

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen 19. Número 1

Marzo 2026



RAMD

Originales

- Validez y fiabilidad de una célula de carga de bajo coste para la extensión y la flexión isométricas de rodilla en futbolistas profesionales
- Brechas entre la política y la práctica en la implementación de la asignatura común de condición física para estudiantes de primer año de la Universidad de Bahir Dar: un estudio cualitativo
- Fuerza y adiposidad como marcadores de salud: el deporte universitario como modulador en estudiantes del nordeste brasileño

Revisiones

- Análisis estructural y dinámico del ataque colectivo en balonmano de alto nivel: una revisión sistemática
- Metodología del entrenamiento físico en pacientes de rehabilitación pulmonar de la Sociedad de Cirugía de Bogotá-Hospital de San José: una revisión sistemática
- Adaptaciones lipídicas musculares y hepáticas inducidas por el ejercicio en la diabetes mellitus tipo 2: una

Incluida en



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volumen 19. Número 1

Marzo 2026

Originales

- 5-9 Validez y fiabilidad de una célula de carga de bajo coste para la extensión y la flexión isométricas de rodilla en futbolistas profesionales
A. Zecchin, F. M. P. de Castro, G. B. de Oliveira, E. F. Puggina
- 10-14 Brechas entre la política y la práctica en la implementación de la asignatura común de condición física para estudiantes de primer año de la Universidad de Bahir Dar: un estudio cualitativo
M. Ebabu
- 15-21 Fuerza y adiposidad como marcadores de salud: el deporte universitario como modulador en estudiantes del nordeste brasileño
D. P. do Nascimento, J. V. B. Silva, N. I. C. Sousa, F. A. P. Rodrigues

Revisiones

- 22-27 Análisis estructural y dinámico del ataque colectivo en balonmano de alto nivel: una revisión sistemática
F. J. de S. P. Guimarães, L. S. da Silva, I. C. S. Leão
- 28-33 Metodología del entrenamiento físico en pacientes de rehabilitación pulmonar de la Sociedad de Cirugía de Bogotá-Hospital de San José: una revisión sistemática
A. M. Prada Rojas
- 34-41 Adaptaciones lipídicas musculares y hepáticas inducidas por el ejercicio en la diabetes mellitus tipo 2: una revisión sistemática
E. J. Cruzat, M. Tauda

Sumario

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volume 19. Number 1

March 2026

Original Articles

- 5-9 Validity and Reliability of a Low-Cost Load Cell for Isometric Knee Extension and Flexion in Professional Soccer Players
A. Zecchin, F. M. P. de Castro, G. B. de Oliveira, E. F. Puggina
- 10-14 Policy-Practice Gaps in the Implementation of the Physical Fitness Common Course for First-Year Students at Bahir Dar University: A Qualitative Study
M. Ebabu
- 15-21 Strength and adiposity as health markers: University sports as a modulator in Northeastern Brazilian students
D. P. do Nascimento, J. V. B. Silva, N. I. C. Sousa, F. A. P. Rodrigues

Review Articles

- 22-27 Structural and dynamic analysis of the collective attack in high-level handball: a systematic review
F. J. de S. P. Guimarães, L. S. da Silva, I. C. S. Leão
- 28-33 Physical Training Methodology in Pulmonary Rehabilitation Patients at the Sociedad de Cirugía de Bogotá-Hospital de San José: A Systematic Review
A. M. Prada Rojas
- 34-41 Exercise-Induced Muscular and Hepatic Lipid Adaptations in Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review
E. J. Cruzat, M. Tauda

Contents

Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Volume 19. Número 1

Março 2026

Artigos Originais

- 5-9 Validade e confiabilidade de uma célula de carga de baixo custo para a extensão e a flexão isométricas do joelho em jogadores profissionais de futebol
A. Zecchin, F. M. P. de Castro, G. B. de Oliveira, E. F. Puggina
- 10-14 Lacunas entre a política e a prática na implementação da disciplina comum de aptidão física para estudantes do primeiro ano da Universidade de Bahir Dar: um estudo qualitativo
M. Ebabu
- 15-21 Força e adiposidade como marcadores de saúde: o esporte universitário como modulador em estudantes do Nordeste brasileiro
D. P. do Nascimento, J. V. B. Silva, N. I. C. Sousa, F. A. P. Rodrigues

Artigos de Revisão




- 22-27 Análise estrutural e dinâmica no ataque coletivo do handebol de alto nível: uma revisão sistemática
F. J. de S. P. Guimarães, L. S. da Silva, I. C. S. Leão
- 28-33 Metodologia do treinamento físico em pacientes de reabilitação pulmonar da Sociedad de Cirugía de Bogotá-Hospital de San José: uma revisão sistemática
A. M. Prada Rojas
- 34-41 Adaptações lipídicas musculares e hepáticas induzidas pelo exercício no diabetes mellitus tipo 2: uma revisão sistemática
E. J. Cruzat, M. Tauda

Conteúdo

Originales

Validity and Reliability of a Low-Cost Load Cell for Isometric Knee Extension and Flexion in Professional Soccer Players



Arthur Zecchin^{a,b,*} , Fábio Marzliak Pozzi de Castro^b, Gabriel Bonavena de Oliveira^b , Enrico Fuini Puggina^b 

^a Faculty of Physical Education, Estacio University Centre, Brazil.

^b School of Physical Education and Sport of Ribeirao Preto, University of Sao Paulo, Brazil.

ABSTRACT

Purpose: Muscle strength is essential for sport performance, but gold-standard assessment tools are costly. We evaluated the validity and reliability of a very low-cost load cell (LC) for measuring isometric knee extension and flexion strength compared with an isokinetic dynamometer (ID). **Methods:** Thirty-one professional male soccer players (17.8 ± 1.3 y; 71.2 ± 6.3 kg; 177 ± 0.1 cm) completed two testing sessions. Peak isometric force at of knee flexion was measured with both the load cell LC and ID. Reliability was assessed using intraclass correlation coefficients (ICC), coefficients of variation (CV), and Bland–Altman plots. Validity was examined by comparing peak force between devices using repeated-measures ANOVA. **Results:** Both devices showed excellent test–retest reliability for knee extension (LC ICC = 0.91; ID ICC = 0.94) and knee flexion (LC ICC = 0.93; ID ICC = 0.99). CVs $\leq 7.2\%$ indicated acceptable to high reliability. The LC consistently overestimated peak force relative to the ID in both movements ($p < 0.001$). Trial-to-trial differences were also found for knee flexion with the LC ($p = 0.010$). **Conclusion:** The low-cost LC demonstrated excellent reliability but poor validity versus the ID. It may be useful in applied settings, but systematic overestimation warrants caution.

Keywords: muscle strength; isometric assessment; load cell; reliability; validity; soccer.

Validade e confiabilidade de uma célula de carga de baixo custo para a extensão e a flexão isométricas do joelho em jogadores profissionais de futebol

RESUMO

Objetivo: A força muscular é essencial para o desempenho esportivo, mas os instrumentos considerados padrão-ouro para sua avaliação apresentam custos elevados. O objetivo deste estudo foi avaliar a validade e a confiabilidade de uma célula de carga de muito baixo custo (LC) para medir a força isométrica de extensão e flexão do joelho, em comparação com um dinamômetro isocinético (DI). **Métodos:** Trinta e um jogadores profissionais de futebol do sexo masculino ($17,8 \pm 1,3$ anos; $71,2 \pm 6,3$ kg; $177 \pm 0,1$ cm) participaram de duas sessões de avaliação. A força isométrica máxima durante a extensão e a flexão do joelho foi medida por meio da célula de carga LC e do DI. A confiabilidade foi avaliada por meio do coeficiente de correlação intraclassa (CCI), do coeficiente de variação (CV) e dos gráficos de Bland–Altman. A validade foi analisada mediante a comparação da força máxima entre os dispositivos por meio de análise de variância para medidas repetidas. **Resultados:** Ambos os dispositivos apresentaram excelente confiabilidade teste–reteste para a extensão do joelho (LC: CCI = 0,91; DI: CCI = 0,94) e para a flexão do joelho (LC: CCI = 0,93; DI: CCI = 0,99). Valores de CV $\leq 7,2\%$ indicaram confiabilidade aceitável a elevada. A LC superestimou sistematicamente a força máxima em comparação com o DI em ambos os movimentos ($p < 0,001$). Também foram observadas diferenças entre as tentativas para a flexão do joelho avaliada com a LC ($p = 0,010$). **Conclusão:** A célula de carga de baixo custo apresentou excelente confiabilidade, mas baixa validade em comparação com o dinamômetro isocinético. Esse dispositivo pode ser útil em contextos aplicados, embora a superestimação sistemática dos valores de força exija cautela na interpretação dos resultados.

Palavras-chave: força muscular; avaliação isométrica; célula de carga; confiabilidade; validade; futebol.

* Correspondent author: Arthur Zecchin. E-mail: arthurzecchin@gmail.com (Arthur Zecchin)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v19i1.1231>

ISSN-e: 1888-7546/ © 2026 Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía.

Validez y fiabilidad de una célula de carga de bajo coste para la extensión y la flexión isométricas de rodilla en futbolistas profesionales

RESUMEN

Objetivo: La fuerza muscular es esencial para el rendimiento deportivo, pero las herramientas consideradas de referencia para su evaluación tienen un coste elevado. El objetivo de este estudio fue evaluar la validez y la fiabilidad de una célula de carga de muy bajo coste (LC) para medir la fuerza isométrica de extensión y flexión de rodilla, en comparación con un dinamómetro isocinético (DI). **Métodos:** Treinta y un futbolistas profesionales de sexo masculino ($17,8 \pm 1,3$ años; $71,2 \pm 6,3$ kg; $177 \pm 0,1$ cm) realizaron dos sesiones de evaluación. La fuerza isométrica máxima durante la extensión y la flexión de rodilla se midió mediante la célula de carga LC y el DI. La fiabilidad se evaluó mediante el coeficiente de correlación intraclase (CCI), el coeficiente de variación (CV) y los gráficos de Bland-Altman. La validez se examinó comparando la fuerza máxima entre ambos dispositivos mediante un análisis de la varianza de medidas repetidas. **Resultados:** Ambos dispositivos mostraron una excelente fiabilidad test-retest para la extensión de rodilla (LC: CCI = 0,91; DI: CCI = 0,94) y la flexión de rodilla (LC: CCI = 0,93; DI: CCI = 0,99). Los valores de $CV \leq 7,2\%$ indicaron una fiabilidad aceptable o elevada. La LC sobreestimó sistemáticamente la fuerza máxima respecto al DI en ambos movimientos ($p < 0,001$). También se encontraron diferencias entre intentos en la flexión de rodilla evaluada con la LC ($p = 0,010$). **Conclusión:** La célula de carga de bajo coste mostró una excelente fiabilidad, pero una validez deficiente en comparación con el dinamómetro isocinético. Puede resultar útil en contextos aplicados, aunque la sobreestimación sistemática de los valores de fuerza exige cautela en la interpretación de los resultados.

Palabras clave: fuerza muscular; evaluación isométrica; célula de carga; fiabilidad; validez; fútbol.

INTRODUCTION

Strength is a physical capability which is considered an essential aspect for a good sport performance. Greater muscular strength has been associated with enhanced force-time characteristics (e.g. rate of force development [RFD]), general sport skill performance (e.g. jumping, sprinting and change of direction [COD]) and specific sport skill performance as well as decreased injury rates and enhanced potentiation effects [1]. On the other hand, bad physical preparation, as low level of strength and flexibility showed a significantly higher injury rate [2]. For example, the imbalance of muscular strength with a low hamstring to quadriceps ratio (H:Q ratio) is a risk factor for hamstring injuries in sports involving sprinting and jumping [3]. As the hamstring and groin strains together with the ankle and knee sprains account for more than 50% of all injuries in soccer [4], good levels of strength and a balanced muscular strength between agonist and antagonist muscle groups in lower limbs are needed for these athletes.

The level of muscular strength can be assessed isometrically or dynamically. Suchomel and colleagues [1] argued that isometric strength tests have displayed notable relationships with dynamic strength performance in addition to being time efficient, particularly with large groups, and may provide a truer measure of "maximum" strength compared to dynamic strength testing in which the final load attempted may be overestimated. However, the isometric level of muscular strength as well as the imbalance of muscular strength between agonist-antagonist muscle groups are generally assessed by the isokinetic dynamometer (ID). Although ID is the gold standard device to assess the isometric muscular strength [5], its limitations such as the usage in laboratory environments, the spending time in large samples and the high cost hinder the utilization. In this way, cheaper procedures employing more versatile devices with good validity and reliability would be of great value.

An interesting device to be used in the field due to its easy transportation and reasonable costs is the load cell (LC). There are a lot of LC brands available in the market. In the scientific literature, there are studies which have assessed the validity and/or reliability of different brands of LCs for knee extension and/or flexion [5-9]. Although LCs are much cheaper than ID, the price variation is wide with some LC devices costing ~\$1000 [6] or more and others with price <\$500 [10]. Nevertheless, even prices around 500 dollars may be a considerable expenditure in some situations. For instance, teams

and staffs with no sponsorship and low income may have some difficulties to purchase a LC with price around that. Fortunately, alternative LCs costing around \$20 or less can also be bought and may be an option for those with low purchasing power. Notwithstanding, the great part of these LCs, if not all, have no proof of the validity and reliability. Because of the potential for universal utilization of these LCs due to the very low expenditure, the validity and reliability of some these devices deserve to be analysed.

Thus, the aim of this study is to assess the validity and reliability of a very cheap LC (~\$10) through the comparison of knee extension-flexion peak force with the data obtained in an ID test in professional soccer players. We hypothesized that the LC will get validity and reliability in the comparisons with the ID test.

METHODS

Experimental Approach to the problem

This cross-sectional validation and reliability study with a repeated-measures design was conducted during the mid-season of the 2025 Brazilian U-20 National Soccer Championship. Testing sessions were conducted at two time points separated by a minimum of 48 hours and no longer than 72 hours apart (mean = 50 ± 1.0 h). During this period, the subjects were instructed to refrain from strenuous physical exercise, the utilization of supplements that would impact their performance and alcohol for 48 hours before each session. Also, they were instructed to maintain the routine diet as usual (not recorded). Subjects completed the testing sessions in a randomized, counterbalanced order, performing both the criterion (isokinetic dynamometer) and experimental (low-cost load cell) conditions.

Subjects

Sample size estimation was performed using G*Power software (F-tests ANOVA: Repeated measures within factors family), assuming an alpha level of 0.01, statistical power of 0.90, and a conservative effect size of 0.7. The analysis indicated that a minimum of 7 subjects is required to achieve a power of 0.91. Thirty-one professional male soccer players (17.8 ± 1.3 y; 71.2 ± 6.3 kg; 177 ± 0.1 cm) were enrolled in this study. The subjects had ≥ 2 years of experience in

federated soccer championships (e.g., national championship). All subjects read and signed the informed consent exposing the benefits and risks associated with participation in this investigation. This study was approved by the University's Human Research Ethics Committee in accordance with the Declaration of Helsinki (CAAE n°: 89797725.4.0000.0423).

Procedures

The dominant leg was tested on the LC and ID protocols on the same day in a counterbalanced order. Dominant leg was defined as the preferred leg used to kick a soccer ball. Measurements of knee flexion-extension strength were tested isometrically at 90° of knee flexion. Joint position was quantified through a goniometric measurement.

Session began with a warm-up of 5 minutes of moderate cycling (Borg RPE scale 3–4/10) followed by dynamic stretching (~5 minutes) targeting the lower limbs. Then, a submaximal warm-up consisting of two 5-second isometric contractions at 50% and 70% of perceived effort preceded the maximal tests. A familiarization was performed 48 h before the tests began involving 2 submaximal following the described warm-up. The movements performed were the knee flexion and knee extension with the LC and ID during each testing session.

