACYT por el apoyo de la beca otorgada durante los dos años de duración de la maestría.

Resumen

Introducción: La fuerza muscular óptima de los cuádriceps e isquiotibiales son un factor necesario en la estabilización y función normal de las articulaciones, realización de movimientos, así como, en el mantenimiento de la postura corporal. Hoy en día, se ha observado que concentraciones bajas de hemoglobina podrían ser un factor de riesgo asociado a disminución de la fuerza muscular, no obstante, hasta este momento poco se sabe sobre la posible asociación entre estas dos condiciones.

Objetivo: El presente trabajo tiene como objetivo estimar la asociación de diferentes concentraciones de hemoglobina y la fuerza muscular de cuádriceps e isquiotibiales de la rodilla en hombres de 20-50 años de edad.

Métodos: Se realizó un estudio transversal analítico donde se incluyeron datos de 85 varones. Las concentraciones de hemoglobina en sangre, los valores de fuerza muscular de cuádriceps e isquiotibiales, así como las variables sociodemográficas se obtuvieron del expediente clínico electrónico. Los datos fueron recolectados en una hoja de cálculo simple, diseñada *a priori* para el presente trabajo.

Análisis estadístico: Para las variables socio demográficas se empleó estadística descriptiva expresada como media, mediana y rango intercuartílico. Se empleó Coeficiente de Spearman para determinar la direccionalidad y asociación de las variables. Se realizó regresión lineal para determinar los residuales de las variables de estudio. Se transformó la variable de desenlace mediante modelo logarítmico para buscar la normalidad.

Resultados: No se encontró correlación entre la hemoglobina y la fuerza muscular de los cuádriceps e isquiotibiales después del análisis de correlación de Spearman (Rho de -0.096; $p=0.213$ para los cuádriceps y Rho de -0.152; $p=0.048$ para isquiotibiales. La regresión lineal simple, no mostró asociación entre la hemoglobina y la fuerza muscular de cuádriceps con β de -0.002 [IC95%: -0.004-5.31; $p=0.117$] y β de -0.004 [IC95%: -0.0103-7.90; $p=0.09$] para los isquiotibiales. Tampoco la transformación logarítmica mostró linealidad entre las variables de estudio.

Palabras clave: Hemoglobina, Cuádriceps, Isquiotibiales, Fuerza Muscular

Índice

I. Marco teórico.	1
I.II. Medición de fuerza muscular	2
a) Fuerza muscular en extensores y flexores de la rodilla	3
b) Pruebas isocinéticas en extensores y flexores de la rodilla	4
I.III Factores asociados a la disminución de fuerza muscular.	6
a) Edad	6
b) Alteración del sistema neural	6
c) Factores hormonales	7
d) Factores estructurales	7
e) Ejercicio	7
f) Alimentación	8
g) Factores metabólicos	8
I.IV. Hemoglobina	8
II. Antecedentes	11
III. Planteamiento del problema	13
IV. Pregunta de investigación	14
V. Justificación	14
VI. Hipótesis	15
VII. Objetivos	15
VIII. Metodología	15
IX. Descripción de las variables de estudio.	16
X. Análisis estadístico	19
XI. Selección de las fuentes, métodos, técnicas y procedimientos de recolección de la información.	19
XII. Diagrama de procedimientos de la recolección de información	20
XIII. Resultados	21
XIV. Discusión	27
XV. Conclusiones	30
XVI. Consideraciones éticas	31
XVII. Cronograma de actividades	32
XIX. Bibliografía	33

I. Marco teórico.

La fuerza muscular, de acuerdo a la Clasificación Internacional de Funcionamiento, Discapacidad y Salud (ICF por sus siglas en inglés) se define como una función de potencia muscular relacionada con la fuerza generada por la contracción de un músculo o grupo de músculos;¹ y se considera un factor necesario en la estabilización y función normal de las articulaciones, realización de movimientos, así como en el mantenimiento de la postura corporal.²

Cada vez más, existe evidencia científica sobre la importancia de la fuerza muscular como un indicador importante del estado de salud de los individuos, debido a su participación en el mantenimiento de la capacidad funcionalidad de una persona,³ así como en la prevención de enfermedades crónico no transmisibles como obesidad, diabetes tipo 2 y otras alteraciones metabólicas consideradas como factor de riesgo de enfermedad cardiovascular.⁴

Se ha reportado que la fuerza muscular se asocia inversamente a mortalidad en población adulta con todas las causas de mortalidad, aún después de ajustar por variables confusoras como la edad, masa grasa, tabaquismo, consumo de alcohol e hipertensión arterial, por lo que se considera como un factor predictor importante para mortalidad.⁵ En un estudio de cohorte realizado en hombres, por Ruiz y colaboradores, se encontró que un mayor nivel de fuerza muscular medida en grandes grupos musculares del tren inferior, se encuentra inversamente asociado a mortalidad por todas las causas y por cáncer (Hazard Ratio: 0.61 IC 95%: 0.44-0.85), una vez que se ajustó por Índice de Masa Corporal, edad, porcentaje de masa grasa, circunferencia de cintura y capacidad cardiorespiratoria.⁶

Debido a la creciente importancia clínica de la fuerza muscular, su estudio ha ganado interés como valor predictivo. Para su evaluación en diferentes condiciones médicas, la mayoría de las investigaciones clínicas han empleado, dinamometría de presión manual, que, si bien es un método validado⁷, se enfoca en pequeños grupos musculares del tren superior, y sus resultados pueden no representar un adecuado indicador de fuerza muscular y de salud de un individuo, como lo podría ser la evaluación de fuerza en

grandes grupos musculares como el cuádriceps femoral e isquiotibiales, los cuales poseen musculatura más fuerte y fascias musculares más densas que son trascendentales durante los movimientos concéntricos y excéntricos, lo que contribuye a que el sistema óseo, el músculo esquelético y articulaciones presenten mayor estabilidad, así como soporte del peso corporal.⁸ Un Aspecto importante a considerar, es que los grupos musculares del tren inferior, pierden más fuerza en comparación con su contraparte superior, lo cual se ha asociado con discapacidad física y limitación de la funcionalidad.^{9,10}

La pérdida o disminución de la fuerza muscular, consistentemente ha mostrado relevancia en la práctica clínica, debido a las implicaciones en la salud de los individuos y su relación con diversos desenlaces clínicos orientados al paciente a corto plazo, que influyen significativamente en el rendimiento físico y funcional, así como el incremento de lesiones ligamentarias y riesgo de caídas.¹⁰

I.II. Medición de fuerza muscular

Para medir la fuerza muscular se ha optado por el uso de dinamometría isocinética, técnica que a través de movimientos isocinéticos evalúa y cuantifica la fuerza ejercida dinámicamente en un rango de movimiento determinado a una velocidad constante y programable.¹¹

Para poder realizar este tipo de pruebas se utiliza un dinamómetro isocinético el cual es un dispositivo computacional asociado a un módulo electrónico y un sistema de cómputo, capaz de registrar las magnitudes físicas de la fuerza muscular aplicada durante la contracción de los músculos durante el agarre, empuje y tiraje.^{12,13}

Dentro de la práctica clínica y ámbito deportivo es considerado como el estándar de oro para la evaluación y rendimiento de los músculos y articulaciones debido a que provee valores cuantitativos más precisos de la fuerza muscular como: torques máximos expresado en Newton-metro (N-m), trabajo muscular expresado en Joule (J), potencia expresada en watts (w) y curvas de fuerza que expresa el área bajo la curva del torque realizado.^{13,14}

Además, es capaz de conservar la fuerza muscular en múltiples velocidades angulares constantes, lo que permite comprender el funcionamiento de la articulación de la rodilla proporcionando de manera válida, confiable, segura y reproducible la capacidad muscular en estado dinámico.^{15,16}

Para realizar las pruebas isocinéticas se deben tomar en cuenta las siguientes características:¹⁶

- Velocidad de movimiento: velocidades lentas (hasta 60°/s); velocidades intermedias (90°/s-150°/s) y velocidades rápidas (mayores a 180°/s).
- Rango de movimiento: Es establecido para cada movimiento de la articulación y limitado por la patología específica.
- Tipo de contracciones: concéntrica y excéntrica.
- Ritmo de trabajo: puede ser continuo, sobrepuesto o contracción a contracción

a) Fuerza muscular en extensores y flexores de la rodilla

El cuádriceps de la rodilla, es el músculo extensor más importante de la rodilla, conformado por sus cuatro porciones (recto anterior, vasto interno, vasto externo y vasto intermedio) encargados de los movimientos excéntricos de la rodilla cuyo objetivo principal es proporcionar la extensión de la cadera y la rodilla para que la rótula pueda deslizarse correctamente sobre la escotadura intercondílea.¹⁷

Por otro lado, los músculos flexores lo conforman las 3 porciones de los isquiotibiales (bíceps braquial, semitendinoso y semimembranoso) y es considerado el principal antagonista de los cuádriceps. Cada músculo de los isquiotibiales genera movimientos concéntricos en un plano y dirección ligeramente diferentes, cuyo objetivo principal es la flexión de la rodilla, extensión de la cadera y ligera abducción del miembro inferior.¹⁷⁻¹⁹

Ambos grupos musculares pertenecen a las extremidades inferiores del cuerpo humano, cuya importancia reside en ser los principales motores durante la contracción y extensión de los cuádriceps, isquiotibiales y articulaciones de la rodilla dentro de las actividades físicas y actividades de la vida cotidiana que involucren carga de peso, mantenimiento de la postura, estabilización y capacidad funcional en general.²⁰ No obstante, diversos estudios científicos han reportado que estos grupos musculares pierden más fuerza muscular comparado contra su contraparte superior.²¹