The knee extension-flexion test in LC and ID required the subjects to sit in a stabilization chair during the testing (Digital Crane Scale, Weiheng, 500 kg capacity, Wuxi JI, China; Biodex System 4 Pro, Biodex Medical Systems®, NY, USA, respectively). During the testing with the LC, one end of the LC was attached to a stabilization strap fixed to the subject's ankle while the other end was fixed to the examination table. For ID test, subjects were attached to the seat of the dynamometer (seat tilt: 85°) so that the axis of their knee aligned with the axis of the dynamometer. The seat orientation and ID orientation were 90° and the free extremity of the lever arm attached to the ID was strapped around the volunteer's ankle.

The protocol consisted of three maximal voluntary isometric contractions (MVIC) lasting five seconds each on every device, with one minute of rest between trials. A five-minute rest was provided between testing devices. The peak force (N) from the three trials for each movement was recorded.

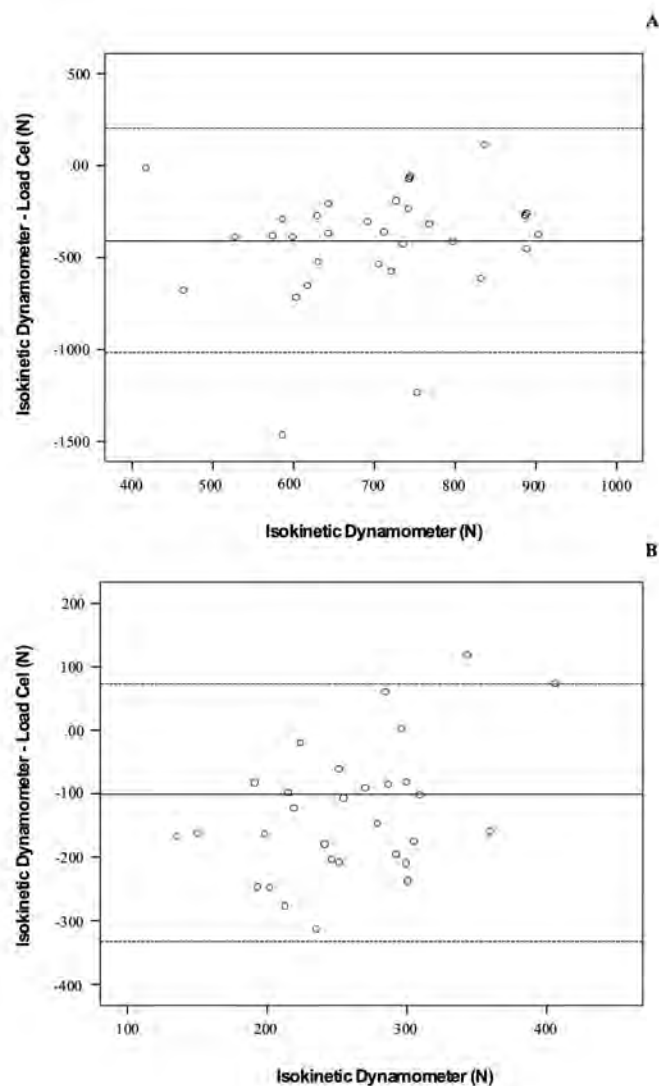
Statistical Analysis

Data normality was assessed using the Shapiro–Wilk test. Reliability and validity for each variable were evaluated using intraclass correlation coefficients (ICC), coefficient of variation (CV), and Bland–Altman plots, each accompanied by their 95% confidence intervals (CI). A two-way random-effects model with absolute agreement was used to calculate ICCs. ICC values ≥ 0.80 were considered acceptable, and values ≥ 0.90 were considered excellent [11]. For the CV, values $\leq 10\%$ were deemed acceptable, while values $\leq 5\%$ indicated high reliability [12]. Validity analyses were performed using the mean values from test and retest for each condition. Repeated measures of ANOVA was used to compare the two methods of assessing peak force between days. Sphericity was verified and a post hoc analysis with Bonferroni correction was employed for multiple comparisons between methods ($0.05 / 4 = 0.0125$). All statistical analyses were conducted using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, version 21; IBM Corp., Armonk, NY, USA). Results are reported as mean \pm standard deviation (SD), and statistical significance was set at $p \leq 0.05$.

RESULTS

Figure 1 showing the agreement between the ID and the LC for peak force during (A) knee extension and (B) knee flexion. The

plots present the difference between paired ID and LC values (y-axis) against the corresponding ID values (x-axis). Across both movements, the LC consistently overestimated muscle strength compared with the ID.



Note: Y-axis, Representation (A) comparison between difference of mean of ID and LC in knee extension condition; (B) difference of mean of ID and LC in knee flexion condition. X-axis, isometric knee extension (fig. A) and flexion (fig. B) forces obtained from the isokinetic dynamometer. The dotted lines present upper and lower limit. LC, low-cost load cell; ID, isokinetic dynamometer; N, Newtons.

Figure 1. Bland-Altman plot of the isometric knee extension and flexion force and the difference between low-cost load cell and isokinetic dynamometer.

The CV indicated acceptable reliability for knee extension in both LC and ID, and high reliability for knee flexion (7.2% and 6% for extension; 1.4% and 1.2% for flexion, respectively). The reliability of the LC was assessed using ICC. We used a two-way random effect model with absolute agreement [ICC (2,1)]. For knee extension, the single measures ICC was 0.91 (95% CI: 0.817 - 0.955; $p < 0.001$), and for knee flexion, the single measures ICC was 0.93 (95% CI: 0.868 - 0.968; $p < 0.001$), indicating excellent reliability. The reliability of the ID followed the same design as the LC. For knee extension, the single measures ICC was 0.94 (95% CI: 0.883 - 0.972; $p < 0.001$), and for knee flexion, the single measures ICC was 0.99 (95% CI: 0.992 - 0.998; $p < 0.001$), indicating excellent reliability. Table 1 shows the test-rest reliability values.

For knee extension, there were no significant differences in peak force between Trial 1 and Trial 2 within the same condition, either the LC or the ID ($p = 0.615$ and $p = 0.333$, respectively).

Table 1. Test-Retest Reliability Values

Condition	Muscle Group	ICC	SEM (N)	95% MDC (N)
Load Cell	Knee extensors	.91	93.9	260.1
	Knee flexors	.93	23.2	426.3
Isokinetic Dynamometer	Knee extensors	.94	30.1	653.7
	Knee flexors	.99	5.6	81.3

Note ICC, Intraclass correlation coefficient; SEM, standard error of measurement; MDC: minimal detectable change.

Table 2. Knee-Extension and -Flexion Peak-Force Values

Condition	Peak Force (N)	SD	95% CI	
Knee extension				
Trial 1	Load cell	1055.3	317.9	936.552 – 1173.975
	Isokinetic Dynamometer	699.9	123.9	653.635 – 746.184
Trial 2	Load cell	1097.5	323	976.861 – 1218.071
	Isokinetic Dynamometer	684.5	125.4	637.698 – 731.341
Knee flexion				
Trial 1	Load cell	385.4	95	349.952 – 420.915
	Isokinetic Dynamometer	258.9	55.2	238.300 – 279.519
Trial 2	Load cell	365.1	83	334.132 – 396.121
	Isokinetic Dynamometer	257.6	56.2	236.648 – 278.585

Note N, newton; SD, standard deviation; 95% CI, 95% confidence interval.

However, significant differences in peak force were observed between the methods for both Trial 1 and Trial 2 ($p < 0.001$).

For knee flexion, a significant difference in peak force was found between trials in the LC condition ($p = 0.010$), but not in the ID condition ($p = 0.898$). Similar to the extension data, between-method comparisons for both Trial 1 and Trial 2 revealed significant differences in peak force ($p < 0.001$). Table 2 shows the knee-extension and -flexion peak force values.

DISCUSSION

The aim of the present study was to evaluate the validity and reliability of a low-cost load cell by comparing knee extension-flexion peak force values with those obtained from an isokinetic dynamometer test in professional soccer players. The results contradict partially our initial hypothesis which speculated that LC would be a valid and reliable device compared to the “gold standard” apparatus (ID). The data demonstrated that both LC and ID presented excellent reliability for both movements (knee flexion and extension) in a test-retest design. Moreover, the peak force was different between LC and ID in trials 1 and 2 for both knee extension and flexion and in peak force between trials in the LC only for knee flexion. Despite the low cost and ease of transportation, these results suggest that LC presents a poor validity even though the excellent reliability.

During knee extension movement, LC reached a test-retest ICC value of 0.91 while ID obtained a value of 0.94 in this parameter. These values are greater than 0.90 which allow us to infer that both devices present excellent reliability. Juneau et al. [8] reported that a different brand of LC showed excellent intrasession reliability (ICC > 0.90) for peak force in the seated knee extension. Likewise, Kollock et al. [7] described good ($0.80 < \text{ICC} < 0.90$) to excellent (ICC > 0.90) intrasession ICC values for another LC during the same movement pattern in 3 different sessions. However, in the present study, we focused exclusively on intersession reliability, as this approach better reflects the reproducibility of measurements across different testing days, a critical aspect for both longitudinal monitoring and practical application in research and clinical settings. In this way, Kollock et al. [7] demonstrated poor to fair intersession reliability (ICC: 0.43–0.76) for knee and hip strength evaluated by different movement patterns including seated knee extension. This difference from our findings may be due to inherent aspects of the LCs used in the Kollock’s study [7] and in the present study and also by the ability of athletes to consistently produce high strength values across different days, likely as a result of years of training.

For knee flexion, the ICC values obtained by LC and ID was 0.93 and 0.99, respectively. Similar to the findings for knee extension, both devices demonstrated excellent reliability. Kollock et al. [7] reported high intrasession reliability of a portable fixed dynamometer in assessing hip and knee musculature strength (0.85 to 0.99). Notwithstanding, the intersession ICC value for knee flexion was the lowest (ICC: 0.43, poor reliability) among all measurements. Again, despite the difference related to the distinct devices used in the present study and that in the Kollock’s study [7], the different characteristics of the sample needs to be taken into account. Our subjects were professional soccer players, who place high demands on the hamstring muscles [4], whereas Kollock et al. [7] examined non-athlete individuals.

The peak force values between LC and ID were different for both movements (knee extension and flexion) in both trials (Trials 1 and 2). This data indicates that the peak force reached by LC in these movements did not match the values obtained by ID. As ID is considered the gold standard, or the criterion measure for isometric muscle strength [5, 6], would be expected that LC got values for this parameter similar to that for ID test if the tested LC in the present study was a valid device. In other words, the validity of the LC used in this investigation was not confirmed for both seated knee flexion and extension. Moreover, while peak force registers between trials were not different in both conditions (LC and ID) for knee extension, only LC showed significant difference between Trials 1 and 2 for knee flexion. This suggests that although the ranking of subjects remained consistent, absolute scores varied across trials, potentially due to learning effects, fatigue, or instrument bias.

The findings of the present study demonstrated a low CV for both instruments (ID and LC), supporting their measurement reliability. In summary, the low-cost load cell (LC) evaluated in the present study demonstrated excellent reliability for both knee extension and knee flexion; however, its validity could not be confirmed. Difference was observed between trials for knee flexion, and the absolute peak force values for both knee extension and flexion differed significantly from those obtained with the isokinetic dynamometer (ID). Therefore, these findings should be interpreted with caution. The applicability of the present results cannot be generalized to other populations, nor can conclusions be extended to different movement patterns. Future research should investigate the use of the LC in diverse populations (e.g., athletes from other sports) and across various movement tasks to further establish its reliability and potential applications.

In certain contexts, such as team sports, the use of an LC may be attractive due to these advantages, but the device tested in the present study may yield inaccurate values for knee extension and flexion. Although this result, this device may be useful to day-a-day application as much as the reliability is excellent.

The LC demonstrated excellent reliability when compared with the gold-standard ID; however, its validity could not be confirmed. While the LC presents advantages over the ID, such as portability and, in this case, very low cost, the results obtained should be interpreted with caution. Furthermore, its validity and reliability for other movement patterns remain unknown.

Award id

CAPES – Finance Code: 001

Funding

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES – Finance Code: 001).

Funded by: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil

REFERENCES

- Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine*. 2016;46(10):1419-49. doi: 10.1007/s40279-016-0486-0.
- Pococco E, Ruedl G, Stankovic N, Sterkowicz S, Del Vecchio FB, Gutierrez-Garcia C, et al. Injuries in judo: a systematic literature review including suggestions for prevention. *Br J Sports Med*. 2013;47(18):1139-43. doi: 10.1136/bjsports-2013-092886.
- Petersen J, Holmich P. Evidence based prevention of hamstring injuries in sport. *Br J Sports Med*. 2005;39(6):319-23. doi: 10.1136/bjism.2005.018549.
- Engebretsen AH, Myklebust G, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Prevention of injuries among male soccer players: a prospective, randomized intervention study targeting players with previous injuries or reduced function. *Am J Sports Med*. 2008;36(6):1052-60. doi: 10.1177/0363546508314432.
- Wang YC, Bohannon RW, Magasi SR, et al. Testing of knee extension muscle strength: A comparison of two portable alternatives for the NIH toolbox study. *Isokinetics and Exercise Science*. 2011;19(3):163-8. doi: 10.3233/IES-2011-0410.
- Toonstra J, Mattacola CG. Test-retest reliability and validity of isometric knee-flexion and -extension measurement using 3 methods of assessing muscle strength. *J Sport Rehabil*. 2013;22(1). doi: 10.1123/jsr.2013.TR7.
- Kollock RO, Jr., Onate JA, Van Lunen B. The reliability of portable fixed dynamometry during hip and knee strength assessments. *J Athl Train*. 2010;45(4):349-56. doi: 10.4085/1062-6050-45.4.349.
- Juneau CM, Oranchuk DJ, Cahill M, et al. Reliability and Utility of Load-Cell Derived Force-Time Variables Collected During a Constrained and Unconstrained Isometric Knee Extension Task on a Plinth. *J of Sci in Sport and exercise*. 2024;6(1):81-9. doi:10.1007/s42978-022-00215-8
- Ruschel C, Haupenthal A, Jacomel GF, Fontana Hde B, Santos DP, Scoz RD, et al. Validity and reliability of an instrumented leg-extension machine for measuring isometric muscle strength of the knee extensors. *J Sport Rehabil*. 2015;24(2). doi: 10.1123/jsr.2013-0122.

- Pichardo AW, Neville J, Tinwala F, Cronin JB, Brown SR. Validity and Reliability of Force-Time Characteristics Using a Portable Load Cell for the Isometric Midthigh Pull. *J Strength Cond Res*. 2024;38(1):185-91. doi: 10.1519/JSC.0000000000004672.
- Hopkins W. Spreadsheet for analysis of validity and reliability. *Sportscience*. 2015;19:36-42.
- James LP, Roberts LA, Haff GG, Kelly VG, Beckman EM. Validity and Reliability of a Portable Isometric Mid-Thigh Clean Pull. *J Strength Cond Res*. 2017;31(5):1378-86. doi: 10.1519/JSC.0000000000001201.

Acknowledgements

We would like to thank the Comercial Soccer Club for the interest in this experimental study.

Funding

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES – Finance Code: 001).

Conflicts of interest

The authors have declared no conflicts of interest.

Author Contributions

All authors contributed to the study conception and design.

Ethics Approval

This study was approved by the University's Human Research Ethics Committee in accordance with the Declaration of Helsinki (CAEE).

Consent to participate

Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.



Originales

Policy–Practice Gaps in the Implementation of the Physical Fitness Common Course for First-Year Students at Bahir Dar University: A Qualitative Study



Melese Ebabu^{a,*}

^a Physical Education and Sport Science, Bahir Dar University, Ethiopia.

ABSTRACT

Introduction: The Physical Fitness common course is a compulsory pass/fail course established by the Ethiopian Ministry of Education for first-year university students. It aims to improve physical fitness, prevent hypokinetic diseases, and promote lifelong healthy lifestyles. Although these objectives are clearly stated in the national curriculum framework, concerns have been raised about a possible mismatch between policy intentions and institutional teaching and learning practices. **Objective:** To examine policy–practice gaps in the implementation of the Physical Fitness common course at Bahir Dar University, with particular attention to instructional delivery, assessment practices, monitoring and accountability mechanisms, and student engagement. **Methods:** A qualitative case-study design was used. Data were collected through semi-structured interviews with five Physical Fitness instructors, one course chair, and one department head; focus group discussions with 72 first-year students representing 72 course sections; and analysis of the Ministry of Education curriculum framework and relevant institutional course documents. The student participants were organised into eight focus groups of nine students. Data were analysed thematically using an inductive approach. **Results:** Five interrelated themes were identified: variability in instructor commitment and instructional delivery; weak monitoring and accountability mechanisms; compromised assessment integrity within the pass/fail grading system; uneven student participation and engagement; and misalignment between national policy intentions and institutional practice. Although the policy emphasises inclusive participation, equity, and positive health outcomes, implementation at the institutional level was fragmented and inconsistent. **Conclusions:** The implementation of the Physical Fitness common course requires stronger quality-assurance mechanisms, clearer accountability structures, standardised assessment procedures, and sustained professional support for instructors. Improved institutional monitoring and more engaging, student-centred teaching practices may help bridge policy–practice gaps and strengthen the educational and health benefits of the course.

Keywords: physical fitness; higher education; policy implementation; pass/fail assessment; student engagement.

Lacunas entre a política e a prática na implementação da disciplina comum de aptidão física para estudantes do primeiro ano da Universidade de Bahir Dar: um estudo qualitativo

RESUMO

Introdução: A disciplina comum de Aptidão Física é uma unidade curricular obrigatória, avaliada pelo sistema aprovado/reprovado, estabelecida pelo Ministério da Educação da Etiópia para estudantes universitários do primeiro ano. Seu objetivo é melhorar a aptidão física, prevenir doenças hipocinéticas e promover estilos de vida saudáveis ao longo da vida. Embora esses objetivos estejam claramente definidos no currículo nacional, foram levantadas preocupações sobre uma possível discrepância entre as intenções da política e as práticas institucionais de ensino e aprendizagem. **Objetivo:** Examinar as lacunas entre a política e a prática na implementação da disciplina comum de Aptidão Física na Universidade de Bahir Dar, com especial atenção à oferta do ensino, às práticas de avaliação, aos mecanismos de monitoramento e responsabilização e ao envolvimento dos estudantes. **Métodos:** Foi utilizado um desenho qualitativo de estudo de caso. Os dados foram obtidos por meio de entrevistas semiestruturadas com cinco docentes de Aptidão Física, um coordenador da disciplina e um chefe de departamento; grupos focais com 72 estudantes do primeiro ano, representando 72 turmas; e análise do currículo do Ministério da Educação e de documentos institucionais relevantes. Os estudantes foram organizados em oito grupos focais de nove participantes. Os dados foram analisados tematicamente mediante uma abordagem indutiva. **Resultados:** Foram identificados cinco temas inter-relacionados: variabilidade no compromisso docente e na oferta do ensino; fragilidade dos mecanismos de monitoramento e responsabilização; comprometimento da integridade da avaliação no sistema aprovado/reprovado; participação e envolvimento desiguais dos estudantes; e desalinhamento entre as

* Corresponding author: Melese Ebabu. E-mail: zmelie99@gmail.com (Melese Ebabu)

intencões da política nacional e a prática institucional. Embora a política enfatize participação inclusiva, equidade e resultados positivos de saúde, a implementação institucional mostrou-se fragmentada e inconsistente. **Conclusões:** A implementação da disciplina comum de Aptidão Física requer mecanismos de garantia da qualidade mais sólidos, estruturas de responsabilização mais claras, procedimentos de avaliação padronizados e apoio profissional contínuo aos docentes. Um melhor monitoramento institucional e práticas pedagógicas mais atrativas e centradas no estudante podem contribuir para reduzir as lacunas entre política e prática e ampliar os benefícios educacionais e de saúde da disciplina.

Palavras-chave: aptidão física; ensino superior; implementação de políticas; avaliação aprovado/reprovado; envolvimento estudantil.

Brechas entre la política y la práctica en la implementación de la asignatura común de condición física para estudiantes de primer año de la Universidad de Bahir Dar: un estudio cualitativo

RESUMEN

Introducción: La asignatura común de Condición Física es una materia obligatoria, evaluada mediante un sistema de apto/no apto, establecida por el Ministerio de Educación de Etiopía para el alumnado universitario de primer año. Su finalidad es mejorar la condición física, prevenir enfermedades hipocinéticas y promover estilos de vida saludables a lo largo de la vida. Aunque estos objetivos están claramente definidos en el currículo nacional, se han planteado dudas sobre una posible discrepancia entre las intenciones de la política y las prácticas institucionales de enseñanza y aprendizaje. **Objetivo:** Examinar las brechas entre la política y la práctica en la implementación de la asignatura común de Condición Física en la Universidad de Bahir Dar, prestando especial atención a la docencia, las prácticas de evaluación, los mecanismos de seguimiento y rendición de cuentas y la participación del alumnado. **Métodos:** Se utilizó un diseño cualitativo de estudio de caso. Los datos se obtuvieron mediante entrevistas semiestructuradas con cinco docentes de Condición Física, un coordinador de la asignatura y un jefe de departamento; grupos focales con 72 estudiantes de primer año que representaban 72 secciones; y análisis del marco curricular del Ministerio de Educación y de documentos institucionales relevantes. Los estudiantes se organizaron en ocho grupos focales de nueve participantes. Los datos se analizaron temáticamente mediante un enfoque inductivo. **Resultados:** Se identificaron cinco temas interrelacionados: variabilidad en el compromiso docente y en la impartición de la asignatura; debilidad de los mecanismos de seguimiento y rendición de cuentas; deterioro de la integridad de la evaluación dentro del sistema de apto/no apto; participación e implicación desiguales del alumnado; y falta de alineación entre las intenciones de la política nacional y la práctica institucional. Aunque la política enfatiza la participación inclusiva, la equidad y los resultados positivos en salud, su implementación institucional fue fragmentada e inconsistente. **Conclusiones:** La implementación de la asignatura común de Condición Física requiere mecanismos de garantía de calidad más sólidos, estructuras de responsabilidad más claras, procedimientos de evaluación estandarizados y apoyo profesional continuado para el profesorado. Una mejor supervisión institucional y prácticas docentes más atractivas y centradas en el alumnado pueden contribuir a reducir las brechas entre política y práctica y a reforzar los beneficios educativos y de salud de la asignatura.

Palabras clave: condición física; educación superior; implementación de políticas; evaluación apto/no apto; participación estudiantil.

INTRODUCTION

Physical inactivity is a major risk factor for hypokinetic and non-communicable diseases, including cardiovascular disease, type 2 diabetes mellitus, obesity, hypertension, and musculoskeletal disorders (1). Regular participation in structured physical activity can improve cardiorespiratory fitness, muscular strength, flexibility, and body composition, thereby contributing to disease prevention, health, and quality of life. Higher education institutions therefore represent an important setting in which to promote healthy lifestyles among young adults during a critical stage of behavioural development.

In response to the growing public-health burden associated with physical inactivity, the Ethiopian Ministry of Education introduced the Physical Fitness common course as a compulsory course for all first-year university students, irrespective of their intended field of study. According to the harmonised curriculum framework, the course is intended to encourage active participation, improve physical fitness, increase health awareness, and support lifelong physical-activity habits rather than focus solely on academic achievement (2). The course uses a pass/fail grading system, with a score of 50% or higher required to pass.

At Bahir Dar University, the course combines a limited number of theoretical classes with a stronger practical component focused on conditioning exercises and general fitness development. Preliminary

observations by instructors and academic staff suggested that the pass/fail system, variable instructor commitment, and limited monitoring and accountability may have contributed to inconsistent implementation across course sections. Students in some sections were reportedly awarded a passing grade despite limited attendance or participation, whereas students in other sections were assessed more rigorously. Such variability may undermine the principles of equity, fairness, and health promotion on which the national curriculum is based.

Despite the objectives described in Ministry policy documents, the apparent discrepancies between policy intentions and institutional practice have received little empirical attention at university level. Research on physical education in Ethiopia has focused predominantly on primary and secondary education, leaving limited evidence on the implementation of compulsory university-level Physical Fitness courses. The present study therefore examined policy-practice gaps in the implementation of the Physical Fitness common course at Bahir Dar University. Specifically, it explored instructional delivery, assessment practices, institutional monitoring and accountability, and student engagement.

Table 1. Summary of the themes, subthemes, and sources of evidence identified in the study.

Major theme	Subthemes	Data sources
Instructor commitment and instructional variability	Inconsistent instructional delivery; variation in supervision of practical sessions	Interviews; focus groups
Monitoring and accountability gaps	Limited follow-up; absence of standardised reporting	Interviews; documents
Assessment integrity challenges	Lenient grading; attendance not systematically tracked	Interviews; focus groups; documents
Student participation and engagement	Passive participation; motivation shaped by pass/fail grading	Focus groups
Policy–practice misalignment	Health and equity objectives in policy versus compliance-oriented implementation	Documents; interviews

METHODS

Research design

A qualitative case-study design was used to obtain an in-depth understanding of participants' experiences and perceptions and of the contextual factors affecting implementation of the Physical Fitness common course. The case-study approach enabled examination of institutional practices within their real-world setting.

Study setting

The study was conducted at Bahir Dar University, a public university in Ethiopia where the Physical Fitness common course is compulsory for first-year undergraduate students.

Participants and sampling

Purposive sampling was used to recruit participants with direct experience of planning, delivering, supervising, or attending the course. Participants included five Physical Fitness instructors, one course chair, one department head, and 72 first-year students. The students represented 72 course sections and were organised into eight focus groups of nine participants.

Data collection

Data were collected through semi-structured interviews, focus group discussions, and document analysis to support methodological triangulation. Interviews with instructors, the course chair, and the department head explored perceptions of course objectives, instructional practices, assessment procedures, monitoring mechanisms, and implementation challenges. Focus group discussions with first-year students examined their experiences of the course, levels of participation, perceptions of assessment, and views on fairness and effectiveness.

Relevant policy and institutional documents were reviewed, including the Ministry of Education harmonised curriculum framework, the course syllabus or departmental course guide, assessment guidance, and institutional directives relating to the Physical Fitness course. Interviews and focus groups were conducted in Amharic, audio-recorded with participants' consent, and supplemented with field notes.

Data analysis

Audio recordings were transcribed verbatim in Amharic and translated into English. Data were analysed thematically using an inductive approach. The process involved familiarisation with the data, initial coding, development of candidate themes, review and refinement of themes, and interpretation. Codes were grouped into broader themes concerning policy–practice gaps, instructional and assessment challenges, student engagement, and institutional factors affecting course implementation. Findings from document analysis were integrated with interview and focus group data to corroborate or contrast emerging themes.

Ethical considerations

The study was conducted in accordance with the ethical principles applicable to research involving human participants and the institutional procedures of Bahir Dar University. Participation was voluntary, informed consent was obtained before data collection, and confidentiality and anonymity were maintained throughout the study.

RESULTS

The thematic analysis identified five major and interrelated policy–practice gaps in the implementation of the Physical Fitness common course: (1) variability in instructor commitment and instructional delivery; (2) weaknesses in monitoring and accountability; (3) compromised assessment integrity within the pass/fail grading system; (4) uneven student participation and engagement; and (5) misalignment between policy intentions and institutional practice. These themes were evident across interviews, focus group discussions, and document analysis.

Instructor commitment and instructional variability

Participants consistently reported that the course was not delivered in the same way across sections. Some instructors were described as highly committed, actively supervising practical sessions and encouraging participation, whereas others were perceived as less engaged. Differences were also reported in lesson planning, feedback, attendance requirements, and supervision of practical activities.

Instructors and academic leaders associated these differences with the absence of a standardised system for monitoring course delivery. They also noted that the course was sometimes treated as less important than credit-bearing courses, which reduced institutional attention and instructional rigour. Consequently, students enrolled in the same compulsory course experienced different learning conditions.

Weak monitoring and accountability mechanisms

Weak institutional monitoring and accountability emerged as a central theme. Although the Ministry curriculum framework emphasises structured implementation and quality assurance, participants reported limited university-level oversight of course delivery. Classroom observations, performance reviews, and structured reporting were described as irregular or absent.

Document analysis also indicated that institutional guidance did not clearly define the roles, responsibilities, and performance indicators of instructors responsible for the course. This lack of operational guidance limited accountability and allowed inconsistent practices to continue without systematic feedback or corrective action.

Compromised assessment integrity within the pass/fail system

Assessment represented one of the clearest areas of divergence between policy and practice. The pass/fail grading system was intended to encourage participation and reduce performance-related pressure, but participants reported unintended consequences. In

some cases, students were awarded a passing grade despite limited attendance or minimal participation in practical sessions.

Instructors expressed differing views about assessment standards. Some considered that the pass/fail system restricted their ability to distinguish between active and inactive students, whereas others reported pressure to avoid student complaints or additional administrative work. Students also described unclear assessment criteria and perceived differences in grading standards across sections.

Uneven student participation and engagement

Student engagement varied substantially. Some students participated actively in practical sessions and recognised the health benefits of the course. Others reported low motivation, particularly when they believed that consistent attendance and effort were not necessary to obtain a passing grade.

The combination of pass/fail grading and weak enforcement of attendance requirements appeared to encourage a compliance-oriented approach among some students. Rather than viewing the course as an opportunity to develop lifelong physical-activity habits, they treated it as a requirement that could be completed with minimal effort.

Misalignment between policy intentions and institutional practice

The policy documents placed strong emphasis on inclusion, equity, health promotion, and active participation. However, these principles were not consistently reflected in institutional practice. The absence of standardised assessment tools, limited monitoring, and variable instructional commitment contributed to a disconnect between policy goals and classroom realities.

Participants considered the national policy framework to be clear, but emphasised that its implementation required stronger institutional ownership, operational guidance, and systematic quality-assurance mechanisms. Without these supports, course delivery remained fragmented and uneven.

DISCUSSION

This qualitative case study identified substantial gaps between policy intentions and the implementation of the Physical Fitness common course at Bahir Dar University. The principal concerns involved variability in instructional delivery, weak monitoring and accountability, compromised assessment integrity, uneven student engagement, and inconsistent translation of national policy into institutional practice.

Instructional quality and instructor commitment

A major finding was the variability in instructor commitment and course delivery. This observation is consistent with literature emphasising the influence of teacher competence, preparation, and engagement on students' learning experiences and satisfaction (3). Professional development and reflective practice have also been described as important mechanisms for helping physical education teachers clarify learning intentions, evaluate their own practice, and support lifelong participation in physical activity (4). In the present study, the absence of standardised supervision and professional support appears to have amplified differences among course sections.

Monitoring, accountability, and institutional support

The limited monitoring and accountability mechanisms identified in this study indicate that a clear curriculum framework alone is insufficient to ensure consistent implementation. Effective implementation requires structures for supervision, feedback, evaluation, and institutional follow-up. Reflective and systematic pedagogical approaches may help connect curriculum goals with everyday teaching practice (4). Digital tools may also offer opportunities to support teacher competence, documentation, and engagement, although their effectiveness depends on appropriate institutional infrastructure and implementation (5).

Assessment integrity and the pass/fail grading system

The findings raise concerns about the way the pass/fail system was interpreted and applied. Although this approach may reduce performance pressure, insufficiently defined criteria may weaken accountability and encourage minimal participation. Previous work has highlighted the role of assessment in shaping students' motivation and participation in physical education (6). Assessment should therefore communicate clear expectations and distinguish meaningful engagement and learning from simple course completion. More broadly, assessment policies should be aligned with their educational context and intended outcomes (7).