Lo anterior, ha llevado a que cada vez se realicen más estudios en que evalúen la fuerza muscular de los extensores y flexores de la rodilla. Tal es el caso de un estudio realizado por Samsons y colaboradores en donde evaluaron la fuerza muscular y la potencia del extensor de la rodilla en adultos entre 20-90 años de edad, ellos observaron disminución de fuerza muscular en los extensores de rodilla de 46% y 42% en mujeres y hombres respectivamente. De igual forma, la potencia de los extensores de la rodilla disminuía hasta un 61% en las mujeres y 49% en los hombres. Estratificado por edad y sexo reportaron que las mujeres de entre 20-55 años de edad tenían una aceleración en la pérdida de fuerza muscular de los extensores del 10.3%, sin embargo, en el estrato de edad de 55-80 años, la aceleración de pérdida de fuerza muscular disminuida hasta un 40.2%. Para el grupo de los hombres, la aceleración en la pérdida de fuerza muscular de los extensores fue de 24% en el rango de edad de 20-55 años, mientras que el estrato de edad de 55-80 años fue del 23%.²¹

b) Pruebas isocinéticas en extensores y flexores de la rodilla

Las pruebas isocinéticas enfocadas en los extensores y flexores de la rodilla evalúan las características de la fuerza muscular (torque máximo, trabajo muscular y potencia) de los cuádriceps (Q) e isquiotibiales (H) en diferentes velocidades angulares de tal manera que permite trabajar todo el potencial de la fuerza en ambos grupos musculares en todos los arcos de movimiento lo que permitirá comprender las funciones de las articulaciones de la rodilla, además, de evaluar el estado actual de fuerza de los extensores y flexores,

el equilibrio muscular de ambos grupos y piernas y conocer el porcentaje de déficit al comparar los resultados con el lado contralateral.^{13,22}

Para la interpretación de los niveles de fuerza muscular de los miembros inferiores se recurre al índice de fuerza unilateral y el índice de fuerza bilateral.²³ El índice de fuerza unilateral se define como la posible modificación-alteración que podría existir entre la fuerza de la musculatura agonista y antagonista al movimiento articular. es decir, mide el desequilibrio de fuerza unilateral entre los isquiotibiales y cuádriceps de una sola pierna.^{23,24}

Los valores considerados normales se encuentran entre 50-70%, sin embargo, dentro de la práctica clínica se toma en cuenta el valor del 60% como punto de corte considerado como balance muscular adecuado. Cuando se obtienen valores >60% se considera predominio en el extensor y valores <60% se considera predominio en los flexores.¹³

Por otro lado, el índice de fuerza bilateral se define como la diferencia entre el lado derecho y el lado izquierdo o entre el lado dominante y el lado no dominante, cuyo objetivo principal es observar si existe un posible desequilibrio de fuerza muscular entre un segmento corporal en comparación a su homónimo opuesto, el cual se refiere como asimetría bilateral.²³

La asimetría bilateral se clasifica en 3 grupos²³:

1. Normal: desequilibrio de fuerza <10%
2. Posiblemente anormal: desequilibrio de fuerza entre 10-20%
3. Probablemente anormal: desequilibrio de fuerza =>20%

El balance funcional entre los extensores y flexores componen un parámetro importante dentro del desempeño físico. Asimetría unilateral de fuerza muscular o exceso de desarrollo de fuerza en un grupo muscular predisponen al desarrollo de desequilibrio musculoesquelético.¹³ Evidencia científica ha reportado que los cuádriceps poseen entre 20-40% torques más altos que los isquiotibiales en todas las velocidades angulares. Sin

embargo, una diferencia de fuerza entre ambos grupos musculares de 10% o mayor puede ser un factor de riesgo significativo para lesiones musculares y articulares.²⁵

En cuanto a la asimetría bilateral se ha reportado que es un factor de riesgo asociado a bajo desempeño físico, limitaciones en la movilidad, discapacidades físicas y mortalidad por todas las causas, especialmente en adultos mayores.^{2,24,26-29}

I.III. Factores asociados a la disminución de fuerza muscular.

Debido a que el músculo esquelético (ME) constituye el 40% del total de la masa corporal en un individuo, la pérdida o disminución de la masa y fuerza muscular tiene consecuencias negativas sobre la salud en general, ya que, el ME representa un importante regulador metabólico y de nutrimentos, por lo que, se ha reconocido que la fuerza muscular es un marcador cardiometabólico asociado de manera independiente con Síndrome Metabólico (SM) y mortalidad.^{27,30-32}

Existen distintos factores de los que depende la capacidad de generar fuerza en un determinado músculo o grupo muscular, como la edad, aspectos neurales, hormonales, estructurales, ejercicio, la alimentación y metabólicos.⁸

- a) Edad:** Esta es considerada como el principal factor asociado a la capacidad de generar fuerza muscular, se ha documentado que el pico máximo de ésta, se presenta entre los 20 a 25 años de edad, en ambos sexos. No obstante, a partir de los 30 años comienza la disminución del volumen y fuerza muscular de manera progresiva debido a cambios estructurales y funcionales.³³⁻³⁵

- b) Alteración del sistema neural:** Se ha reportado que luego de una lesión muscular, la presencia de derrame articular es persistente y desencadena alteraciones de la salida aferente de la articulación, dando como resultado debilidad muscular. A pesar de que el mecanismo no es del todo claro, se ha propuesto que la Inhibición Muscular Artrogénica (IMA), participa en la

inhibición neural e incluye la alteración de los umbrales del motor muscular en reposo, modificación en los mecano-receptores que se encuentran en las articulaciones y que participan en el reclutamiento de fibras musculares, lo cual se refleja en la respuesta de recuperación muscular. La IMA se presenta principalmente en lesiones ligamentarias como la lesión de ligamento cruzado anterior de la rodilla y ha sido asociada a debilidad articular, dolor, inflamación y daño estructural.³⁶

- c) Factores hormonales:** La disminución de diversas hormonas disminuyen la señalización anabólica y su consecuente incremento de señales catabólicas en el músculo esquelético, lo cual conlleva a disminución de fuerza muscular. Las hormonas que se han asociado a lo anterior son principalmente la insulina (principal factor de síntesis proteica a nivel muscular), hormona del crecimiento, tiroideas, cortisol, testosterona y estrógenos.^{37,38}

- d) Factores estructurales:** Las modificaciones en la estructura muscular puede afectar al tamaño del músculo (macroestructura) así como a las fibras musculares (microestructura). Los principales factores estructurales determinantes de la fuerza muscular son la sección transversal del músculo (determinada por el número de fibras musculares que integra a cada músculo, tejido conjuntivo, fascículos musculares, capilares, etc.), densidad miofibrilar (determinada por el diámetro y longitud de las fibras de un músculo), tipo de fibras musculares (tipo I conocidas también como de tipo lentas y tipo II conocidas como rápidas).⁸

- e) Ejercicio:** Existen diferentes programas de entrenamiento físico que han mostrado eficacia sobre la mejoría de la resistencia y fuerza muscular, ya sea de manera preventiva o de rehabilitación en un amplio rango de condiciones médicas agudas y crónicas. La manipulación de los componentes de la dosificación del ejercicio como la frecuencia, intensidad, tiempo y el tipo de ejercicio (isotónicos, isométricos, concéntricos, excéntricos, etc.) dependerá

de las condiciones clínicas de cada individuo o bien de la disciplina deportiva.^{15,39}

- f) Alimentación:** La alimentación es fundamental para todos los procesos metabólicos del organismo. Ante la presencia de un bajo consumo calórico o de proteínas de alto valor biológico comienza de manera gradual no sólo la pérdida de peso, sino la alteración de la síntesis de proteínas y en consecuencia los procesos adaptativos provocarán que las proteínas disfuncionales no contráctiles se conglomeren en las fibras musculares, lo cual inducirá la disminución paulatina de masa y fuerza muscular.⁴⁰
- g) Factores Metabólicos:** Existen diversos elementos bioquímicos relacionados con el metabolismo aeróbico y anaeróbico para la generación y mantenimiento de la masa y fuerza muscular, ejemplo de algunos de éstos son adenosin trifosfato (ATP), la fosfocreatina (FCr), glucógeno, Hidratos de Carbono (HCO), lípidos, entre otros.–Sin embargo, recientemente, se ha observado que un factor importante para la fuerza muscular es la concentración de hemoglobina (Hb) sanguínea.⁴¹

I.IV. Hemoglobina y fuerza muscular.

La hemoglobina (Hb) además, de contener hierro hem, se considera un marcador trascendente para medir la capacidad de transporte de oxígeno (O₂) de los glóbulos rojos a los tejidos musculares, debido a que representa en promedio el 32% de la masa total del eritrocito.⁴² La importancia de la Hb se basa principalmente en la absorción, distribución y aprovechamiento de O₂ en todo el musculo esquelético para la realización de actividades deportivas y de la vida diaria.⁴³

Las unidades de Hb unidas al O₂ interactúan de manera cooperativa, lo que permite que la hemoglobina maximice tanto la cantidad de O₂ cargada a la presión de oxígeno (PO₂) de los pulmones como la cantidad de O₂ liberada a la PO₂ de los tejidos periféricos.⁴⁴ Lo anterior se puede explicar mediante la disociación de la hemoglobina la cual representa

el porcentaje de saturación de O₂ de la hemoglobina en función de la presión parcial de O₂ sanguíneo.⁴⁵ Es decir, cuando el cuerpo se encuentra en estado basal, las fibras musculares en reposo y concentraciones de Hb en condiciones normales, la presión parcial de O₂ en los pulmones no presenta alteraciones. Sin embargo, cuando las fibras musculares son activadas, ya sea por actividad física aeróbica o anaeróbica, el consumo de oxígeno tiende a elevarse con el objeto de proporcionar todo el ATP disponible para efectuar las contracciones musculares, esto provoca que los pulmones liberen la mayor cantidad de oxígeno y la presión parcial de O₂ comience a disminuir.^{43,46}

Para comprender mejor el papel de la Hb en el transporte de O₂, se ha descrito el equilibrio que mantienen los dos estados clásicos de la hemoglobina: el estado T (tenso) y estado R (relajado).^{47,48} Durante el estado T la Hb es nombrada como deoxyhemoglobina. En este estado las moléculas de O₂ aún no se encuentran unidas a la Hb, sin embargo, cuando una molécula de O₂ se ensambla a una subunidad de deoxyhemoglobina esta comienza un proceso de relajación que la llevaría al estado R.⁴⁸

La Hb en el estado R se conoce como oxihemoglobina, en donde cambios estructurales se hacen presentes para facilitar la liberación de O₂ donde aproximadamente el 98% del O₂ se transporta a través del cuerpo humano y el 2% restante se absorbe en el plasma.⁴⁸

El equilibrio de ambos estados es fundamental para la cooperatividad de la hemoglobina y el O₂, ya que durante el estado T existe poca afinidad por el O₂, mientras que en el estado R aumenta la afinidad de fijación de O₂, además de proporcionar bases estructurales, lo que facilita la absorción y liberación de O₂ en todo el organismo y tejidos musculares.⁴⁷

En hombres, la hemoglobina participa en la síntesis de testosterona, hormona considerada como un factor importante en el proceso de hipertrofia muscular, así como, en la síntesis de las fibras musculares tipo II, lo que resulta en incremento de la velocidad y fuerza muscular en comparación con las mujeres.⁴⁹

Se han establecido parámetros de Hb considerados como normales que van de 13.5-17.5 g/dl para hombres y de 12.0-15.6 g/dl para mujeres.⁵⁰ No obstante, se ha observado que la disminución de las concentraciones sanguíneas de Hb, sin que se considere anemia (<13 g/dl en hombres y <12 g/dl en mujeres), se ha asociado a cambios estructurales y funcionales en la capilaridad y las fibras musculares. Así mismo, se ha descrito efectos adversos en el organismo como: disminución de la calidad de vida, ansiedad, anemia, incremento en la mortalidad en adultos mayores y fatiga.⁵¹⁻⁵⁴

En deportistas, que, durante la realización de ejercicio aeróbico o anaeróbico, moderado o intenso, incrementan las demandas de O₂, como respuesta adaptativa al esfuerzo, aumenta la concentración de hemoglobina en el torrente sanguíneo, con la finalidad de suministrar O₂, que a su vez participa en la distribución de ATP disponible al músculo esquelético y así contribuir a que las fibras musculares sean capaces de cumplir con las demandas físicas. Luego del esfuerzo físico, las concentraciones de Hb disminuyen, incluso por debajo de los valores considerados como normales.⁵⁴

Asimismo, durante la actividad física, se presentan cambios en el hematocrito microvascular y aumento en la velocidad de los glóbulos rojos, así como otras respuestas sistémicas, tal es el caso de un mayor gasto cardíaco por el aumento del volumen sistólico y frecuencia cardíaca, que incrementan el flujo sanguíneo como medio adaptativo en respuesta al agotamiento de las reservas de O₂.^{52,55}

Sin embargo, a pesar de la activación de las respuestas locales y sistémicas, las concentraciones de Hb continúan disminuyendo y la entrega de glóbulos rojos no aumenta, alteraciones aeróbicas de energía se harán presentes en las fibras musculares, que en consecuencia afectará la saturación de oxigenación tisular y dará como resultado disminución progresiva del rendimiento físico debido al esfuerzo y fatiga presentada en el organismo.⁵⁶⁻⁵⁸

II. Antecedentes

En Italia, en el 2004 se realizó un estudio en adultos mayores para evaluar la asociación de los niveles de hemoglobina y el musculo esquelético. La extensión de tobillo fue utilizada como indicador para la fuerza muscular y evaluado mediante el dinamómetro de mano. Para las concentraciones de hemoglobina ocuparon la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el diagnóstico de anemia ferropénica con valores de Hb <12 g/dl en mujeres y <13 g/dl en hombres. Además, consideraron valores continuos de Hb arriba del punto de corte establecido por la OMS. Al realizar regresión múltiple observaron asociación significativa entre los niveles de hemoglobina con la densidad muscular con un coeficiente β de 0.225: DE 0.098, $p= 0.02$; relación entre el área muscular con un coeficiente β de 0.778: DE: 0.262, $p= 0.003$; y el área total y la relación entre el área grasa y el área total con coeficiente β de -0.869: DE:0.225, $p= <0.001$. Para la extensión de tobillo no encontraron asociación significativa entre la fuerza muscular y los niveles de hemoglobina con un coeficiente β de 0.362: DE: 0.305, $p=0.24$. Por otra parte, observaron que los participantes con anemia presentaban menor fuerza muscular con un coeficiente β de -3.266: DE: 1.173, $p= 0.005$ y menor densidad muscular con coeficiente β de -0.816: DE:0.374, $p=0.03$, ambos comparados con los participantes que no tienen anemia. De igual manera, observaron que quienes tenían >2 g/dl de Hb por arriba de los criterios de la OMS comparados con quienes tenían anemia presentaban mayor densidad muscular (71.171 mg/cm³ vs 70.06 mg/cm³, $p=0.008$), mayor relación entre el área muscular y el área total (71.627% vs 69.466%, $p=0.05$), baja relación entre el área grasa y el área total (19.684 kg vs 22.276 kg, $p=.007$) y mayor fuerza muscular en el extensor del tobillo (28.032 kg vs 25.060 kg, $p=0.02$).⁵⁸

En el 2016 en Australia, se realizó un estudio en adultos mayores hombres donde evaluaron las concentraciones bajas de hemoglobina con la sarcopenia (medido por medio de la fuerza muscular de los miembros superiores a través del dinamómetro manual), realización de actividad física y discapacidad. Para el análisis de los datos realizaron un análisis de datos transversal y un análisis de datos longitudinal. En los resultados obtenidos mediante el análisis longitudinal observaron que aumento de 1 g/dl

de Hb se asociaba con la disminución de sarcopenia, reducción en los tiempos de la prueba de marcha, incremento en la fuerza muscular de los miembros superiores y discapacidad en la prueba de levantarse de la silla. Para el análisis transversal realizaron regresión lineal para la asociación entre la Hb y la fuerza muscular donde obtuvieron un coeficiente β de 1.52 (CI95%:1.27-1.78), ajustando por edad obtuvieron un coeficiente β de 1.05 (CI95%:0.80-1.30) y por análisis multivariado obtuvieron un coeficiente β de 0.82 (CI95%:0.55-1.08). Por otro lado, para el análisis longitudinal reportaron asociación positiva entre la hemoglobina y la fuerza muscular con un coeficiente β de 0.97 (CI95%:0.80-1.13), ajustando por edad obtuvieron un coeficiente β de 0.74 (CI95%:0.57-0.90) y por análisis multivariado un coeficiente β de 0.56 (CI95%: 0.39-0.73). Además, los autores tomaron en cuenta como anemia leve y moderada valores de hemoglobina de 11.0–12.9 g/dl y 8.0–10.9g/dl respectivamente. Los cuales fueron comparados contra el valor óptimo establecido de 14.2 g/dl obtenidos mediante Curva ROC. Al realizar el análisis de regresión logística observaron asociación entre sarcopenia y niveles de Hb <14.2 g/dl con una RM de 1.99 (IC95%: 1.61-2.47; $p= <.0001$). Ajustando por edad obtuvieron una RM de 1.63 (IC95%: 1.30-2.07; $p= <.0001$) y al ajustar por todas las variables confusoras obtuvieron una RM de 1.47 IC95%: 1.13-1.91; $p= <.01$).⁵⁹

Fukushima y colaboradores evaluaron la influencia de los niveles de hemoglobina en las funciones físicas y musculares, actividades de la vida diaria y calidad de vida en pacientes con comorbilidades hematológicas. La fuerza muscular fue evaluada tanto en las extremidades superiores como en los flexores de la rodilla mediante dinamometría manual. Después de realizar análisis de regresión simple observaron que no había asociación estadísticamente significativa entre la hemoglobina y la fuerza del tren superior ($p=.009$). Sin embargo, encontraron asociación estadísticamente significativa entre la hemoglobina y el extensor de rodilla ($p=0.004$). Estratificado por niveles de hemoglobina (bajo, moderado y alto) no encontraron asociación estadísticamente significativa entre la fuerza muscular del tronco superior y las concentraciones bajas, moderadas y altas ($p=0.525$, $p=0.021$ y $p=0.531$ respectivamente). De igual forma, no encontraron asociación estadísticamente significativa entre la fuerza muscular de los

flexores de la rodilla y las concentraciones bajas, moderadas y altas de Hb ($p=0.645$, $p=0.035$, $p=0.601$ respectivamente).⁵¹

Si bien existen diversos estudios que han observado que concentraciones bajas de hemoglobina impactan negativamente en la calidad de vida, además, de ser factor de riesgo para la disminución de masa muscular, la mortalidad y el riesgo de disminución de la realización de actividades físicas y actividades diarias,^{58,59} hasta el momento, no se ha podido establecer si concentraciones bajas de hemoglobina están asociadas con la disminución de la fuerza muscular ya que los estudios realizados han sido realizados en población geriátrica que por cuestiones fisiológicas y metabólicas tanto la fuerza muscular como las concentraciones de Hb tienden a disminuir, por lo que, los resultados hasta el momento son inconsistentes y no concluyentes.

III. Planteamiento del problema

Si bien existen diversos factores que pueden participar en la disminución de la fuerza muscular, recientemente se ha observado que, el descenso en las concentraciones de hemoglobina en sangre provoca efectos negativos en la salud, en el organismo, así como, cambios estructurales y funcionales en la capilaridad y fibras musculares de los individuos.

La información médico-científica, disponible hasta este momento es escasa y no concluyente. Además, se ha realizado en población geriátrica y evalúan la fuerza muscular en grupos musculares pequeños mediante dinamometría manual y no con el estándar de referencia disponible. No obstante, los resultados obtenidos en los estudios, han observado que concentraciones bajas de hemoglobina sin llegar considerarse como anemia podría estar asociado con una baja fuerza muscular.

Lo descrito anteriormente, ha llevado a que se establezcan diversas hipótesis sobre el rol que desempeñan los niveles de hemoglobina y su posible asociación en la disminución de la fuerza muscular, por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación.

IV. Pregunta de investigación

¿Cuál es la asociación entre la hemoglobina y la fuerza muscular de los flexores y extensores de rodilla en hombres de 20-50 años de edad?