Student motivation and engagement

Uneven participation reflects the close relationship among instructional quality, assessment, motivation, and engagement. Teachers play a central role in supporting students' psychological needs and the quality of their engagement in physical education (8). Evidence based on self-determination theory also suggests that autonomous motivation is associated with the adoption and maintenance of exercise and physical-activity behaviours (9). Student-centred learning environments and active use of digital technology may further support intrinsic motivation and academic engagement (10). These findings indicate that the course should move beyond attendance-based compliance and provide meaningful experiences capable of supporting long-term physical-activity habits.

Policy implementation

The misalignment between national policy and institutional practice is consistent with implementation research showing that clear policy objectives do not automatically translate into effective delivery. Successful implementation also depends on organisational infrastructure, leadership, training, monitoring, feedback, and sustained support for those responsible for delivery (11). In the context of the Physical Fitness common course, stronger institutional ownership and clearer operational guidance are required to translate policy principles into consistent teaching, assessment, and student experiences.

Implications for policy and practice

The findings suggest several priorities. Instructor preparation and continuing professional development should be strengthened to reduce variability in course delivery. Quality-assurance mechanisms should include standardised reporting, periodic classroom or practical-session observation, peer review, and clearly defined responsibilities. Assessment procedures should be revised to balance the motivational intent of pass/fail grading with transparent measures of attendance, participation, learning, and fitness-related outcomes. Finally, the course should incorporate engaging and student-centred pedagogies that help students understand the

personal relevance of physical activity beyond the immediate requirement to pass the course.

Study limitations

The findings should be interpreted within the context of a single university and a purposively selected sample. The qualitative design provides detailed contextual understanding but does not establish the prevalence of the identified problems or allow statistical generalisation to other institutions. In addition, the findings rely partly on participants' perceptions and may be affected by recall or social-desirability bias. Nevertheless, triangulation across interviews, focus groups, and documents strengthened the credibility of the analysis.

CONCLUSIONS

Important discrepancies were identified between national policy intentions and institutional practice in the implementation of the Physical Fitness common course at Bahir Dar University. Although the Ethiopian Ministry of Education framework emphasises participation, equity, health promotion, and lifelong physical activity, implementation was characterised by variable instructor commitment, weak monitoring and accountability, inconsistent assessment, and uneven student engagement.

Bridging these gaps requires stronger institutional quality assurance, clear operational guidance, consistent assessment procedures, professional development for instructors, and engaging student-centred teaching approaches. Improving alignment between policy and practice may strengthen both the educational quality of the course and its capacity to promote sustained physical activity among university students.

RECOMMENDATIONS

- Provide regular professional-development activities to strengthen instructors' pedagogical skills, assessment practices, and shared understanding of course objectives.
- Establish standardised monitoring procedures, including observation of teaching and practical sessions, structured reporting, peer review, and clearly assigned responsibilities.
- Revise the pass/fail assessment system to include transparent and measurable indicators of attendance, participation, learning, and relevant performance outcomes.
- Use interactive and student-centred pedagogies to improve motivation, active participation, and understanding of the long-term health value of physical activity.
- Strengthen collaboration among instructors, course chairs, department leadership, students, and university administrators to ensure that institutional practice reflects Ministry policy.
- Review course implementation periodically using student feedback, instructional data, and emerging evidence, and ensure adequate resources, facilities, and timetable allocation.

DECLARATIONS

Competing interests: The author declares no competing financial interests or personal relationships that could have influenced the work reported in this article.

REFERENCES

1. World Health Organization. Global status report on physical activity 2022 [Internet]. Geneva: World Health

Organization; 2022 [cited 2026 Jun 22]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240059153>

2. Ministry of Education. Harmonized curriculum framework for Ethiopian higher education institutions. Addis Ababa: Ministry of Education; 2021.
3. Villafuerte J, Pérez L, Delgado R. Teacher competencies and their impact on student satisfaction in physical education. *Retos*. 2020;(38):385-92.
4. López-Pastor VM, Pérez-Pueyo Á, Barba-Martín JJ, Lorente-Catalán E. Professional development and reflective practice in physical education: challenges and opportunities. *Retos*. 2016;(30):251-7.
5. Juditya S, Pratiwi I, Zakaria A. Digital tools and innovative pedagogical approaches in physical education: implications for teacher competence and student engagement. *Retos*. 2025;49:1-10.
6. Lioumpi S, Georgiadis G, Mountakis C. The role of assessment in physical education: effects on students' motivation and participation. *Retos*. 2014;(26):53-8.
7. Klassen S. Contextual assessment in science education: background, issues, and policy. *Sci Educ*. 2006;90(5):820-51. doi:10.1002/sce.20150.
8. Curran T, Standage M. Psychological needs and the quality of student engagement in physical education: teachers as key facilitators. *J Teach Phys Educ*. 2017;36(3):262-76. doi:10.1123/jtpe.2017-0065.
9. Teixeira PJ, Carraça EV, Markland D, Silva MN, Ryan RM. Exercise, physical activity, and self-determination theory: a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2012;9:78. doi:10.1186/1479-5868-9-78.
10. Calderón A, Meroño L, MacPhail A. A student-centred digital technology approach: the relationship between intrinsic motivation, learning climate and academic achievement of physical education pre-service teachers. *Eur Phys Educ Rev*. 2020;26(1):241-62. doi:10.1177/1356336X19850852.
11. Fixsen DL, Naoom SF, Blase KA, Friedman RM, Wallace F. Implementation research: a synthesis of the literature. Tampa (FL): University of South Florida, Louis de la Parte Florida Mental Health Institute, National Implementation Research Network; 2005. FMHI Publication No. 231.

Originals

Strength and adiposity as health markers: University sports as a modulator in Northeastern Brazilian students



Danilo Pereira do Nascimento^a , Jamile Vitoria Braga Silva^a , Nimara Inácio da Cruz Sousa^a ,
Francisco Adelvane de Paulo Rodrigues^{a,b,*} 

^a Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará, Brazil.

^b Postgraduate Program in Cardiovascular Sciences, Federal University, Brazil.

ABSTRACT

Introduction: Physical fitness is a multidimensional health indicator, yet the impact of university sports participation on specific morphological and functional biomarkers remains insufficiently investigated in regional contexts such as Northeastern Brazil. **Objective:** To compare morphological and functional health indicators between student-athletes and non-athletes from the Federal Institute of Ceará and examine the role of sports participation in modulating key components of health-related physical fitness. **Methods:** A cross-sectional study was conducted with university students classified as student-athletes (n = 22) or non-athletes (n = 33). Physical fitness was assessed using the sit-and-reach test, as well as right/left handgrip, shoulder-girdle, and back-leg-chest dynamometry for muscular strength, and multifrequency bioelectrical impedance analysis for body composition and basal metabolic rate. **Results:** No significant differences in flexibility were observed between groups. Muscular strength was primarily influenced by biological sex (p < 0.0001), although student-athletes showed greater shoulder-girdle strength (40.83 ± 2.65 vs. 30.15 ± 2.22 kgf; p = 0.011) and back-leg-chest strength (114.3 ± 6.84 vs. 89.5 ± 7.41 kgf; p = 0.0192). Non-athlete women had a higher visceral fat index than women student-athletes (12.06 ± 1.04 vs. 5.16 ± 0.90; p = 0.013). Basal metabolic rate was higher in men because of their greater lean mass (p < 0.0001) but did not differ according to sports participation. **Conclusion:** University sports participation was associated with greater global muscular strength and lower visceral adiposity in women, supporting its role as a modulator of health-related physical fitness.

Keywords: muscle strength; health promotion; intra-abdominal fat; athletes; students.

Força e adiposidade como marcadores de saúde: o esporte universitário como modulador em estudantes do Nordeste brasileiro

RESUMO

Introdução: A aptidão física é um indicador multidimensional de saúde, mas o impacto da participação esportiva universitária em biomarcadores morfológicos e funcionais específicos permanece pouco investigado em contextos regionais como o Nordeste brasileiro. **Objetivo:** Comparar indicadores morfológicos e funcionais de saúde entre estudantes-atletas e não atletas do Instituto Federal do Ceará e examinar o papel da participação esportiva na modulação dos principais componentes da aptidão física relacionada à saúde. **Métodos:** Foi realizado um estudo transversal com estudantes universitários classificados como estudantes-atletas (n = 22) ou não atletas (n = 33). A aptidão física foi avaliada pelo teste de sentar e alcançar, dinamometria de preensão manual direita e esquerda, dinamometria escapular e dorsal-lombar e bioimpedância elétrica multifrequencial para composição corporal e taxa metabólica basal. **Resultados:** Não foram observadas diferenças significativas na flexibilidade entre os grupos. A força muscular foi influenciada principalmente pelo sexo biológico (p < 0,0001), embora os estudantes-atletas apresentassem maior força escapular (40,83 ± 2,65 vs. 30,15 ± 2,22 kgf; p = 0,011) e dorsal-lombar (114,3 ± 6,84 vs. 89,5 ± 7,41 kgf; p = 0,0192). Mulheres não atletas apresentaram maior índice de gordura visceral do que mulheres estudantes-atletas (12,06 ± 1,04 vs. 5,16 ± 0,90; p = 0,013). A taxa metabólica basal foi maior nos homens devido à maior massa magra (p < 0,0001), mas não diferiu segundo a participação esportiva. **Conclusão:** A participação esportiva universitária esteve associada a maior força muscular global e menor adiposidade visceral em mulheres, apoiando seu papel como modulador da aptidão física relacionada à saúde.

* Corresponding author: Francisco Adelvane de Paulo Rodrigues. E-mail: limes@ifce.edu.br (Francisco Adelvane de Paulo Rodrigues)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v19i1.1239>

ISSN-e: 1888-7546/ © 2026 Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía.

Palabras-chave: força muscular; promoção da saúde; gordura intra-abdominal; atletas; estudantes.

Fuerza y adiposidad como marcadores de salud: el deporte universitario como modulador en estudiantes del noreste brasileño

RESUMEN

Introducción: La condición física es un indicador multidimensional de salud, pero el impacto de la participación deportiva universitaria sobre biomarcadores morfológicos y funcionales específicos sigue estando poco investigado en contextos regionales como el noreste brasileño. **Objetivo:** Comparar indicadores morfológicos y funcionales de salud entre estudiantes deportistas y no deportistas del Instituto Federal de Ceará y examinar el papel de la participación deportiva en la modulación de los principales componentes de la condición física relacionada con la salud. **Métodos:** Se realizó un estudio transversal con estudiantes universitarios clasificados como deportistas ($n = 22$) o no deportistas ($n = 33$). La condición física se evaluó mediante el test de sentarse y alcanzar, dinamometría de presión manual derecha e izquierda, dinamometría escapular y dorsolumbar y bioimpedancia eléctrica multifrecuencia para la composición corporal y la tasa metabólica basal. **Resultados:** No se observaron diferencias significativas en la flexibilidad entre los grupos. La fuerza muscular estuvo influida principalmente por el sexo biológico ($p < 0,0001$), aunque los estudiantes deportistas presentaron mayor fuerza escapular ($40,83 \pm 2,65$ vs. $30,15 \pm 2,22$ kgf; $p = 0,011$) y dorsolumbar ($114,3 \pm 6,84$ vs. $89,5 \pm 7,41$ kgf; $p = 0,0192$). Las mujeres no deportistas presentaron un índice de grasa visceral mayor que las mujeres deportistas ($12,06 \pm 1,04$ vs. $5,16 \pm 0,90$; $p = 0,013$). La tasa metabólica basal fue mayor en los hombres debido a su mayor masa magra ($p < 0,0001$), pero no difirió según la participación deportiva. **Conclusión:** La participación deportiva universitaria se asoció con una mayor fuerza muscular global y una menor adiposidad visceral en las mujeres, lo que respalda su papel como modulador de la condición física relacionada con la salud.

Palabras clave: fuerza muscular; promoción de la salud; grasa intraabdominal; deportistas; estudiantes.

INTRODUCTION

Physical inactivity and sedentary behavior within the educational context represent an urgent global public health challenge, severely affecting the metabolic and functional health of students.¹ Robust evidence indicates that prolonged periods of sedentary time trigger adverse metabolic changes, such as insulin resistance and systemic inflammation, while compromising cardiorespiratory fitness and quality of life in both the short and long term.² Beyond the clinical impact, physical inactivity imposes an alarming economic burden on healthcare systems. Projections suggest that if current prevalence rates remain unchanged, 499.2 million new cases of preventable non-communicable diseases will occur globally by 2030, incurring direct costs of US\$ 520 billion. The annual cost of physical inaction is estimated at approximately US\$ 47.6 billion, with 74% of new cases concentrated in low- and middle-income countries, although high-income nations absorb 63% of the economic costs.³

Replacing sedentary behavior with various forms of physical activity is an effective strategy to reduce all-cause and cause-specific mortality. Chang et al.⁴ demonstrated that even minor shifts from sedentary time to light or moderate activities are associated with significant health benefits, while vigorous exercise further enhances risk reduction. In this context, the World Health Organization (WHO) guidelines reinforce that regular physical activity is essential across all age groups, establishing minimum thresholds for health maintenance. Adults should accumulate 150 to 300 minutes of moderate-intensity aerobic physical activity per week, or 75 to 150 minutes of vigorous activity. For children and adolescents aged 5 to 17, at least 60 minutes of daily moderate-to-vigorous activity is required, including exercises that strengthen muscles and bones.⁵

Within the educational framework, sports participation is a vital tool for mitigating the negative health outcomes affecting students, including high stress levels and comorbidities associated with hypokinesia.^{6,7} It is well-documented that sports engagement develops the core components of health-related physical fitness: skeletal muscle strength, flexibility, cardiorespiratory endurance, and body composition. These elements are essential for quality of life, occupational performance, and longevity.⁸ Therefore, the

stratification of these components can directly reflect the health status and quality of life of the student population.

In middle-income countries like Brazil, there is a historical challenge in addressing issues that hinder student well-being, such as mental illness, low socioeconomic status, and multi-causal morbidities.^{9,10} These factors contribute to high dropout rates and low academic efficiency. In response, the Federal Institutes of Education—a public network of vocational and technological education spread across the country—have adopted sports policies to promote student-athlete development. A key initiative is the Games of the Federal Institutes (JIF), which foster school and university sports with significant regional representation.¹¹ The primary objectives of the JIF include combating attrition, increasing student retention, and reducing indicators of sedentary behavior and physical inactivity across diverse social contexts.

Despite the institutional importance of these programs, there is a historical lack of data reporting the efficiency of university sports in Brazil, particularly within the public network of the Northeast region and the state of Ceará. In this scenario, stratifying health-related physical fitness components serves as a valuable indicator of the impact of sports practice on organic health. Such data hold relevance beyond the socio-educational domain, directly affecting the physiological development of individuals in training. Thus, this study aimed to compare morphological and functional health indicators between student-athletes and non-athletes from the Brazilian Federal Education network. It is hypothesized that student-athletes exhibit superior physical fitness profiles compared to their non-athlete peers, supporting the role of sports as a health mediator in the public technological education system.

METHODOLOGY

Study Design and Ethical Considerations

This is an observational, cross-sectional, and descriptive study with a quantitative approach, conducted with students from the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Ceará.

Table 1. Sociodemographic and anthropometric characteristics of the study sample.