V. Justificación.

Actualmente, la evaluación de la fuerza muscular específicamente de los miembros inferiores del cuerpo humano ha ganado importancia dentro de la práctica clínica general, ya que es un indicador trascendental del estado de salud de los individuos e importante predictor de mortalidad por todas las causas.

En los últimos años, el estudio de las concentraciones de hemoglobina con la fuerza muscular ha ganado importancia dentro de la comunidad científica, ya que se ha observado que niveles de hemoglobina por debajo de los parámetros recomendados pudiera ser un factor de riesgo asociado a la disminución de la fuerza muscular. Sin embargo, los resultados hasta el momento no son concluyentes y son escasos los estudios que midan la asociación de los niveles de hemoglobina y la fuerza muscular especialmente en cuádriceps e isquiotibiales de la rodilla en población adulta joven no deportista.

Por lo que, el presente trabajo tiene como finalidad contribuir con nueva información al cuerpo de conocimientos. Además de otorgar a los profesionales de la salud información relevante sobre la posible asociación entre los niveles de hemoglobina y la disminución de la fuerza muscular.

VI. Hipótesis

La hemoglobina tendrá una asociación de al menos 0.3 con la fuerza muscular en cuádriceps e isquiotibiales de rodilla.

VII. Objetivos

Objetivo general: Determinar la asociación entre la hemoglobina y la fuerza muscular en cuádriceps e isquiotibiales de rodilla en sujetos masculinos de 20 a 50 años de edad.

Objetivos específicos:

- 1) Describir las frecuencias sociodemográficas y antropométricas de los participantes.
- 2) Analizar la frecuencia de las concentraciones de hemoglobina en los sujetos de estudio.
- 3) Analizar la fuerza muscular de los extensores de ambas rodillas.
- 4) Analizar la fuerza muscular de los flexores de ambas rodillas.

VIII. Metodología

Tipo de estudio: Transversal analítico retrolectivo.

Tipo de muestreo: Muestreo no probabilístico por conveniencia con sustitución de expedientes que no cumplieron con los criterios.

Descripción del universo de trabajo. Expedientes de pacientes masculinos de 20-50 años de edad que acudieron a Evaluación Morfofuncional en el área de Medicina del Deporte en el Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra (INRLGII) del 2020-2022.

Prueba de fuerza muscular: La fuerza muscular fue evaluada con equipo de dinamometría electrónica marca Cybex NORM (Lumex Division & Blue Sky Software Corporation, EE.UU., 1996), calibrado antes de cada evaluación de acuerdo al manual del fabricante. Las calibraciones y las evaluaciones isocinéticas fueron realizadas en todos los casos por el mismo médico especialista en medicina del deporte. El protocolo utilizado fue el DAP 101 concéntrico/concentrico para la evaluación de la fuerza muscular extensora y flexora de ambas rodillas.

Criterios de Inclusión.

- Expedientes de pacientes masculinos de 20-50 años de edad
- Datos antropométricos completos dentro de la historia clínica.
- Datos de pruebas isocinéticas completos.
- Datos bioquímicos completos.
- Pacientes con registro en el Instituto Nacional de Rehabilitación Luis Guillermo Ibarra Ibarra.

Criterios de exclusión.

- Expedientes con diagnóstico enfermedades musculo esqueléticas.
- Expedientes con diagnóstico de esclerosis lateral amiotrófica.
- Expedientes con lesión(es) de ligamentos de la rodilla.
- Expedientes de atletas de alto rendimiento.

Tamaño de la muestra.

Se calculó un tamaño de muestra *a priori* de 85 expedientes evaluables de pacientes que acudieron al Servicio de Medicina del Deporte del Instituto Nacional de Rehabilitación LGII con un alfa de 0.05 y un poder beta de 0.80 mediante la siguiente formula.

$$N = [(Z\alpha + Z\beta)/C]^2 + 3 \text{ de donde}$$

$$C = 0.5 \times \ln \left(\frac{1+r}{1-r} \right) = 0.30 \text{ y}$$

$$N = (1.96+0.80)/0.30]^2 + 3 = 85.$$

Se corroboró el tamaño de muestra mediante el software G-power.

IX. Descripción de las variables de estudio

Variable Dependiente			
Nombre	Definición Conceptual	Definición Operacional	Escala de Medición
Fuerza Muscular	Función de potencia muscular relacionada con la fuerza generada por la contracción de un músculo o grupo de músculos.	Los valores de fuerza muscular serán tomados de las pruebas de isocinecia. La valoración isocinética de la fuerza se realizó con equipo de dinamometría electrónica marca Cybex NORM (Lumex Division & Blue Sky Software Corporation, EE.UU., 1996), calibrado antes de cada evaluación de acuerdo al manual del fabricante; las calibraciones y las evaluaciones isocinéticas fueron realizadas en	Cuantitativa Continúa.

		<p>todos los casos por el mismo médico especialista en medicina del deporte.</p> <p>El protocolo utilizado fue el DAP 101 concéntrico/concentrico para la evaluación de la fuerza muscular extensora y flexora de ambas rodillas. se realizó una serie de cinco repeticiones a 60 °/s para la obtención de los siguientes parámetros: torque máximo (Nm), ángulo máximo de torque (°), trabajo del torque máximo y trabajo total de la serie (J), potencia promedio (W) y balance muscular (%).</p> <p>Para su evaluación, cada participante fue colocado en la mesa de pruebas del dinamómetro isocinético, con correas de estabilización en el pecho y la cadera, de manera que la cadera formara un ángulo de flexión de 85° con relación al tronco; el eje de articulación de la rodilla estuvo alineada con el eje mecánico del dinamómetro. La espinillera se colocó justo por encima del maléolo medial, comprobando que el rango de movimiento fuese de 0 a 90° de flexión y de 90 a 0° de extensión.</p>	
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Variable Independiente			
Nombre	Definición Conceptual	Definición Operacional	Escala de Medición
Hemoglobina	Proteína del interior de los glóbulos rojos que transporta oxígeno desde los pulmones a los tejidos y órganos del cuerpo	Los valores de hemoglobina serán tomados del expediente clínico electrónico del Sistema Intrahospitalario (SAIH)	Cuantitativa Continua
Variables Modificadoras			

Edad	Tiempo transcurrido de vida a partir del nacimiento de un individuo.	Edad en años referidos en el expediente clínico electrónico del INR La edad en años fue referida por los pacientes y corroborado con la fecha de nacimiento dentro del expediente clínico electrónico.	Cuantitativa Discreta
Talla	La distancia desde la planta hasta la coronilla de la cabeza con el cuerpo apoyado sobre una superficie plana y completamente extendido	Talla en centímetros referidos en el expediente clínico electrónico del INR La talla se tomó con la cabeza situada en el plano de Frankfort con el orbitale y el tragion alineados de manera horizontal de acuerdo al Protocolo Internacional para la Valoración Antropométrica (ISAK).	Cuantitativa Continua de Intervalo
Peso	La masa o cantidad de pesadez de un individuo. Esto puede ser expresado en libras o kilogramos.	Peso en kilogramos referidos en el expediente clínico electrónico del INR El peso se tomó mediante balanza de impedancia marca InBody.	Cuantitativa Continua de Intervalo
IMC	Un indicador de la densidad corporal determinada por la relación entre el peso corporal y la altura al cuadrado.	Índice de Masa Corporal en kg/m^2 referidos en el expediente clínico electrónico del INR El IMC se calculó dividiendo el peso en kilogramos por el cuadrado de la talla en metros (kg/m^2)	Cuantitativa Continua de Intervalo

X. Análisis estadístico

Para la descripción de datos socio demográficos se empleó estadística descriptiva expresadas como media (\bar{x}), desviación estándar (\pm) o rango intercuartílico según sea el caso.

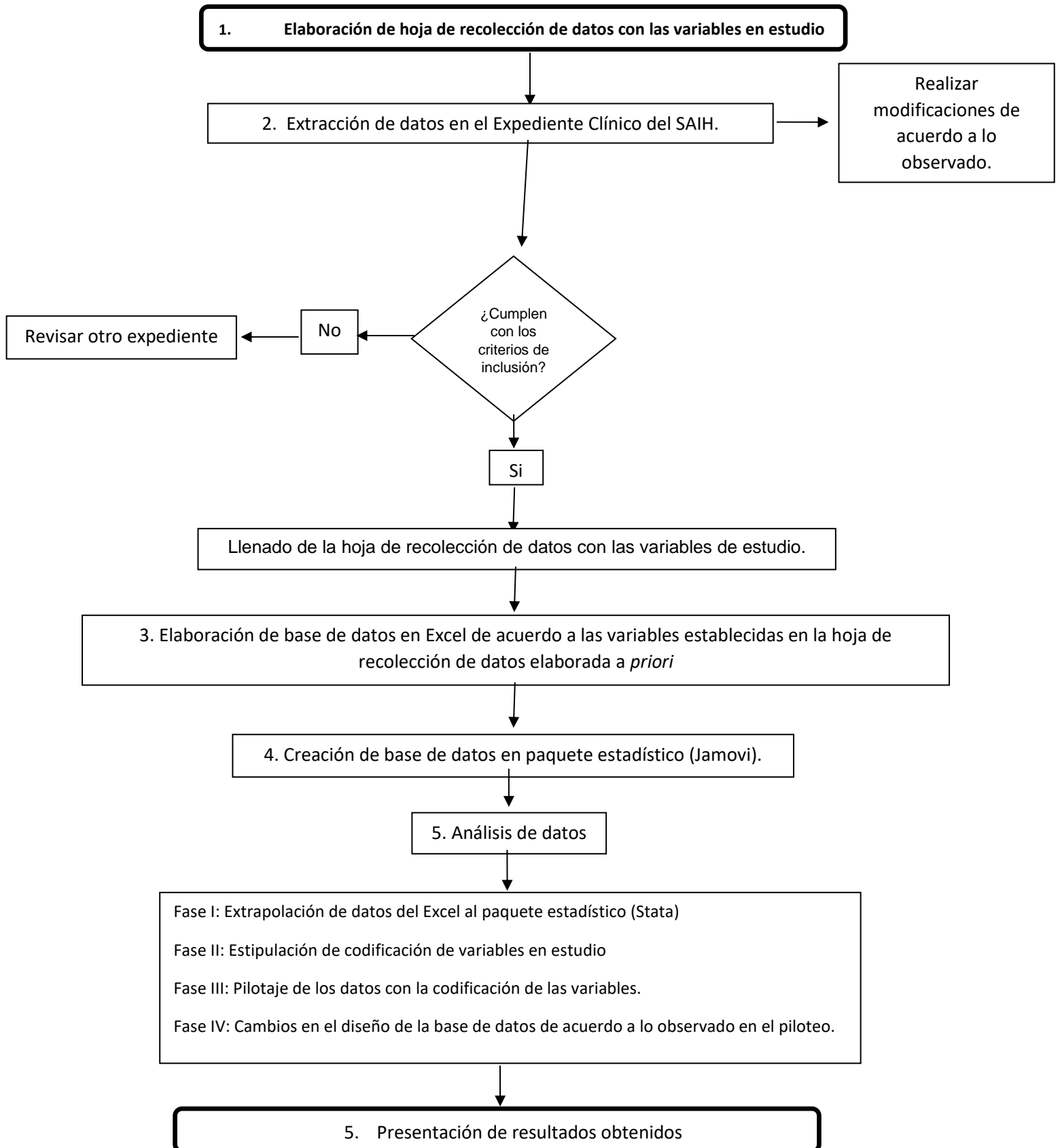
Para determinar la dirección y magnitud de las variables continuas de estudio se empleó Coeficiente de correlación de Spearman. Así mismo se empleó Regresión lineal para determinar los residuales de las variables de estudio.

En caso de no encontrar linealidad entre las variables de estudio se optó por transformaciones mediante modelos logarítmicos, exponenciales, inversos, cuadráticos, potenciales y sigmoidales, según sea el caso.

XI. Selección de las fuentes, variables y diagrama de recolección de la información.

- a) **Selección de las fuentes:** Se emplearon datos de los pacientes que acudieron al Centro Nacional de Investigación en Medicina del Deporte (CENIAMED) de la Subdirección de Medicina del Deporte.
- b) **Métodos de selección de las variables:**
 - Los antecedentes sociodemográficos (edad y sexo) y variables antropométricas (peso, talla, IMC) se recolectaron mediante el expediente clínico electrónico en el Sistema Automatizado de Información Hospitalaria (SAIH) del INR.
 - Los valores bioquímicos de hemoglobina se recolectaron mediante expediente clínico electrónico en el Sistema Automatizado de Información Hospitalaria (SAIH) del INR.
 - Los valores de fuerza muscular de los cuádriceps e isquiotibiales (torque máximo en newtons-metro) de ambas rodillas, se recolectaron por medio de los resultados extraídos de pruebas isocinéticas realizadas en Cybex y Biodex en el área de Medicina del Deporte del INR incluidos dentro del expediente clínico electrónico.
 - Las variables de estudio fueron extraídas en una hoja de recolección de datos elaborada en Excel y posteriormente extrapolarlo a un paquete estadístico para su análisis

XII. Diagrama de procedimientos de la recolección de información



XIII. Resultados

Se extrajeron datos de 85 pacientes masculinos del Instituto Nacional de Rehabilitación. La mediana de edad en años fue de 34 (20-50), mientras que el peso tuvo una mediana de 80.5 (52.8-134) y la talla una mediana de 1.71 (1.56-1.86). Respecto al IMC se observó una mediana de 27.2 (16.9-44.8) el cual se considera como sobrepeso. Las características de las variables de desenlace se encuentran descritas en la tabla 1.

Tabla 1. Características de la población (n=85)	
Variables	Mediana (RI)
Edad (años)	34 (20-50)
Antropométricas	
Peso (kg)	80.5 (52.8-134)
Talla (m)	1.71 (1.56-1.86)
IMC (kg/m ²)	27.2 (16.9-44.8)
Biomarcador	
Hemoglobina (g/dL)	16.4 (13.4-18.3)
Isocinéticas	
Fuerza muscular de extensor derecho (Nm)	156 (32.2-275)
Fuerza muscular de extensor izquierdo (Nm)	160 (50.9-240)
Fuerza muscular de flexor derecho (Nm)	80.9 (25.2-124)
Fuerza muscular de flexor izquierdo (Nm)	83.2 (34-194)

*RI= Rango intercuartílico, IMC=Índice de Masa Corporal, Nm=Newton metro

a) Correlación de hemoglobina y fuerza muscular

La relación entre hemoglobina y fuerza muscular tanto del flexor derecho como del izquierdo de rodilla, presentó una baja correlación, sin embargo, solo se observó significancia estadística para el flexor derecho. Respecto a los extensores, no se encontró relación entre la fuerza de éstos y la hemoglobina (tabla 2).

Tabla 2. Correlación entre hemoglobina y fuerza muscular de extensores y flexores de la rodilla.

	Rho de Spearman	p <0.05
Fuerza muscular de extensor derecho	-0.139	0.205
Fuerza muscular de extensor izquierdo	-0.016	0.882
Fuerza muscular de flexor derecho	-0.227	0.037
Fuerza muscular de flexor izquierdo	-0.091	0.533

b) Regresión lineal entre hemoglobina y fuerza muscular

Para obtener un análisis más robusto sobre la asociación sobre las variables de estudio se realizó un análisis de regresión lineal simple, el cual no mostró linealidad entre la hemoglobina y la fuerza muscular de extensores (figura a y b) y flexores (figura c y d) de rodilla (tabla 3).

Tabla 3. Regresión lineal simple entre hemoglobina y fuerza muscular de extensores y flexores de la rodilla.

	β	R^2	IC95%	p <0.05
Fuerza muscular extensor derecho	-0.002	0.0183	-0.00572-0.00132	0.217
Fuerza muscular extensor izquierdo	-0.0004	0.0004	-0.0047157-0.003908	0.853
Fuerza muscular flexor derecho	-0.008	0.0426	-0.0163095-0.0002793	0.058
Fuerza muscular flexor izquierdo	-0.0020	0.0036	-0.0097064-0.005507	0.584

Figura a y b: Regresión lineal simple de hemoglobina con extensor derecho e izquierdo.

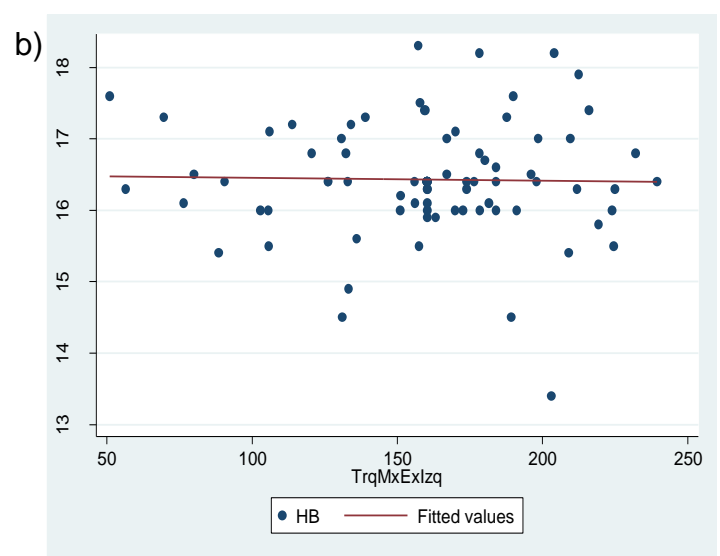
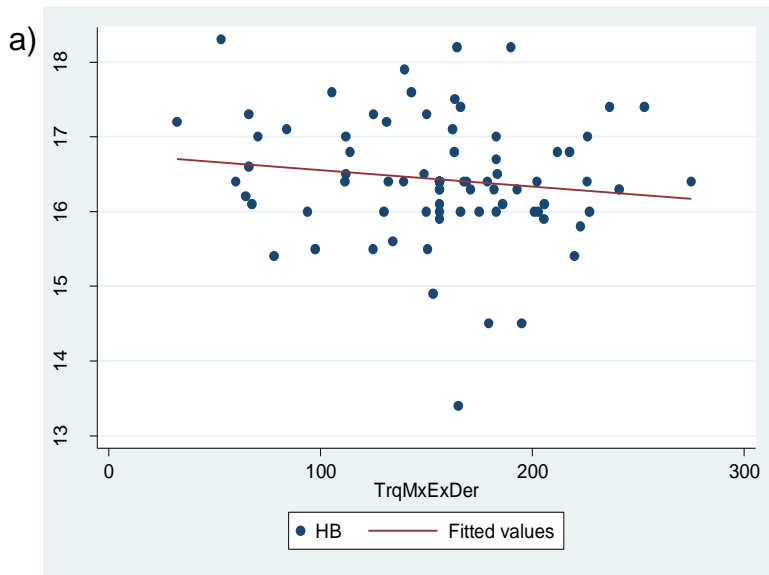
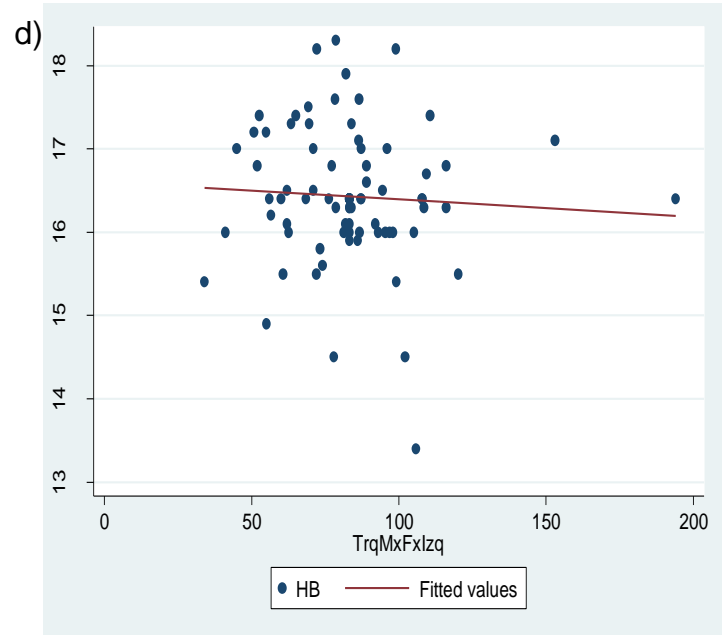
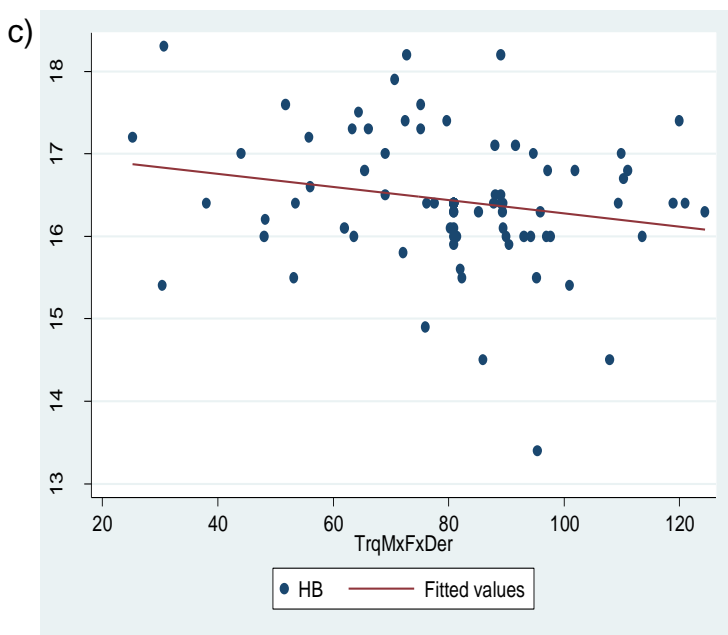