Variables	Student-athlete, % (n)	Non-athlete, % (n)
Women	10.91% (6)	30.91% (17)
Men	29.09% (16)	29.09% (16)
Single	38.18% (21)	52.73% (29)
Married	—	3.64% (2)
Other	1.82% (1)	3.64% (2)
Canindé Sertões	32.73% (18)	43.64% (24)
Fortaleza Metropolitan Region	7.27% (4)	16.36% (9)
Age (years)	23.45 ± 0.54	22.45 ± 0.47
Body mass (kg)	68.85 ± 2.89	71.61 ± 2.42

Values are presented as percentages and frequencies for categorical variables and as mean ± standard error of the mean for continuous variables. Student-athletes participated in the Games of the Federal Institute of Ceará; non-athletes had no history of participation in institutional sports competitions. No significant between-group differences were observed for age or body mass ($p > 0.05$).

The experimental protocol was approved by the host institution's Human Research Ethics Committee (CAEE: 75209723.0.0000.5589). The sample was selected by convenience from the Canindé and Fortaleza campuses, comprising 55 men and women aged over 18 years.

Experimental Design and Groups

For comparative analysis, participants were stratified into two groups:

- i) Student-Athlete Group: Students who actively participated in the state-level stage of the Games of the Federal Institute of Ceará. Selection was based on participation in the most recent state stage held in Juazeiro do Norte, Ceará (n = 22; 16 men, 6 women).
- ii) Non-Athlete Group: Students with no history of participation in institutional sports competitions (n = 33; 16 men, 17 women).

Data collection was performed during the morning period to minimize circadian variations. The assessment flow followed a standardized sequence: (1) posterior chain flexibility, (2) static muscle strength, and (3) multifrequency bioelectrical impedance.

Flexibility Assessment

Posterior chain flexibility was verified using the Sit-and-Reach test on a Wells Bench.¹² Participants performed three trials of anterior trunk flexion with knees in full extension, and the best mark in centimeters (cm) was recorded. The bench (MDF) featured standardized dimensions of 20 cm (W) x 75 cm (L) x 34 cm (D).

Muscle Strength Assessment

Static strength was measured using Crown dynamometers (Filizola, Brazil), which were previously calibrated by the commercial supplier to ensure measurement precision.¹³

Handgrip Strength: Assessed with a handgrip dynamometer (100 kgf capacity), with three alternating measures between limbs and a one-minute rest interval. **Shoulder Girdle Strength:** Measured with a traction dynamometer (100 kgf) while the individual stood in an orthostatic position with shoulders abducted at 90°. **Back-leg-chest:** Evaluated with a dorsal dynamometer (200 kgf capacity), with knees slightly flexed and vertical traction applied. In all tests, the peak value in kilogram-force (kgf) was recorded for analysis.

Body Composition Assessment (Multifrequency Bioimpedance)

Morphometabolic analysis was performed via tetrapolar bioelectrical impedance analysis (BIA) using the InBody 120 multifrequency segmental analyzer (Biospace Co. Ltd., Seoul, Korea). The device uses an 8-point tactile electrode system (four for each hand and foot) and operates at frequencies of 20 kHz and 100 kHz, with an applied current of 150 A (+50 A). This technology allows for the direct impedance measurement of each of the body's five cylinders (arms, legs, and trunk), eliminating the need for empirical estimations based on age or sex for body composition calculations. Body fat mass, skeletal muscle mass, total body water, body fat percentage, and basal metabolic rate were determined. Participants were instructed to fast and maintain an empty bladder prior to the assessment.¹⁴

Statistical Analysis

Data are expressed as the mean ± standard error of the mean (SEM). After verifying data normality and homogeneity, a one-way Analysis of Variance (ANOVA) was applied, followed by Tukey's post hoc test for multiple comparisons. Inferential analyses and graphical representations were performed using GraphPad Prism 8.0 software, with a significance level set at $p < 0.05$.

RESULTS

Sample Characteristics

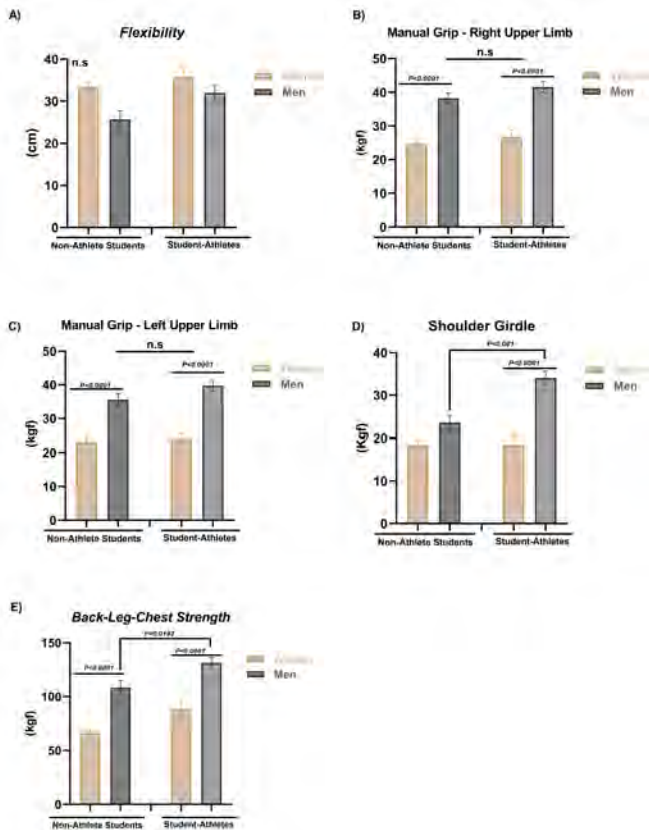
The demographic and anthropometric characteristics of the participants are summarized in Table 1. The total sample consisted of 55 students, with a higher prevalence of males (58.18%) compared to females (41.82%). Regarding marital status, the vast majority of the participants were single (90.91%). Geographically, most students were from the Canindé Sertões (76.36%), followed by the metropolitan region of Fortaleza (23.64%).

When comparing the groups, the Student-Athlete group showed a mean age of 23.45 ± 0.54 years and a body mass of 68.85 ± 2.89 kg. The Non-Student-Athlete group presented a mean age of 22.45 ± 0.47 years and a body mass of 71.61 ± 2.42 kg. Statistical analysis revealed no significant differences between groups for age or body mass, with p-values exceeding 0.05 for both anthropometric variables.

Flexibility and Muscular Strength

No statistically significant differences were observed in flexibility levels. Among non-athletes, females scored 33.32 ± 1.37 cm and males 25.72 ± 2.01 cm. In the athlete group, results were similar (35.67 ± 2.41 cm for females vs. 31.98 ± 1.97 cm for males) (Figure 1A).

Regarding muscular strength, biological sex was the primary determinant. Handgrip strength (HGS) in the right arm showed no significant difference by sports participation, but a marked difference by sex: men athletes reached 41.56 ± 1.59 kgf compared to 26.75 ± 1.97 kgf in females ($p = 0.0001$). Similar patterns were found for the left arm. However, sports participation significantly enhanced specific dimensions: shoulder girdle strength was higher in men athletes (34.08 ± 1.55 kgf) compared to non-athletes (23.62 ± 1.70 kgf; $p = 0.001$). For back-leg-chest strength, men athletes also excelled (131.3 ± 4.88 kgf vs. 108.6 ± 6.62 kgf in non-athletes; $p = 0.0192$) (Figure 1 B-E).

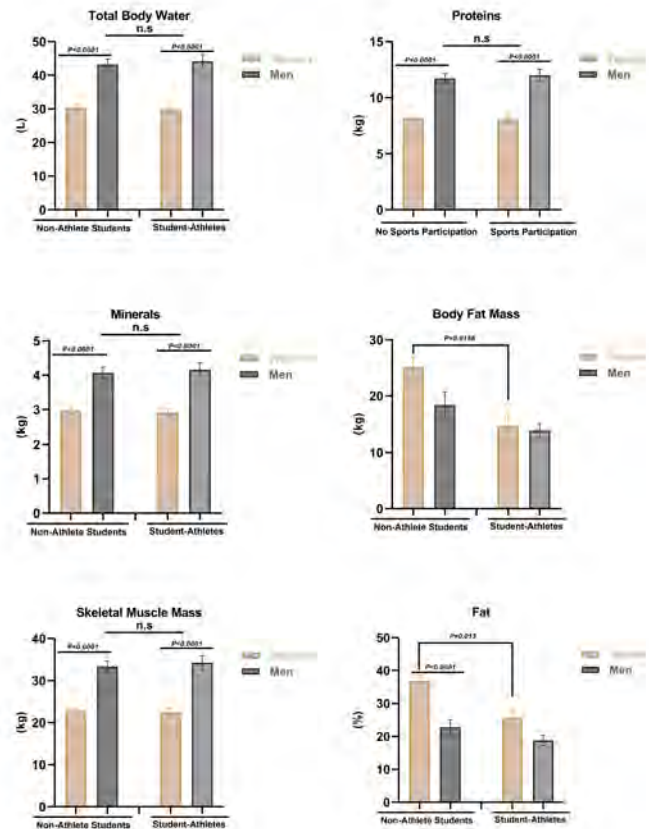


Panels show (A) flexibility, (B) right handgrip strength, (C) left handgrip strength, (D) shoulder-girdle strength, and (E) back-leg-chest strength. Values are mean \pm SEM. Group comparisons were performed using one-way ANOVA followed by Tukey's post hoc test. Statistical significance was set at $p < 0.05$; n.s., not significant.

Figure 1. Flexibility and muscular strength according to biological sex and university sports participation.

Body Composition and Metabolism

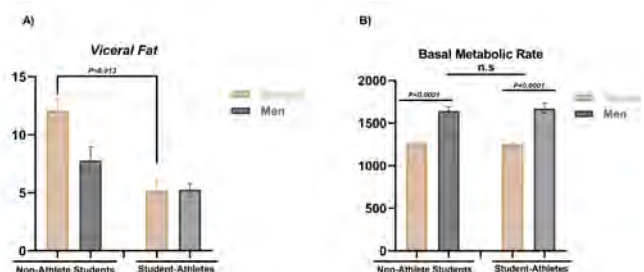
Figure 2 presents the interaction between biological sex and sports participation for structural and adiposity-related body-composition variables. Total body water, protein mass, mineral mass, and skeletal muscle mass were consistently higher in men than in women ($p < 0.0001$), whereas no significant differences were observed between athletes and non-athletes within the same sex for these variables. In contrast, sports participation was associated with lower adiposity among women: women student-athletes had lower body fat mass than non-athlete women ($p = 0.0156$) and a lower body fat percentage ($25.57 \pm 2.48\%$ vs. $36.83 \pm 1.79\%$; $p = 0.013$). These differences were not statistically significant among men (Figure 2).



Comparative analysis of total body water, protein mass, mineral mass, skeletal muscle mass, body fat mass, and body fat percentage. Values are mean \pm SEM. Comparisons were performed using one-way ANOVA followed by Tukey's post hoc test. Statistical significance was set at $p < 0.05$; n.s., not significant.

Figure 2. Interaction between biological sex and university sports participation for body-composition variables.

Figure 3 shows the visceral fat index and basal metabolic rate. Non-athlete women had a significantly higher visceral fat index than women student-athletes (12.06 ± 1.04 vs. 5.16 ± 0.90 ; $p = 0.013$). Among men, the visceral fat index was lower in student-athletes than in non-athletes (5.26 ± 0.56 vs. 7.78 ± 1.18), although this difference was not statistically significant. Basal metabolic rate followed the pattern of skeletal muscle mass and was significantly higher in men than in women ($p < 0.0001$), with no significant effect of sports participation (Figure 3).



Panels show (A) visceral fat index and (B) basal metabolic rate (kcal/day). Values are mean \pm SEM. Comparisons were performed using one-way ANOVA followed by Tukey's post hoc test. Statistical significance was set at $p < 0.05$; n.s., not significant.

Figure 3. Visceral adiposity and basal metabolic rate according to biological sex and university sports participation.

DISCUSSION

The present study highlights the impact of sports practice on health-related physical fitness components among university students. Our results indicate that participation in sports activities within an educational context is associated with superior morphofunctional health indicators. These findings are particularly noteworthy as they were measured in students participating and not participating in sports-based educational actions within the Brazilian federal education system. The analysis revealed significant structural and functional differences, specifically regarding strength patterns and body fat indices.

These findings reflect the influence of distinct socio-environmental and economic conditions between student-athletes and non-athletes, a disparity that underscores the urgent need for public policies focused on education and health. In this scenario, measuring physical fitness components emerges as a pivotal strategy, favored by the accuracy and non-invasive nature of the techniques, as well as their significant capacity to predict health outcomes within the formative environment.¹⁵ Such a preventive approach becomes even more critical when laboratory clinical evaluations are unfeasible due to high costs and associated risks.¹⁶

Sports programs within educational and university institutions are essential. The Federal Institute Games (JIFs), designed for both educational and health-related contexts, serve as a strategic tool to consolidate the positive effects of physical exercise on student development, despite limited data on their specific health outcomes.¹⁷ The present analysis highlights the cross-sectional behavior of health-related variables previously unexamined in studies regarding the Federal Institute of Ceará Games (JIFCE). Furthermore, evidence suggests that sports participation in competitions fosters motivation and discipline, which often translate into superior academic performance.¹⁸ These factors are crucial for enhancing psycho-behavioral health, an aspect of paramount importance given the high prevalence of mental health disorders within educational networks.¹⁹

Beyond athletic performance, exercise in the educational-sporting context significantly contributes to combating sedentary behavior and cardiometabolic diseases, which often manifest silently during the student phase.²⁰ In this context, the American College of Sports Medicine (ACSM) guidelines recommend increasing physical activity levels to improve the five components of health-related physical fitness: muscular strength, flexibility, body composition, muscular endurance, and cardiorespiratory fitness.⁸ Following these recommendations, this study evaluated flexibility levels, muscular strength, and body composition patterns, including the derivation of basal metabolic rate from body indices.

Historically, flexibility is a fundamental component of physical fitness and athletic performance, associated with joint mobility, movement efficiency, and injury prevention. It serves as a quality-of-life indicator by favoring functional autonomy, reinforcing its relevance in sports and rehabilitation.²¹ Although no statistically significant difference was found, the investigated population showed a trend toward higher flexibility levels among student-athletes. Furthermore, a difference influenced by biological sex was noted, with women participants presenting higher values. Recent approaches confirm this component as fundamental for health and longevity.²² According to Delgado Valdivia et al.,²³ flexibility is generally higher in women and tends to decrease progressively with age and educational trajectory, reinforcing the need for programs that maintain mobility throughout academic life.

The musculoskeletal structure is essential for daily activities; thus, measuring muscle mass and its capacity to generate force is clinically relevant.⁸ In this study, a significant difference was detected between the strength levels of men and women during the dynamometry assays. Handgrip strength (HGS) should be integrated into clinical practice as a new "vital sign," as it reflects functional

status and global physiological reserve, allowing for the early identification of risks for cardiometabolic diseases and sarcopenia.²⁴

Although no differences in distal strength were observed between athletes and non-athletes, this methodological application consolidates itself as a predictive health tool. Conversely, sporting experiences were associated with higher strength levels in multi-joint structures, such as the shoulder girdle and the back-leg-chest region. Muscular strength is a robust predictor of long-term survival, given that reduced levels are associated with a higher risk of all-cause mortality.²⁵ Thus, strength assessment serves as a functional indicator of general health and should be incorporated into clinical monitoring programs and health promotion policies. In educational environments, strength also relates to psychosocial aspects such as resilience and discipline, promoting integral well-being and academic performance.²⁶

Body composition analysis complements functional variables.²⁷ Currently, metabolic alterations impact diseases such as obesity, which contributes to high mortality rates among university students.²⁸ It was found that male students showed similar body-composition profiles (total water, proteins, and minerals), but showed statistical differences compared to females. Skeletal muscle mass values differed primarily by biological sex rather than sports participation, which may justify the strength results found. These data reinforce that body composition analysis is an essential parameter for understanding the relationship between performance and health.⁸

Regarding fat morphology, a significant variation in fat mass distribution and percentage was documented between women athletes and non-athletes. Excess adiposity in university students is associated with increased chronic disease risk, often aggravated by inadequate dietary habits.²⁹ The present study detected elevated levels of visceral fat in non-athletes. Visceral fat, the primary determinant of abdominal obesity, represents a critical risk factor for mortality and intensifies systemic inflammatory processes.³⁰ This evidence highlights the necessity of continuous body composition monitoring and interventions aimed at reducing abdominal adiposity to promote health and better psycho-emotional balance.²⁹

Finally, the BMR, assessed via bioelectrical impedance analysis (BIA), did not vary between athletes and non-athletes but was significantly higher in males due to greater muscle mass. Measuring BMR is essential for tailoring nutritional and training strategies; thus, biological sex must be considered to ensure precision in planning interventions aimed at holistic well-being (O'Neill et al., 2023).³¹ In summary, the analyzed components showed better scores in students participating in university games. Despite limitations such as geographical distance and academic calendar interruptions, this study emphasizes the potential of these non-invasive methods for monitoring health in the formative context, enabling more robust future longitudinal research. Furthermore, the relevance of this investigation lies in the integration of body composition analysis — which quantifies and qualifies the distribution of different body tissues — with the assessment of muscular strength; this approach allows for the functional validation of the measured lean mass quality and its modulating role in student health.