Figura c y d: Regresión lineal simple de hemoglobina y flexor derecho e izquierdo.



c) Análisis estratificado por edad de la relación entre hemoglobina y fuerza muscular de rodilla.

Se estratificó a la muestra en tres grupos etarios, en los cuales, se observó que las concentraciones de hemoglobina son semejantes entre éstos. Cabe resaltar, que la fuerza de ambos grupos musculares de rodilla es mayor en el grupo de 20-29 años de edad en comparación los otros dos grupos etarios (tabla 4).

Tabla 4. Características de la muestra estratificado por edad (n=85)

Variables	20-29 (n=29)	30-39 (n=33)	40-50 (n=23)	p<0.05
Edad (años)	23 (20-28)	35 (30-39)	47 (40-50)	<0.001
Antropométricas				
Peso (kg)	75.6 (52.8-130)	80.5 (61.9-108)	83.6 (60.5-134)	0.347
Talla (m)	1.72 (1.56-1.84)	1.71 (1.58-1.84)	1.70 (1.56-1.86)	0.076
IMC (kg/m ²)	24.7 (16.9-43.8)	26.4 (21.5-35.7)	29.0 (20.5-44.8)	0.042
Biomarcador				
Hemoglobina (g/dl)	16.4 (14.5-18.2)	16.4 (15.5-17.6)	16.4 (13.4-18.3)	0.870
Isocinética				
Fuerza muscular de extensor derecho (Nm)	180 (60-275)	156 (66-241)	130 (32.2-201)	0.004
Fuerza muscular de extensor izquierdo (Nm)	170 (56.5-240)	160(50.9-225)	158 (69.6-203)	0.401
Fuerza muscular de flexor derecho (Nm)	89 (30.4-121)	80.9 (51.7-124)	69 (25.2-114)	0.041
Fuerza muscular de flexor izquierdo (Nm)	86.3 (34-194)	83.2 (51.8-120)	71.9 (41.1-106)	0.066

*Índice de Masa Corporal (IMC), Newton metro (Nm)

d) Correlación de hemoglobina y fuerza muscular estratificado por edad

Para el grupo de 20-29 años de edad se observó baja correlación no estadísticamente significativo entre la hemoglobina y la fuerza muscular en el extensor izquierdo y flexor derecho con Rho de Spearman de 0.268 (p=0.160) y -0.118 (p=0.541) respectivamente. Por otro lado, en los grupos de 30-39 y 40-50 años de edad, se observó correlaciones bajas y moderadas no estadísticamente significativos entre la hemoglobina y la fuerza muscular de los extensores y flexores. (tabla 5).

Tabla 5. Correlación entre hemoglobina y fuerza muscular de extensores y flexores de la rodilla estratificado por edad.

	Rho de Spearman ($p < 0.05$)		
	20-29	30-39	40-50
Fuerza muscular de extensor derecho	0.051 (0.795)	-0.326 (0.064)	-0.408 (0.053)
Fuerza muscular de extensor izquierdo	0.268 (0.160)	-0.243 (0.174)	-0.139 (0.528)
Fuerza muscular de flexor derecho	-0.118 (0.541)	-0.271 (0.128)	-0.400 (0.059)
Fuerza muscular de flexor izquierdo	0.045 (0.817)	-0.149 (0.408)	-0.233 (0.285)

XIII.I Análisis de datos secundario

a) Regresión lineal entre hemoglobina y fuerza muscular sin asimetrías bilaterales >20%.

Al no encontrar asociación entre las variables de estudio, se optó por analizar los datos excluyendo a quienes presentaban asimetrías de fuerza muscular >20%. Posteriormente, se realizó un análisis de regresión lineal simple, el cual no mostró linealidad entre la hemoglobina y la fuerza muscular de extensores y flexores de rodilla (tabla 6).

Tabla 6. Regresión lineal simple entre hemoglobina y fuerza muscular de extensores y flexores de la rodilla sin asimetría de fuerza >20%.

	β	R^2	IC95%	$p < 0.05$
Fuerza muscular extensor derecho	0.00226	0.0144	-0.00257-0.00709	0.353
Fuerza muscular extensor izquierdo	0.00233	0.0113	-0.00329-0.00795	0.410
Fuerza muscular flexor derecho	-0.00397	0.0091	-0.0137-0.00579	0.420
Fuerza muscular flexor izquierdo	-0.00219	0.00362	-0.0108-0.00640	0.613

b) Regresión lineal entre hemoglobina y fuerza muscular sin asimetrías bilaterales >20% y transformando a logaritmo base 10 (log10).

Al no encontrar linealidad en las variables de estudio, se optó por transformar a log10 la variable de fuerza muscular y posteriormente realizar regresión lineal simple, donde de igual manera no mostró linealidad entre la hemoglobina y la fuerza muscular de rodilla (tabla 7).

Tabla 7. Regresión lineal simple entre hemoglobina y fuerza muscular de extensores y flexores de la rodilla sin asimetría de fuerza >20% y transformando a log10.

	β	R ²	IC95%	p <0.05
Fuerza muscular extensor derecho	-0.807	0.0292	-1.82-0.208	0.118
Fuerza muscular extensor izquierdo	-0.224	0.00137	-1.55-1.10	0.736
Fuerza muscular flexor derecho	-1.28	0.0446	-2.58-0.0138	0.052
Fuerza muscular flexor izquierdo	-0.355	0.00267	-1.85-1.14	0.638

XIV. Discusión

El principal hallazgo de este estudio es que no se encontró asociación entre los niveles de hemoglobina y la fuerza muscular de los flexores y extensores de la rodilla en población adulta joven sana. En la búsqueda bibliográfica dirigida con palabras clave se encontraron un número limitado de estudios que evaluaron la asociación entre los niveles de hemoglobina y la fuerza muscular en población adulto mayor. Hasta el momento, este es el primer estudio que evalúa dicha asociación en pacientes hombres jóvenes sanos, por lo que esto puede ser una oportunidad de investigación para estudios a futuro.

En este estudio observamos que no existe asociación entre las concentraciones de hemoglobina y la fuerza muscular de los extensores y flexores de la rodilla después de realizar análisis de correlación. Posteriormente, se decidió realizar un análisis de regresión simple para ajustar los residuales de las mediciones, en donde, no se encontró linealidad ni asociación entre ambas variables de estudio. Finalmente, se optó por transformar las variables, que de igual forma no se observó linealidad ni asociación entre la variable independiente y la dependiente.

Los resultados obtenidos en el presente estudio difieren de los obtenidos dentro de la literatura, en los cuales si reportan asociación entre las concentraciones de hemoglobina y la fuerza muscular. Si bien, estudios previos han descrito la plausibilidad biológica entre las variables de estudio, no obstante, se han realizado en modelos animales, por lo que los resultados deberán ser tomados con cautela.^{60,61}

La diferencia al comparar nuestros hallazgos con los estudios encontrados se debe en parte a diferencias metodológicas, al análisis estadístico realizado, grupos musculares evaluados, el equipo con el cual se evaluó la fuerza muscular y el tipo de población estudiada. En nuestro estudio se incluyeron a hombres jóvenes sin comorbilidades ni enfermedades musculo esqueléticas, lesión(es) de ligamentos de la rodilla y esclerosis lateral amiotrófica, además, se excluyeron a atletas de alto rendimiento. Mientras que, en los estudios previos su población de estudio fue adultos mayores de ambos sexos con antecedentes previos de diversas comorbilidades.

La ventaja que tiene nuestro estudio al evaluar únicamente a los hombres es que se puede controlar la variación de fuerza muscular que existe entre sexos debido a factores hormonales y estructurales, los cuales ya han sido reportados dentro de la literatura. Además, al ser población de adultos jóvenes la fuerza muscular no se ve comprometida, debido a que se ha reportado que la edad juega un papel fundamental en la disminución de la fuerza muscular, ya que se ha observado que conforme avanzan las décadas de vida, la fuerza muscular disminuye progresivamente.

Otro aspecto a considerar son las condiciones clínicas de los pacientes evaluados, en nuestro estudio los pacientes no presentaban comorbilidades ni factores de riesgo asociados a la pérdida de fuerza muscular. Por otro lado, en los estudios previos los pacientes incluidos presentaban enfermedades cardiovasculares, hematológicas, pulmonares, hepáticas, osteoartritis, Parkinson, epilepsia, gota y cáncer.