CONCLUSION

Physical fitness assessment revealed significant disparities between student-athletes and non-athletes, with muscle strength and visceral fat distribution emerging as the primary health markers. These findings suggest that institutional sports participation acts as a protective factor against metabolic risks in the academic environment. Furthermore, the use of non-invasive screening methods proves to be an effective strategy for monitoring student health, aligning educational institutions with global guidelines for health promotion and chronic disease prevention.

Award id

PRH-00212-00058.01.00/23

Funding

This research was supported by the Ceará Foundation for the Support of Scientific and Technological Development (FUNCAP) through the Pró-Humanidades programme (grant PRH-00212-00058.01.00/23).

Funded by: Ceará Foundation for the Support of Scientific and Technological Development (FUNCAP)

DECLARATIONS

Ethics approval and consent to participate: The study was approved by the Human Research Ethics Committee of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará (CAAE: 75209723.0.0000.5589). All participants provided written informed consent before data collection.

Conflicts of interest: The authors declare no competing interests.

Funding: This research was supported by the Ceará Foundation for the Support of Scientific and Technological Development (FUNCAP) through the Pró-Humanidades programme (grant PRH-00212-00058.01.00/23).

Acknowledgements: The authors thank FUNCAP for the financial and institutional support provided throughout the project.

REFERENCES

- Guerriero MA, Dipace A, Monda A, et al. Relationship between sedentary lifestyle, physical activity and stress in university students and their life habits: a scoping review with PRISMA-ScR. *Brain Sci.* 2025;15:78. doi:10.3390/brainsci15010078.
- Ekelund U, Tarp J, Steene-Johannessen J, et al. Dose-response associations between accelerometry measured physical activity and sedentary time and all-cause mortality: systematic review and harmonised meta-analysis. *BMJ.* 2019;366:14570. doi:10.1136/bmj.l4570.
- Santos AC, Willumsen J, Meheus F, et al. The cost of inaction on physical inactivity to public health-care systems. *Lancet Glob Health.* 2023;11:e32-e39. doi:10.1016/S2214-109X(22)00464-8.
- Chang Q, Zhu Y, Liu Z, et al. Replacement of sedentary behavior with various physical activities and the risk of all-cause and cause-specific mortality. *BMC Med.* 2024;22:385. doi:10.1186/s12916-024-03599-2.
- Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med.* 2020;54:1451-1462. doi:10.1136/bjsports-2020-102955.
- Jebrini T, Manz K, Koller G, Pogarell O, Bondy B, Haschke A. Psychiatric comorbidity and stress in medical students using neuroenhancers. *Front Psychiatry.* 2021;12:771126. doi:10.3389/fpsy.2021.771126.
- Martland R, Teasdale S, Murray RM, et al. Dietary intake, physical activity and sedentary behaviour patterns in a sample with established psychosis and associations with mental health symptomatology. *Psychol Med.* 2023;53:1565-1575. doi:10.1017/S0033291721003147.
- Ozemek C, Arena R, Lavie CJ, Myers J. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 11th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2025.
- Ludermir AB, Lewis G. Links between social class and common mental disorders in Northeast Brazil. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol.* 2001;36:101-107. doi:10.1007/s001270050297.
- Olivares-Tirado P. Multiple long-term conditions, multimorbidity and socioeconomic inequalities in the adult population in Brazil: a gender perspective. *LJRHS.* 2025;25:1-20.
- Nobre VNB, Silva LNB, Pessoa ARR. The Games of the Federal Institute of Ceará: visions of academics of the degree course in physical education. *Cenas Educacionais.* 8(e20459). 2025. doi:10.5281/zenodo.14798266.
- Silva FHGT. Comparação de desempenho de agilidade, flexibilidade e força muscular de iniciantes universitários em voleibol submetidos a treino resistido. 2023.
- Maia TO, Cavalcanti TR, Fonsêca NT, Duarte WBA, Côelho AC. Força muscular lombar: análise comparativa entre indivíduos saudáveis, sedentários e indivíduos com lombalgia inespecífica. *Assoc Posturol Int.* 2013;506.
- Oliosia PR, Carvalho FP, Castro IRR, et al. Relationship between body composition and dyslipidemia in children and adolescents. *Cien Saude Colet.* 2019;24:3743-3752.
- Glanz K, Rimer BK, Viswanath K. Health behavior and health education: theory, research, and practice. 4th ed. Hoboken: Wiley; 2008.
- Münste E, Zhang X, Khurana A, Hartmann P. Prevalence of extremely severe obesity and metabolic dysfunction among US children and adolescents. *JAMA Netw Open.* 2025;8:e2521170. doi:10.1001/jamanetworkopen.2025.21170.
- Veiga RS, Klug RH, Dantas L, Pinheiro ES. Motivação e aderência à prática esportiva em alunos dos Institutos Federais. *RBPFE.* 2024;18:425-429.
- Nobre VNB, Silva LNB, Pessoa ARR. Os Jogos do Instituto Federal do Ceará (JIFCE) e sua relação com o rendimento acadêmico. *Praxia (UEG).* 2025;7:e2025001.
- Lima JDD, Plácido J, Andrade B, et al. Intersectionality and mental health in university students: a jeopardy index approach. *Rev Saude Publica.* 2025;59:e234327. doi:10.11606/s1518-8787.2025059006197.
- Savage MJ, Procter EL, Hennis P, et al. Prevalence of adverse cardiometabolic health markers in UK undergraduate university students. *BMJ Open.* 2025;15:e089771. doi:10.1136/bmjopen-2024-089771.
- Porta J. El desarrollo de las capacidades físicas: la flexibilidad. *Apunts Educ Fis Esports.* 1987;1:4-6.
- Zhang Y, Zhang C, Hu J, et al. Associations between upper limb flexibility and all-cause mortality in the oldest-old. *J Glob Health.* 2025;15:04224. doi:10.7189/jogh.15.04224.
- Delgado Valdivia O, Martín Cañada MA, Zurita Ortega F, et al. Changes in flexibility according to gender and educational stage. *Apunts Sports Med.* 2009;44:10-17.
- Vaishya R, Misra A, Vaish A, et al. Hand grip strength as a proposed new vital sign of health: a narrative review. *J Health Popul Nutr.* 2024;43:7. doi:10.1186/s41043-024-00500-y.
- Chai L, Zhang D, Fan J. Comparison of grip strength measurements for predicting all-cause mortality among adults aged 20+ years from the NHANES 2011-2014. *Sci Rep.* 2024;14:29245. doi:10.1038/s41598-024-80487-y.
- Sasayama K, Imura T, Adachi M, et al. Positive relationships of character strengths with fitness and physical activity in primary school children. *Health Psychol Behav Med.* 2023;11:2278290. doi:10.1080/21642850.2023.2278290.
- Pons V, Riera J, Galilea PA, et al. Características antropométricas, composición corporal y somatotipo por

- deportes. *Apunts Med Esport*. 2015;50:65-72. doi:10.1016/j.apunts.2015.01.002.
28. Dejhalla E, Zavidic T, Popovic B, et al. Prevalence of metabolic syndrome among students: associations with dietary habits, physical activity, and sociodemographic factors. *J Clin Med*. 2025;14:4389. doi:10.3390/jcm14134389.
 29. Ruiz-Bravo P, Garcia-Merino S, Rodriguez-Rodriguez B, et al. Sex-related perception of body image, attitude toward food, and nutritional status of university students and their relationship with physical activity level. *Front Psychol*. 2025;16:1567566. doi:10.3389/fpsyg.2025.1567566.
 30. Zhang Q, Wang Y, Liu S, et al. Mortality risk associated with general and central obesity in inflammatory bowel disease patients. *Int J Obes*. 2025;49:2303-2310. doi:10.1038/s41366-025-01879-2.
 31. O'Neill JER, Corish CA, Horner K. Accuracy of resting metabolic rate prediction equations in athletes: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med*. 2023;53:2373-2398. doi:10.1007/s40279-023-01896-z.



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

<https://www.juntadeandalucia.es/deporte/ramd>



Revisiones

Análise estrutural e dinâmica no ataque coletivo do Handebol de Alto Nível: uma revisão sistemática



Fernando José de Sá Pereira Guimarães^a, Luvanor Santana da Silva^{b,c,*}, Iberê Caldas Souza Leão^d

^a Universidade de Pernambuco-UPE, Faculdade Pernambucana de Saúde, Brasil.

^b UNIFACOL - Centro Universitário Facol, Brasil.

^c Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Fisiologia da Universidade Federal de Pernambuco, UFPE/CAV, Brasil.

^d Universidade Federal de Pernambuco-Centro Acadêmico de Vitória- UFPE/CAV, Brasil.

RESUMO

Introdução: No handebol há análise do treino, a exemplo, ataque 7×6 com gol vazio. **Objetivo:** Sintetizar a evolução tática no handebol, identificando tendências, efeitos de regras e marcadores de eficácia. **Método:** Revisão sistemática em PubMed/PMC, MDPI, Frontiers/T&F e literatura cinzenta qualificada. Termos combinados, *handball, offensive tactics, positional attack, 7 vs 6, empty goal, passing network, polar coordinates, offensive effectiveness*. **Resultados:** 27 Estudos atenderam aos critérios. Quatro eixos emergiram: (1) Regra do “empty goal” e seus efeitos situacionais/risco-benefício; (2) Padrões de rede de passes e centralidade dos armadores/pivôs em ataque posicional; (3) Marcadores de eficácia ofensiva que diferenciam vencedores dos perdedores; (4) Modelos analíticos complexos para compreensão de interações e decisão. **Conclusão:** Combina-se o uso do 7×6, segundo pivô, amplitude dos pontas, refinamento da circulação de bola e leitura situacional suportada por análise de dados. O 7×6 oferece vantagem, mas depende de placar/tempo, aumentando o risco de sofrer gols.

Palavras-chave: Esporte; treinamento; eficácia; evolução.

Structural and dynamic analysis of the collective attack in high-level handball: a systematic review

ABSTRACT

Introduction: In handball, there is analysis of training, for example, the 7x6 attack with an empty goal. **Objective:** To synthesize the tactical evolution in handball, identifying trends, rule effects, and effectiveness markers. **Method:** Systematic review in PubMed/PMC, MDPI, Frontiers/T&F, and qualified grey literature. Combined terms: handball, offensive tactics, positional attack, 7 vs 6, empty goal, passing network, polar coordinates, offensive effectiveness. **Results:** 27 studies met the criteria. Four axes emerged: (1) The “empty goal” rule and its situational/risk-benefit effects; (2) Passing network patterns and centrality of playmakers/pivots in positional attack; (3) Offensive effectiveness markers that differentiate winners from losers; (4) Complex analytical models for understanding interactions and decision-making. **Conclusion:** The use of the 7x6 system, second pivot, width of wingers, refinement of ball circulation, and situational reading supported by data analysis are combined. The 7x6 format offers an advantage, but it depends on the score/time, increasing the risk of conceding goals.

Keywords: Sport; training; effectiveness; evolution.

Análisis estructural y dinámico del ataque colectivo en balonmano de alto nivel: una revisión sistemática

RESUMEN

Introducción: En balonmano, se analiza el entrenamiento, por ejemplo, el ataque 7x6 con portería vacía. **Objetivo:** Sintetizar la evolución tática en balonmano, identificando tendencias, efectos de las reglas y marcadores de efectividad. **Método:** Revisión sistemática en PubMed/

* **Autor Correspondente: Nome:** Luvanor Santana da Silva, **E-mail:** luvanor.silva@ufpe.br (Luvanor Santana da Silva)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v19i1.1229>

ISSN-e: 1888-7546/ © 2026 Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía.

PMC, MDPI, Frontiers/T&F y literatura gris cualificada. Términos combinados: balonmano, tácticas ofensivas, ataque posicional, 7x6, portería vacía, red de pases, coordenadas polares, efectividad ofensiva. **Resultados:** Veintisiete estudios cumplieron los criterios. Surgieron cuatro ejes: (1) La regla de la "portería vacía" y sus efectos situacionales/riesgo-beneficio; (2) Patrones de la red de pases y centralidad de los jugadores/pívots en el ataque posicional; (3) Marcadores de efectividad ofensiva que diferencian a los ganadores de los perdedores; (4) Modelos analíticos complejos para comprender las interacciones y la toma de decisiones. **Conclusión:** Se combinan el uso del sistema 7x6, el segundo pivote, la amplitud de los extremos, el refinamiento de la circulación del balón y la lectura situacional, con apoyo del análisis de datos. El formato 7x6 ofrece una ventaja, pero depende del marcador/tiempo, aumentando el riesgo de recibir goles.

Palabras clave: Deporte; entrenamiento; eficacia; evolución.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o handebol de alto nível tem experimentado uma transformação tática significativa, em que o caráter coletivo do jogo, as interações entre jogadores e as decisões situacionais ganham protagonismo. A literatura recente aponta para uma transição em direção a modelos complexos e adaptativos de jogo, nos quais a organização ofensiva não é apenas predeterminada por um esquema fixo, mas emerge dos arranjos dinâmicos entre armadores, pivôs e pontas, dos condicionamentos defensivos do adversário e das variáveis contextuais (tempo, placar, fadiga)¹.

Em 2016, uma mudança normativa introduziu a possibilidade de substituição rápida goleiro — jogador de linha (jogo sem goleiro, "gol vazio"), criando a opção tática do ataque 7x6. Essa alteração passou a permitir às equipes a formação ofensiva com superioridade numérica, mas também impôs novo dilema de risco/retorno². A adoção dessa regra abriu janelas táticas adicionais, exigindo dos treinadores a capacidade de decidir quando e como explorar o 7x6, equilibrando ganho potencial com a vulnerabilidade de sofrer gols em desvantagem numérica².

Paralelamente, os avanços metodológicos em análise de desempenho têm permitido uma visão mais fina da circulação de bola e das sinergias ofensivas. Técnicas como análise de redes de passes (network analysis) têm sido aplicadas no handebol para quantificar o papel de cada jogador como nó de interação e mapear padrões de conectividade em diferentes formações táticas³. Da mesma forma, o uso de coordenadas polares (polar coordinates) tem sido empregado para inferir relações de ativação/inibição entre comportamentos táticos — por exemplo, quais ações precedem finalizações eficazes em determinados contextos¹. Essas técnicas revelam que não basta contar passes ou arremessos: importa como e quando esses movimentos ocorrem no contexto global do jogo (posse de bola).