Lo anterior, pone en manifiesto, una notable diferencia en cuanto a las condiciones clínicas entre las poblaciones de estudio, lo cual pudiera comprometer las asociaciones reportadas. Es por ello, que el espectro de los pacientes toma relevancia, ya que la variabilidad existente entre estos como las comorbilidades, edad y sexo pudieran estar sobreestimando o subestimando los resultados.

Otro aspecto importante que considerar es el equipo utilizado para evaluar la fuerza muscular. En nuestro estudio, la fuerza muscular se midió mediante el dinamómetro isocinético Cybex NORM (Lumex Division & Blue Sky Software Corporation, EE.UU., 1996), siendo la dinamometría isocinética el estándar de referencia para la evaluación de la fuerza muscular. Caso contrario a la dinamometría manual en donde se ha reportado que tiende a sobreestimar o subestimar los valores reales de fuerza muscular.⁶²

Si bien, existen estudios que correlacionan positivamente la dinamometría manual con la dinamometría isocinética,⁶³ los resultados deberán tomarse con cautela ya que las unidades de medición entre el dinamómetro isocinético y la dinamometría manual no son equivalentes. Se debe tomar en cuenta que la dinamometría isocinética, mide la fuerza muscular en torques máximos en N-m, los cuales son considerados como una medida para evaluar la fuerza. Caso contrario, a la dinamometría manual que mide la

fuerza muscular en kilogramos (kg) donde únicamente miden la fuerza aplicada a un kilogramo estándar en condiciones de gravedad estándar.⁶⁴

Tomando en cuenta lo anterior se optó por buscar en la literatura la equivalencia de kilogramos a Newtons-metros donde: $1 \text{ kg} = 9.80665 \text{ N-m}$;⁶⁴ lo que nos permitió realizar la conversión de las unidades de medición y poder comparar nuestros resultados con los reportados por Fukushima, Cesari e Hirani, donde observamos que los valores de fuerza medidos por la dinamometría manual sobre estimaban la fuerza muscular comparados con nuestros resultados realizados por dinamometría isocinética.

También, se debe tomar en cuenta los grupos musculares que fueron evaluados en cada estudio. Nuestro estudio evaluó los extensores y flexores de la rodilla, los cuales, de poseen musculatura más fuerte, fascias musculares más densas y son los grupos musculares que más contribuyen a las actividades de la vida diaria. Caso contrario, a pequeños grupos musculares en los cuales se ha observado que pierden rápidamente más fuerza muscular.⁸⁻¹⁰

En cuanto a las concentraciones de hemoglobina, nuestro estudio posee valores más altos que los reportados por Hirani, Fukushima y Cesari. Esto en parte de debe a las características de la población estudiada, como se mencionó con anterioridad, en nuestro estudio los sujetos además de ser jóvenes no presentaban comorbilidades que influyeran en las concentraciones de hemoglobina. En un estudio realizado por Izaks y colaboradores, demostraron que la disminución de las concentraciones de hemoglobina en los adultos mayores se debe principalmente a las comorbilidades y no solo por la edad.⁶⁵

Aun que a priori se pudieron controlar algunos factores confusores, el estudio presenta diversas limitaciones. Debemos tomar en cuenta que al ser un estudio retrolectivo con información obtenida mediante bases secundarias de datos, por lo que existen variables que no se pudieron obtener como el porcentaje de masa muscular, área muscular de la pierna, vo_2 máximo de los sujetos, consumo de tabaco, calidad de la dieta, cantidad de proteína ingerida y biomarcadores como transferrina y ferritina. Así mismo, se desconoce si los participantes realizaron algún tipo de actividad física o ejercicio previo a las evaluaciones de fuerza muscular.

Este estudio sugiere que se tiene que seguir estudiando la relación de hemoglobina con fuerza muscular en población joven sana para establecer patrones de referencia.

XV. Conclusiones

El presente estudio no encontró asociación estadísticamente significativa entre las concentraciones de hemoglobina y la fuerza muscular de los extensores y flexores de la rodilla en pacientes adultos jóvenes sin comorbilidades. Lo anterior rechaza la hipótesis planteada al inicio del estudio. No obstante, existen diversas limitantes dentro del estudio que no se tomaron en cuenta, por lo que, estas pudieran estar influyendo en los resultados encontrados. Se recomienda realizar estudios prospectivos en los cuales evalúen la asociación entre las concentraciones de hemoglobina y la fuerza muscular en extensores y flexores de la rodilla en diferentes poblaciones, tomando en cuenta las limitaciones de este estudio y otras variables de interés con el objetivo de determinar si existe asociación entre las variables de estudio.

XVI. Consideraciones éticas

El presente estudio se apega a lo establecido en la Declaración de Helsinki del 2016.

De acuerdo al artículo 17, fracción I de la Ley General de Salud en Materia de Investigación, esta investigación se considera sin riesgo, y debido a que se emplearán fuentes de datos secundarias, no se requiere de carta de consentimiento informado.

No obstante, antes de que los pacientes sean sometidos a pruebas de evaluación morfofuncional se les otorga una carta de consentimiento informado, en donde, se les explica la o las pruebas a realizar. Al final del consentimiento informado, se incluye un apartado en el cual refiere que los datos proporcionados por las pruebas podrán ser utilizados con fines de investigación y divulgación científica.

Los datos personales estarán protegidos de acuerdo a la Ley Federal de Protección de Datos Personales.

XVII. Cronograma de actividades

Actividades	2021											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Revisión de la literatura.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaboración y diseño del protocolo.		■	■	■	■							
Envío de protocolo al comité de la UNAM.					■							
Sometimiento del protocolo para evaluación y aprobación por el comité de investigación y ética del Instituto Nacional de Investigación.					■	■	■	■	■	■	■	■
	2022											
Elaboración y diseños de instrumentos para la recolección de los datos.	■	■										
Elaboración de la base de datos.	■	■	■	■	■	■	■					
Recolección de datos.								■	■	■	■	■
	2023											
Análisis de datos.	■	■	■	■								
Resultados.					■	■						
Redacción del reporte final.						■	■	■				
Presentación final del protocolo de investigación.									■	■	■	■

XIX. Bibliografía

1. World Health Organization. International classification of functioning, disability and health.
2. Bohannon RW. Considerations and Practical Options for Measuring Muscle Strength: A Narrative Review. *Biomed Res Int.* 2019;2019:1-10. doi:10.1155/2019/8194537
3. Wang DXM, Yao J, Zirek Y, Reijnierse EM, Maier AB. Muscle mass, strength, and physical performance predicting activities of daily living: a meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2020;11(1):3-25. doi:10.1002/jcsm.12502
4. Stump CS, Henriksen EJ, Wei Y, Sowers JR. The metabolic syndrome: Role of skeletal muscle metabolism. *Ann Med.* 2006;38(6):389-402. doi:10.1080/07853890600888413
5. Metter EJ, Talbot LA, Schrager M, Conwit R. Skeletal Muscle Strength as a Predictor of All-Cause Mortality in Healthy Men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2002;57(10):B359-B365. doi:10.1093/gerona/57.10.B359
6. Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, et al. Muscular Strength and Adiposity as Predictors of Adulthood Cancer Mortality in Men. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention.* 2009;18(5):1468-1476. doi:10.1158/1055-9965.EPI-08-1075
7. Lu TW, Chien HL, Chang LY, Hsu HC. Enhancing the Examiner's Resisting Force Improves the Validity of Manual Muscle Strength Measurements. *J Strength Cond Res.* 2012;26(9):2364-2371. doi:10.1519/JSC.0b013e31823db080
8. García-Hermoso A, Cavero-Redondo I, Ramírez-Vélez R, et al. Muscular Strength as a Predictor of All-Cause Mortality in an Apparently Healthy Population: A Systematic Review and Meta-Analysis of Data From Approximately 2 Million Men and Women. *Arch Phys Med Rehabil.* 2018;99(10):2100-2113.e5. doi:10.1016/j.apmr.2018.01.008
9. Dufour M. Anatomía del miembro inferior. *EMC - Podología.* 2012;14(4):1-12. doi:10.1016/S1762-827X(12)61929-4
10. Kannus P. Isokinetic Evaluation of Muscular Performance. *Int J Sports Med.* 1994;15(S 1):S11-S18. doi:10.1055/s-2007-1021104
11. Tlatoa Ramírez HM. Torque máximo absoluto e índice convencional isocinético de rodilla en futbolistas profesionales del 2007 al 2012. *Medicina e Investigación.* 2014;2(2):154-162. doi:10.1016/S2214-3106(15)30014-5
12. Mesh Terms. Dinamometry definition. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68053581>.

13. Enrique Martínez Hernández L, Pegueros Pérez A, Alvarado AO, Del Villar Morales A, Flores VH, Pineda Villaseñor C. *Valoración Isocinética de La Fuerza y Balance Muscular Del Aparato Extensor y Flexor de La Rodilla En Taekwondoines*. Vol 150.; 2014.
14. Kambič Id T, Lainš Čak M, Hadžić V. Reproducibility of isokinetic knee testing using the novel isokinetic SMM iMoment dynamometer. Published online 2020. doi:10.1371/journal.pone.0237842
15. Rezaei M, Ebrahimi I, Vassaghi-Gharamaleki B, et al. *Isokinetic Dynamometry of the Knee Extensors and Flexors in Iranian Healthy Males and Females*.; 2014. <http://mjiri.iums.ac.ir>
16. José Chiquito Freile C, Lineros Óscar Ortiz A. *VALORES DE REFERENCIA DE FUERZA ISOCINÉTICA A 60°/SEGUNDO DE EXTENSORES Y FLEXORES DE RODILLA EN DEPORTISTAS DE SELECCIONES COLOMBIA Investigador Principal*.; 2018.
17. del Rosario Facultad de Rehabilitación Desarrollo Humano FACULTAD REHABILITACIÓN Y DESARROLLO HUMANO U DE, Claudia Panesso María Constanza Trillos Ingrid Tolosa Guzmán M. *BIOMECÁNICA CLÍNICA DE LA RODILLA*.; 2008.
18. Afonso J, Rocha-Rodrigues S, Clemente FM, et al. The Hamstrings: Anatomic and Physiologic Variations and Their Potential Relationships With Injury Risk. *Front Physiol*. 2021;12. doi:10.3389/fphys.2021.694604
19. Stępień K, Śmigielski R, Mouton C, Cizek B, Engelhardt M, Seil R. Anatomy of proximal attachment, course, and innervation of hamstring muscles: a pictorial essay. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2019;27(3):673-684. doi:10.1007/s00167-018-5265-z
20. Neder JA, Nery LE, Shinzato GT, Andrade MS, Peres C, Silva AC. Reference Values for Concentric Knee Isokinetic Strength and Power in Nonathletic Men and Women from 20 to 80 Years Old. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1999;29(2):116-126. doi:10.2519/jospt.1999.29.2.116
21. Samson M. Relationships between physical performance measures, age, height and body weight in healthy adults. *Age Ageing*. 2000;29(3):235-242. doi:10.1093/ageing/29.3.235
22. Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P. A New Concept For Isokinetic Hamstring: Quadriceps Muscle Strength Ratio. *Am J Sports Med*. 1998;26(2):231-237. doi:10.1177/03635465980260021201
23. Ayala F, Sainz de Baranda P, de Ste Croix M, Santonja F. Validez y fiabilidad de los ratios de fuerza isocinética para la estimación de desequilibrios

- musculares. *Apunts Medicina de l'Esport*. 2012;47(176):131-142. doi:10.1016/j.apunts.2011.11.003
24. Candia-Luján, Ramón. *Asimetría de La Masa, Fuerza y Potencia Muscular de Los Miembros Inferiores de Estudiantes Universitarios.*; 2015. <https://www.researchgate.net/publication/285591569>
 25. Rahnama N BE. Musculoskeletal Assessment in Soccer: A Review Rahnama. Accessed October 13, 2022. https://elmnet.ir/article/654023-41322/Musculoskeletal-Assessment-in-Soccer_-A-Review-Rahnama%2C-N
 26. Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, et al. Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *BMJ*. 2008;337(jul01 2):a439-a439. doi:10.1136/bmj.a439
 27. Krzykała M. Dual Energy X-Ray Absorptiometry in Morphological Asymmetry Assessment among Field Hockey Players. *J Hum Kinet*. 2010;25(2010):77-84. doi:10.2478/v10078-010-0034-1
 28. Volaklis KA, Halle M, Meisinger C. Muscular strength as a strong predictor of mortality: A narrative review. *Eur J Intern Med*. 2015;26(5):303-310. doi:10.1016/j.ejim.2015.04.013
 29. Benficia P do A, Aguiar LT, Brito SAF de, Bernardino LHN, Teixeira-Salmela LF, Faria CDC de M. Reference values for muscle strength: a systematic review with a descriptive meta-analysis. *Braz J Phys Ther*. 2018;22(5):355-369. doi:10.1016/j.bjpt.2018.02.006
 30. Lisee C, Lepley AS, Birchmeier T, O'Hagan K, Kuenze C. Quadriceps Strength and Volitional Activation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*. 2019;11(2):163-179. doi:10.1177/1941738118822739
 31. McLeod M, Breen L, Hamilton DL, Philp A. Live strong and prosper: the importance of skeletal muscle strength for healthy ageing. *Biogerontology*. 2016;17(3):497-510. doi:10.1007/s10522-015-9631-7
 32. Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, et al. Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *BMJ*. 2008;337(jul01 2):a439-a439. doi:10.1136/bmj.a439
 33. Danneskiold-Samsøe B, Bartels EM, Bülow PM, et al. Isokinetic and isometric muscle strength in a healthy population with special reference to age and gender. *Acta Physiologica*. 2009;197:1-68. doi:10.1111/j.1748-1716.2009.02022.x

34. Lexell J, Taylor CC, Sjöström M. What is the cause of the ageing atrophy? *J Neurol Sci.* 1988;84(2-3):275-294. doi:10.1016/0022-510X(88)90132-3
35. Leyva A, Balachandran A, Signorile JF. Lower-Body Torque and Power Declines Across Six Decades in Three Hundred Fifty-Seven Men and Women. *J Strength Cond Res.* 2016;30(1):141-158. doi:10.1519/JSC.0000000000001083
36. Superior De Deportes C. *MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA BIOMECAÑICADELA FUERZA MUSCULAR Y SU VALORACIÓN Análisis Cinético de La Marcha, Natación, Gimnasia Rítmica, Badminton y Ejercicios de Musculación.*
37. Dhillon RJS, Hasni S. Pathogenesis and Management of Sarcopenia. *Clin Geriatr Med.* 2017;33(1):17-26. doi:10.1016/j.cger.2016.08.002
38. Masanés Torán F, Navarro López M, Sacanella Meseguer E, López Soto A. ¿Qué es la sarcopenia? *Seminarios de la Fundación Española de Reumatología.* 2010;11(1):14-23. doi:10.1016/j.semreu.2009.10.003
39. Slade SC, Dionne CE, Underwood M, Buchbinder R. Consensus on Exercise Reporting Template (CERT): Explanation and Elaboration Statement. *Br J Sports Med.* 2016;50(23):1428-1437. doi:10.1136/bjsports-2016-096651
40. Lukaski HC. Vitamin and mineral status: effects on physical performance. *Nutrition.* 2004;20(7-8):632-644. doi:10.1016/j.nut.2004.04.001
41. Hargreaves M. *PUNTOS CLAVE FACTORES METABÓLICOS QUE CAUSAN LA FATIGA DEPORTIVA.* Vol 18.; 2005.
42. Oscar Andrés Peñuela. Hemoglobina: una molécula modelo para el investigador. *Colomb Med.* 2005;36:215-225.
43. Kennelly PJ, Rodwell VW. *CAPÍTULO 6: Proteínas: Mioglobina y Hemoglobina.*
44. Departamento de Fisiología F de MU. Transporte de O₂ y CO₂.
45. Franco Vera L. *LA HEMOGLOBINA: UNA MOLÉCULA PRODIGIOSA.* Vol 104.; 2010. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>
46. Ahmed MH, Ghatge MS, Safo MK. Hemoglobin: Structure, Function and Allostery. In: ; 2020:345-382. doi:10.1007/978-3-030-41769-7_14
47. Givens Bell S. An Introduction to Hemoglobin Physiology. *Neonatal Network.* 1999;18(2):9-15. doi:10.1891/0730-0832.18.2.9
48. McClung JP. Iron, Zinc, and Physical Performance. *Biol Trace Elem Res.* 2019;188(1):135-139. doi:10.1007/s12011-018-1479-7

49. Marshall A, Lichtman KKJPMMLLJB. *Williams. Hematology*. 9th ed. (McGraw-Hill, ed.); 2015.
50. Fukushima T, Nakano J, Ishii S, et al. Influence of Hemoglobin Level on Muscle and Physical Functions, Activities of Daily Living, and Quality of Life in Patients With Hematological Malignancies. *Integr Cancer Ther*. 2019;18:153473541984219. doi:10.1177/1534735419842196
51. Cesari M, Penninx BWJH, Lauretani F, et al. Hemoglobin Levels and Skeletal Muscle: Results From the InCHIANTI Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2004;59(3):M249-M254. doi:10.1093/gerona/59.3.M249
52. Reinke S, Taylor WR, Duda GN, et al. Absolute and functional iron deficiency in professional athletes during training and recovery. *Int J Cardiol*. 2012;156(2):186-191. doi:10.1016/j.ijcard.2010.10.139
53. Hinton PS. Iron and the endurance athlete. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2014;39(9):1012-1018. doi:10.1139/apnm-2014-0147
54. Santos PHS, Carmo ÉA, Carneiro JAO, Nery AA, Casotti CA. Handgrip strength: An effective screening instrument for anemia in the elderly women. *Public Health Nurs*. 2019;36(2):178-183. doi:10.1111/phn.12579
55. Musallam KM, Taher AT. Iron deficiency beyond erythropoiesis: should we be concerned? *Curr Med Res Opin*. 2018;34(1):81-93. doi:10.1080/03007995.2017.1394833
56. Penninx BWJH, Pahor M, Cesari M, et al. *Anemia Is Associated with Disability and Decreased Physical Performance and Muscle Strength in the Elderly*.
57. Sim M, Garvican-Lewis LA, Cox GR, et al. Iron considerations for the athlete: a narrative review. *Eur J Appl Physiol*. 2019;119(7):1463-1478. doi:10.1007/s00421-019-04157-y
58. Gilbertson DT, Ebben JP, Foley RN, Weinhandl ED, Bradbury BD, Collins AJ. Hemoglobin Level Variability: Associations with Mortality. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*. 2008;3(1):133-138. doi:10.2215/CJN.01610407
59. Hirani V, Naganathan V, Blyth F, et al. Low Hemoglobin Concentrations Are Associated With Sarcopenia, Physical Performance, and Disability in Older Australian Men in Cross-sectional and Longitudinal Analysis: The Concord Health and Ageing in Men Project. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2016;71(12):1667-1675. doi:10.1093/gerona/glw055

60. Dodd SL, Powers SK, Brooks E, Crawfords P. Effects of reduced O2 delivery with anemia, hypoxia, or ischemia on peak VO2 and force in skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 1993;74:186–191.
61. Mille Hamard L, Billat VL , Henry E, Bonnamy B, et.al. Skeletal muscle alterations and exercise performance decrease in erythropoietin-deficient mice: a comparative study. . *BMC Medical Genomics* 2012; 5(29):1-20.
62. Vega Cerda E. Validez y fiabilidad de diferentes protocolos de evaluación de la fuerza isométrica en la musculatura abductora de cadera con el uso de un dinamómetro. Granada: Universidad de Granada. 2018.
63. Stark T, Walker B, Phillips JK, Fejer R, et.al. Hand-held dynamometry correlation with the gold standard isokinetic dynamometry: a systematic review. *PM&R.* 2011;3(5):472-9.
64. Disponible en <https://www.unitconverters.net/force/kg-to-newtons.htm>. Revisado el 01 de septiembre del 2023.
65. Izaks GJ Westendorp RG Knook DL. The definition of anemia in older persons. *JAMA.* 1999;281:1714–1717.