A conjugação dessas duas correntes — a introdução tática do 7x6 e o refinamento analítico da circulação coletiva — impõe desafios e oportunidades para a evolução do ataque no handebol. Treinadores e analistas demandam maior fundamentação empírica para orientar estratégias ofensivas contemporâneas: quais momentos são mais apropriados para adotar 7x6, como organizar a rede de passes para reduzir riscos, quais indicadores simples capturam qualidade de posse de bola e quais variações táticas emergem em campeonatos de elite.

Objetivou-se com o referido estudo, analisar criticamente e sintetizar as evidências publicadas entre 2015 e 2025 acerca da evolução tática coletiva do ataque no handebol, com vistas a compreender, comparar e avaliar as transformações táticas estruturais, dinâmicas ocorridas no ataque.

MÉTODO

A presente revisão sistemática foi conduzida em conformidade com as recomendações do PRISMA 2020⁴, buscando assegurar transparência, reprodutibilidade e rastreabilidade metodológica. O processo de revisão foi estruturado em quatro etapas principais:

identificação, seleção, elegibilidade e inclusão, conforme descrito a seguir.

1. Estratégia de busca e bases consultadas

A busca sistemática foi conduzida entre 1º de janeiro de 2015 e 16 de outubro de 2025, considerando o fuso horário de Recife (UTC-3). Foram consultadas fontes de informação científica primárias e secundárias, abrangendo bases de dados formais, portais de editoras científicas e literatura cinzenta qualificada, conforme descrito a seguir: Bases de dados formais: *PubMed/PMC* (US National Library of Medicine), principal repositório internacional da área biomédica, selecionado por sua ampla cobertura de estudos em saúde, desempenho humano e fisiologia do exercício. Portais de editoras científicas: *MDPI* (especialmente os periódicos *Applied Sciences* e *Sustainability*), *Frontiers* e *Taylor & Francis Online*, escolhidos por agregarem revistas revisadas por pares com escopo em *Sports Sciences*, *Performance Analysis* e *Human Movement*.

Literatura cinzenta qualificada: *ResearchGate*, utilizada para rastrear *preprints*, anais de congressos científicos (como *EHF Scientific Conference*, *FIEP Europe* e *International Conference on Coaching*), dissertações e relatórios técnicos não indexados em bases formais, desde que apresentassem dados primários ou secundários de relevância científica. A busca combinou descritores controlados e termos livres em inglês, utilizando operadores booleanos e truncamentos para maximizar a sensibilidade da pesquisa. A estratégia completa ocorreu da seguinte forma: ("handball" OR "team handball") AND ("offensive" OR "attack") AND ("tactics" OR "positional" OR "passing network" OR "polar coordinates" OR "7 vs 6" OR "empty goal").

Para aprimorar a precisão, foi empregada a filtragem automática de publicações entre 2015 e 2025, estudos com seres humanos adultos, e idiomas inglês, espanhol e português.

Critérios de inclusão

Foram elegíveis os estudos que: (1) Analisaram comportamentos táticos ofensivos coletivos em partidas ou simulações de handebol de alto nível (nível profissional, seleções nacionais, ligas europeias ou competições continentais); (2) Envolveram atletas adultos (≥ 18 anos) de ambos os sexos; (3) Utilizaram dados empíricos observacionais, experimentais ou analíticos; (4) Apresentaram resultados quantitativos ou qualitativos referentes à organização ofensiva, circulação de bola, decisão tática, uso do 7x6, rede de passes, coordenação ofensiva ou eficácia de finalização; (5) Foram publicados em periódicos revisados por pares ou anais acadêmicos reconhecidos.

Critérios de exclusão

Excluíram-se estudos que: (1) Focaram exclusivamente em aspectos defensivos, biomecânicos isolados, ou fisiológicos sem relação direta com o comportamento coletivo ofensivo; (2)

Tabela 1. Estudos incluídos entre (2015–2025) sobre ataque coletivo no handebol.

Autor/Ano	Contexto	Foco tático	Método	Principais achados
Iusepolsky ²	Regra 2016	Empty-goal e soluções táticas	Revisão	Regra abriu múltiplas soluções 7×6; impactos estratégicos, exigindo gestão de risco/tempo.
Prudente ⁶	Euro 2020	Uso 7×6	Observacional	Uso influenciado por tempo de jogo e parcial; Portugal foi o maior usuário; eficácia situacional.
Macedo ⁷	Elite	Risco de sofrer gol vazio	Observacional	Quantifica risco de sofrer “empty-net” e caracteriza contextos de uso do E. G. (4:1).
Prudente ⁸	Euro/WCh	Comportamento no 7×6	Observacional (Euro/WCh)	Padrões de equipe/jogador no 7×6; mapeia frequências, decisões e eficiência.
Branco ¹³	Euro 2022	7×6, eventos críticos	Análise associativa	Perdas técnicas em 7×6 associam-se a gol direto do oponente; equipes de alto nível usam menos 7×6.
Korte ³	Euro 2018	Redes de passes	Análise de redes	Armadores (central e meias) variações por formação; profundidade de circulação da bola ligada à criação de arremesso.
Ferrari ¹⁰	Mundial	Efetividade ofensiva	Notacional	Vencedores = perdedores em processo ofensivo (qualidade da finalização, perdas).
Vaz et al. ¹¹	EHF Champions League	Evolução finalistas	Observacional	Trajetórias ao longo da competição; diferenças entre campeões e vice em padrões ofensivos.
Font et al. ¹	Elite	Coordenadas polares	Análise tática	Variáveis que influenciam sucesso por fases do jogo; interações ataque-defesa.
Nicolosi ¹²	Elite	Decisão situacional	Cognição aplicada	Nível competitivo distingue processamento de probabilidades situacionais (implicações para ataque).
Espoz-Lazo ⁹	Conceitual	Sistemas dinâmicos	Ensaio/estado da arte	Enfatiza comportamentos emergentes e auto-organização no ataque moderno.
Wildman ¹⁴	Modelagem	Interação tática	Modelos/anais	Propostas de modelagem da interação e coleta digital para explicar mecanismos do jogo.

Investigaram categorias de base (infantil, juvenil, sub-18) sem extrapolação ao contexto adulto; (3) Foram publicados antes de 2015; (4) Não apresentaram dados ou descrição metodológica mínima; (5) Foram duplicados entre bases (após verificação manual via título/DOI).

Processo de triagem e seleção dos estudos

A triagem foi conduzida em duas etapas independentes: (1) Triagem inicial por título e resumo: dois revisores realizaram leitura exploratória dos resultados exportados das bases. Foram excluídos textos fora do escopo temático ou duplicados. (2) Leitura integral e avaliação de elegibilidade: os artigos pré-selecionados foram lidos na íntegra, avaliando-se objetivos, amostra, método e resultados. Estudos que não abordavam diretamente a dimensão ofensiva coletiva foram excluídos nesta fase.

A concordância entre revisores foi avaliada por consenso. Discrepâncias foram resolvidas por meio de discussão e reanálise dos critérios.

Extração e organização dos dados

A extração foi realizada manualmente em planilha estruturada (Microsoft Excel® 2021), contendo as seguintes variáveis:

Autores e ano de publicação; País ou contexto competitivo (e. g., EHF, Mundial, Ligas nacionais); Amostra e nível competitivo; Tipo de estudo (observacional, revisão, análise notacional, modelagem, estudo experimental); Instrumentos e métricas utilizadas (análise de vídeo, coordenadas polares, redes de passes, indicadores de eficácia); Principais resultados tático-coletivos; Conclusões sobre implicações práticas.

Os dados foram sintetizados em tabelas comparativas (Tabela 1) e em análise temática, classificando os achados segundo quatro eixos: (a) impacto da regra do 7×6; (b) padrões de rede de passes; (c) marcadores de eficácia ofensiva; (d) avanços metodológicos de análise.

Avaliação da qualidade metodológica e risco de viés

A qualidade metodológica foi avaliada com base na escala adaptada de⁵ para estudos observacionais e revisões narrativas, considerando clareza de objetivos, descrição de variáveis, validade interna e aplicabilidade externa.

O risco de viés variou de baixo a moderado, principalmente devido à natureza observacional ecológica da maioria dos estudos e à heterogeneidade de métricas (diferenças de definições entre “ataque posicional”, “fase ofensiva” e “posse de bola”).

Para assegurar confiabilidade, apenas estudos com métodos explícitos e dados reproduzíveis foram incluídos na síntese interpretativa final.

RESULTADOS

Esta revisão sistemática identificou 12 estudos publicados entre 2015 e 2025 que analisaram, sob diferentes abordagens, a evolução tática coletiva do ataque em equipes de handebol. A síntese dos achados permitiu organizar os resultados em quatro grandes eixos temáticos: (1) a influência da regra do goleiro-linha (7×6) e seus impactos estratégicos; (2) a caracterização da estrutura de rede de passes e sua relação com a eficácia ofensiva; (3) indicadores de efetividade e eficiência ofensiva em competições internacionais; e (4) novos modelos analíticos aplicados à compreensão da dinâmica coletiva ofensiva.

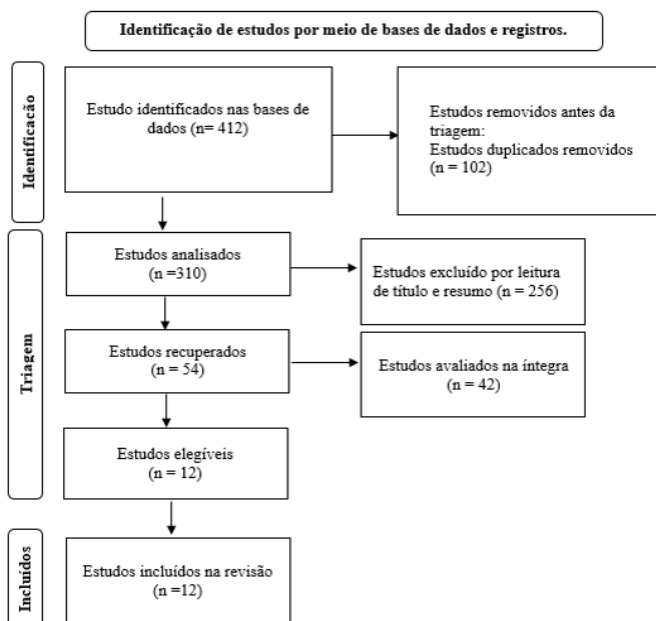


Figura 1. Diagrama de fluxo PRISMA mostrando os estudos identificados, incluídos e excluídos.

Regra do 7×6 e a transformação estrutural do ataque

A introdução da regra de substituição livre entre goleiro e jogador de linha, em 2016, representou o marco mais expressivo na evolução tática do ataque nas últimas décadas. Essa modificação permitiu que as equipes utilizassem sete jogadores de linha e nenhum goleiro, criando superioridade numérica momentânea no setor ofensivo². Segundo os autores, a mudança ampliou as possibilidades de ataque posicional prolongado, mas também elevou o risco de sofrer gols em situações de transição após perdas técnicas.

Estudos subsequentes confirmaram que o uso do ataque 7×6 tornou-se mais frequente em momentos de desvantagem no placar ou nos minutos finais das partidas⁶. No entanto, Macedo et al.⁷ analisaram 380 partidas de campeonatos internacionais e verificaram que o uso do 7×6 foi condicional ao contexto situacional, sendo mais eficiente quando implementado em ataques estruturados e com baixa taxa de erro de passe. Contudo, quando mal executado, a tática se associou a maior incidência de gols sofridos em gol vazio, corroborando a necessidade de planejamento criterioso para sua utilização.

Estudo realizado por Prudente et al.⁸ demonstraram ainda que equipes de alto rendimento, como Dinamarca, Espanha e França, fazem uso circunstancial e seletivo do 7×6, adotando-o em momentos estratégicos de domínio posicional, enquanto seleções intermediárias o utilizam como recurso de urgência. Tais achados reforçam a ideia de que a evolução do ataque moderno se ancora não apenas em novas estruturas, mas principalmente em processos decisórios situacionais.

Redes de passes e conectividade tática

O segundo eixo refere-se à estrutura de rede de passes como representação da interação ofensiva. Já Korte e Lames³ aplicaram a análise de redes sociais ao Campeonato Europeu de Handebol de 2018 e verificaram que armadores centrais e laterais ocupam posições de alta centralidade, funcionando como nós articuladores da circulação ofensiva. Equipes mais bem colocadas exibiram redes mais densas, com trajetórias de bola mais longas antes do arremesso e maior envolvimento do pivô na construção das ações táticas coletivas (jogadas).

Esses achados indicam que a eficiência ofensiva não está apenas relacionada ao número de passes, mas à qualidade da conectividade entre os jogadores³. Nos achados de Font et al.¹ complementam que redes equilibradas, com distribuição homogênea de interações entre armadores, pivôs e pontas, favorecem a criação de superioridades locais e reduzem a previsibilidade do ataque. Essa compreensão da rede de passes como sistema dinâmico permitiu caracterizar o ataque moderno como auto-organizado, no qual a estrutura emerge das interações contextuais e não de um padrão fixo⁹.

Indicadores de eficácia ofensiva e diferenças entre equipes vencedoras e perdedoras.

A análise comparativa entre equipes vencedoras e perdedoras revelou diferenças significativas em parâmetros de qualidade ofensiva. No estudo de Ferrari et al.¹⁰ observaram, em partidas do Campeonato Mundial, que os vencedores apresentaram menor número de perdas de bola, maior taxa de conversão de arremessos e seleção mais eficiente de zonas de finalização. Além disso, os campeões mantiveram estabilidade nos padrões de ataque ao longo da competição, enquanto os derrotados apresentaram redução progressiva da eficácia.

Os pesquisadores Vaz et al.¹¹ reforçam esses achados ao demonstrarem que as equipes finalistas da *EHF Champions League* 2018-2022 adaptaram seus padrões ofensivos ao longo das fases eliminatórias, com incrementos graduais na relação passes/ataque

e na utilização de cruzamentos e pivôs duplos. Tais resultados sustentam a hipótese de que a evolução tática ofensiva se caracteriza pela flexibilidade estrutural e pela capacidade de adaptação contextual às demandas competitivas.

Abordagens analíticas avançadas: coordenadas polares e sistemas dinâmicos

A partir de 2020, observa-se o crescimento do uso de métodos analíticos mais sofisticados na compreensão do comportamento coletivo. Onde Font et al.¹ aplicaram o método das coordenadas polares para identificar sequências táticas de sucesso em jogos de elite, destacando que a combinação “cruzamento lateral + penetração central + passe ao pivô” apresenta alta probabilidade de gerar finalizações eficazes. Esse método permitiu mapear relações de ativação e inibição entre ações ofensivas e defensivas, revelando a natureza cíclica das interações de jogo.

Já Espoz-Lazo et al.⁹ ampliaram esse entendimento ao proporem o uso da teoria dos sistemas dinâmicos para descrever o ataque como um sistema aberto e não linear, em que a sinergia entre jogadores se ajusta constantemente a perturbações externas. Essa abordagem enfatiza a auto-organização e o emergir de padrões táticos a partir de princípios de variabilidade controlada, o que influencia diretamente o planejamento do treino ofensivo.

A análise integrada dos estudos evidencia que, entre 2015 e 2025, a evolução tática coletiva do ataque no handebol foi marcada por:

1. Adoção situacional do 7×6, equilibrando risco e oportunidade;
2. Profundidade da circulação ofensiva e maior papel estratégico dos armadores e pivôs;
3. Flexibilidade tática adaptativa, baseada em leitura contextual e controle de perdas;
4. Aproximação entre ciência e prática, com o uso crescente de análises baseadas em dados, coordenadas polares e redes de passes.

Esses elementos configuram o que autores denominam de “ofensiva inteligente” — um ataque menos previsível, mais interativo e dependente da integração entre decisão, percepção e execução^{10,12}.

DISCUSSÃO

A análise dos estudos publicados entre 2015 e 2025 evidencia que a evolução tática coletiva do ataque no handebol foi influenciada simultaneamente por transformações estruturais, cognitivas e analíticas, configurando uma nova lógica de jogo marcada pela flexibilidade tática, gestão situacional do risco e integração entre análise de dados e tomada de decisão.

Impacto estrutural e situacional da regra do 7×6

O principal ponto de inflexão tática na última década foi a adoção da regra do 7×6, que permitiu a substituição do goleiro por um jogador de linha. Essa mudança ampliou o repertório ofensivo e redefiniu o equilíbrio entre risco e recompensa, exigindo que o processo de decisão fosse baseado em variáveis contextuais (tempo de jogo, placar e momento emocional da partida).

Segundo Lusepolsky, Morgulev e Zach² ressaltam que a regra provocou uma “revolução estratégica” na gestão do ataque posicional, ao oferecer a possibilidade de superioridade numérica, mas também o perigo de sofrer gols em transição. Já Prudente et al.,^{6,8} reforçam que o uso do 7×6 é contexto-dependente: tende a ser eficaz em momentos de controle de posse e de vantagem territorial, porém contraproducente quando a equipe apresenta alta taxa de erros técnicos.

Esses resultados corroboram as proposições de Macedo et al.⁷, segundo as quais a eficácia do 7×6 depende menos do sistema tático adotado (4:2, 3:3, pivôs duplos) e mais da qualidade da execução e da leitura situacional do jogo. Essa constatação indica um avanço conceitual: a ênfase desloca-se de “como jogar” para “quando jogar”, o que reflete a maturidade tática das equipes de elite.

Além disso, a literatura mostra que equipes com maior estabilidade psicológica e controle da variabilidade contextual tendem a apresentar melhor desempenho nas situações de gol vazio, reduzindo o impacto emocional da vulnerabilidade defensiva^{8,12}. Esses achados reforçam a interdependência entre as dimensões táticas e cognitivas no ataque moderno.

Redes de passes, centralidade e padrões de conectividade

A análise das redes de passes emergiu como ferramenta poderosa para compreender o ataque coletivo sob a ótica da interação funcional. Korte e Lames³ demonstraram que a eficácia ofensiva está associada a redes de alta densidade e centralidade distribuída, nas quais os armadores centrais atuam como nós principais, conectando pivôs e pontas em padrões triangulares de circulação.

No estudos de Font et al.¹ confirmaram que a estrutura das redes ofensivas em equipes vencedoras é menos hierárquica e mais colaborativa, o que permite múltiplos caminhos para a finalização. Essa característica reduz a previsibilidade do ataque e aumenta a resiliência tática, pois a equipe mantém capacidade de criar oportunidades mesmo sob pressão defensiva.

Espez-Lazo, Reyes e Flores⁹, ao aplicar o referencial da teoria dos sistemas dinâmicos, ampliaram esse raciocínio ao considerar o ataque como um sistema auto-organizado, no qual os jogadores adaptam-se continuamente às perturbações externas. Segundo os autores, a auto-organização tática é produto da interação entre constrangimentos ambientais (tempo, espaço, adversário) e intencionalidade coletiva, e não apenas de execuções programadas.

Essa visão está em consonância com a pedagogia dos sistemas complexos aplicados ao esporte, que propõe treinos baseados em princípios de variabilidade e adaptação, capazes de fomentar comportamentos criativos e sinérgicos⁹.

Efetividade ofensiva e flexibilidade adaptativa

Os indicadores de eficácia ofensiva demonstram que as equipes vencedoras se distinguem menos pela quantidade de ataques e mais pela qualidade das decisões e pela eficiência do processo de finalização. Ferrari et al.¹⁰ observaram que os vencedores apresentaram menor proporção de erros técnicos e maior seletividade de zonas de arremesso, o que se traduz em maior conversão de posse em gols.

Vaz et al.¹¹ complementam que a evolução das equipes finalistas da *EHF Champions League* sugere um modelo dinâmico de adaptação tática: ao longo da competição, as equipes aumentam o uso de cruzamentos curtos, trocas posicionais e duplos pivôs, reduzindo o padrão fixo de jogo. Essa flexibilidade é uma das marcas do ataque moderno, cuja efetividade depende da leitura constante do contexto e da coordenação temporal entre os setores ofensivos.

A evidência aponta, portanto, para uma transição do ataque baseado em execuções ensaiadas para um ataque orientado por princípios de decisão. Nesse modelo, a organização coletiva é entendida como resultado da interação de intenções individuais coerentes, e não de um script predefinido.

Integração entre análise de desempenho e prática de treino

Os estudos mais recentes destacam a incorporação de metodologias analíticas ao processo de treino. O uso das coordenadas

polares Font et al.¹ e da análise de redes de passes³ permite que treinadores visualizem relações de dependência e sinergia entre ações ofensivas, identificando padrões de sucesso.

Na prática, essa integração de dados vem promovendo uma ciência aplicada ao jogo, na qual o feedback é imediato e o treino se torna um laboratório de tomada de decisão contextualizada. Espez-Lazo et al.⁹ argumentam que, ao aplicar princípios da complexidade, o treinador assume papel de “facilitador de contextos” e não de “ditador de movimentos”, favorecendo a criatividade e a autonomia tática dos atletas.

Além disso, a adoção de modelos híbridos de análise — combinando métricas quantitativas (percentuais de finalização, densidade de rede) e qualitativas (interpretação de vídeo, comportamento situacional) — constitui tendência promissora para os próximos anos, sobretudo na elite europeia^{7,11}.

Em conjunto, os resultados desta revisão sustentam a hipótese de que o ataque contemporâneo no handebol é caracterizado por versatilidade estrutural, adaptabilidade contextual e inteligência coletiva. A evolução ofensiva das equipes de elite decorre da integração entre decisão situacional, conectividade funcional e análise de dados, pilares de um modelo de jogo mais responsivo e menos rígido. A regra do 7×6, embora tenha provocado rupturas iniciais, consolidou-se como um instrumento estratégico condicionado, enquanto o avanço das metodologias de análise (redes e coordenadas polares) permitiu compreender a dimensão coletiva e dinâmica do ataque.

Assim, a década 2015–2025 marca a consolidação de um paradigma ofensivo pautado na auto-organização, gestão de risco e variabilidade funcional, redefinindo o que se entende por eficácia tática no handebol moderno.

CONCLUSÃO

A análise da literatura sobre a evolução tática ofensiva do handebol entre 2015 e 2025 permite afirmar que o jogo moderno passou a se organizar sob um paradigma de complexidade e adaptabilidade. O ataque deixou de ser concebido como execução mecânica de sistemas fixos e passou a refletir uma inteligência coletiva construída em tempo real, sustentada pela percepção contextual e pela sincronização entre jogadores.

A regra do goleiro-linha (7×6) consolidou-se como um recurso de uso situacional, ampliando a versatilidade estrutural do ataque, mas exigindo planejamento estratégico e domínio emocional para equilibrar risco e benefício. O jogo ofensivo atual se caracteriza por amplitude, profundidade e mobilidade funcional, nas quais a interação entre armadores, pivôs e pontas determina a fluidez das ações e a criação de espaços.

Os avanços metodológicos nas análises de redes e coordenadas polares contribuíram para o entendimento do ataque como um sistema auto-organizado, em que a eficácia depende da conectividade e da qualidade das decisões, não apenas do volume de ações. Essa visão impulsiona uma nova abordagem de treino, baseada em princípios de decisão, variabilidade e adaptação contextual, substituindo modelos prescritivos por estratégias que promovem autonomia e criatividade.

Em termos práticos, o treinador contemporâneo deve estruturar o processo ofensivo com foco em quatro pilares fundamentais: Versatilidade estrutural, adequando sistemas e formações às demandas do jogo; Qualidade da posse, priorizando a eficiência na circulação da bola e o controle de perdas; Gestão racional do risco, utilizando o 7×6 de forma planejada e oportuna; Integração científica, incorporando a análise de desempenho ao processo de treino e tomada de decisão.

Conclui-se que a fase ofensiva moderna no handebol é o resultado da convergência entre análise científica, criatividade tática e inteligência coletiva, configurando um jogo mais dinâmico, imprevisível e sensível ao contexto. O futuro do treinamento ofensivo

dependerá, portanto, da capacidade de integrar ciência e sensibilidade de jogo, transformando dados em estratégias e estratégias em comportamento coletivo eficaz.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

1. Font R, Daza G, Irurtia A, Tremps V, Cadens M, Mesas JA, et al. Analysis of the variables influencing success in elite handball with polar coordinates. *Sustainability*. 2022;14(23):15542. doi:10.3390/su142315542.
2. Iusepolsky R, Morgulev E, Zach S. The “empty-goal” rule change from the perspective of international-level team handball goalkeepers. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(11):6506. doi:10.3390/ijerph19116506.
3. Korte F, Lames M. Passing network analysis of positional attack formations in handball. *J Hum Kinet*. 2019;70:209-21. doi:10.2478/hukin-2019-0044.
4. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. doi:10.1136/bmj.n71.
5. Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality of both randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J Epidemiol Community Health*. 1998;52(6):377-84. doi:10.1136/jech.52.6.377.
6. Prudente JN, Cardoso AR, Rodrigues AJ, Mendes JN, Fernando C, Lopes H, et al. Playing 7 vs. 6 with an empty goal: is it really an option for coaches? A comparative analysis between Portugal and the other teams during the Men's European Handball Championship 2020. *Front Psychol*. 2022;13:809909. doi:10.3389/fpsyg.2022.809909.
7. Macedo L, Volossovitch A, Carita AI, Komar J. Playing without goalkeeper: the use of an empty goal in high-performance men's handball. *Int J Perform Anal Sport*. 2025;25(6):1189-207. doi:10.1080/24748668.2024.2354109.
8. Prudente JN, Cardoso AR, Rodrigues AJ, Mendes JN, Fernando C, Lopes H, et al. Evolution of attack in handball when playing 7 vs. 6 with empty goal between 2020 and 2023: coaches' perception vs. observational results. *Front Sports Act Living*. 2024;6:1354623. doi:10.3389/fspor.2024.1354623.
9. Espoz-Lazo S, Hinojosa-Torres C. Modern handball: a dynamic system, orderly chaotic. *Appl Sci (Basel)*. 2025;15(7):3541. doi:10.3390/app15073541.
10. Ferrari W, Dias G, Sousa T, Sarmento H, Vaz V. Comparative analysis of the offensive effectiveness in winner and losing handball teams. *Front Psychol*. 2020;11:547110. doi:10.3389/fpsyg.2020.547110.
11. Vaz V, Ferrari W, Sarmento H, Couceiro M, Sousa T, Dias G. Handball offensive analysis: comparative evolution of linear tendency lines between finalist teams in the EHF CL. *Appl Sci (Basel)*. 2023;13(3):1366. doi:10.3390/app13031366.
12. Nicolosi S, Quinto A, Lipoma M, Sgrò F. Situational analysis and tactical decision-making in elite handball players. *Appl Sci (Basel)*. 2023;13(15):8920. doi:10.3390/app13158920.
13. Branco J, Azevedo A, Eira P. Integrating numerical superiority offensive actions into the game model and handball training execution. *J Phys Educ Sport*. 2025;25(4). doi:10.7752/jpes.2025.04076.
14. Wildman L, Nemes R, Hou Z. Action sequence modeling for tactical training in handball. In: Dong JS, Sun J, Xie X, Jiang K, editors. *Sports analytics: Second International Conference, ISACE 2025*. Cham: Springer; 2026. p. 276-92. doi:10.1007/978-3-032-06167-6_21.

Artículo Especial

Metodología del entrenamiento físico en pacientes de rehabilitación pulmonar de la Sociedad de Cirugía de Bogotá–Hospital de San José: una revisión sistemática



Angelica Maria Prada Rojas^a

^a Docente de la corporación Iberoamericana, Universidad Manuela Beltrán, Colombia.

RESUMEN

Introducción: Las enfermedades respiratorias han experimentado cambios significativos donde los jóvenes presentan enfermedades que son representativas en el adulto. Debido a la contaminación del aire, factores ambientales y familiares. Estas condiciones han contribuido al aumento de enfermedades crónicas de difícil manejo, incrementando los retos para el sistema hospitalario. Las enfermedades respiratorias representan una importante causa de morbilidad y mortalidad a nivel global. Frente a este panorama, surge la necesidad de fortalecer las intervenciones hospitalarias, especialmente aquellas basadas en la rehabilitación pulmonar, donde el ejercicio físico constituye un componente esencial en el manejo de pacientes con enfermedades respiratorias crónicas. **Metodología:** El diseño de esta investigación corresponde a una revisión sistemática siguiendo la guía PRISMA, con un enfoque cualitativo. **Resultados:** Los resultados obtenidos en esta investigación respaldan la necesidad de implementar programas de ejercicio dirigidos a mejorar la función respiratoria, como también optimizan la capacidad aeróbica, la fuerza muscular y la coordinación. **Conclusiones:** La evidencia revisada sugiere que los programas de ejercicio físico en rehabilitación pulmonar hospitalaria deben integrar entrenamiento aeróbico, fuerza, resistencia y ejercicios respiratorios, adaptados a la condición clínica del paciente. Estas intervenciones pueden mejorar la capacidad funcional, la tolerancia al ejercicio, la función respiratoria y la calidad de vida, además de contribuir a reducir la estancia hospitalaria y los costes asistenciales.

Palabras clave: Entrenamiento físico; enfermedades respiratorias; rehabilitación pulmonar; ejercicios respiratorios en hospitalización.

Physical Training Methodology in Pulmonary Rehabilitation Patients at the Sociedad de Cirugía de Bogotá–Hospital de San José: A Systematic Review

ABSTRACT

Introduction: Respiratory diseases have undergone significant changes, with young people presenting with diseases that are representative of adults. This is due to air pollution, environmental factors, and family factors. These conditions have contributed to the increase in difficult-to-manage chronic diseases, increasing the challenges for the hospital system. Respiratory diseases represent a major cause of morbidity and mortality globally. Given this situation, there is a need to strengthen hospital interventions, especially those based on pulmonary rehabilitation, where physical exercise is an essential component in the management of patients with chronic respiratory diseases. **Methodology:** The design of this research corresponds to a systematic review following the PRISMA guidelines, with a qualitative approach. **Results:** The results obtained in this research support the need to implement exercise programs aimed at improving respiratory function, as well as optimizing aerobic capacity, muscle strength, and coordination. **Conclusions:** The reviewed evidence suggests that physical exercise programs in hospital-based pulmonary rehabilitation should combine aerobic training, strength and resistance exercises, and breathing exercises, adapted to the patient's clinical condition. These interventions may improve functional capacity, exercise tolerance, respiratory function, and quality of life, while also contributing to reduced hospital stay and healthcare costs.

Keywords: physical training; respiratory diseases; pulmonary rehabilitation; breathing exercises; hospitalization.

Metodologia do treinamento físico em pacientes de reabilitação pulmonar da Sociedad de Cirugía de Bogotá-Hospital de San José: uma revisão sistemática

RESUMO

Introdução: As doenças respiratórias têm sofrido mudanças significativas, com jovens apresentando doenças representativas dos adultos. Isso se deve à poluição do ar, fatores ambientais e familiares. Essas condições têm contribuído para o aumento de doenças crônicas de difícil manejo, aumentando os desafios para o sistema hospitalar. As doenças respiratórias representam uma das principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo. Diante desse cenário, há a necessidade de fortalecer as intervenções hospitalares, especialmente aquelas baseadas na reabilitação pulmonar, onde o exercício físico é um componente essencial no manejo de pacientes com doenças respiratórias crônicas. **Metodologia:** O delineamento desta pesquisa corresponde a uma revisão sistemática seguindo as diretrizes PRISMA, com abordagem qualitativa. **Resultados:** Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram a necessidade de implementar programas de exercícios que visem à melhora da função respiratória, bem como à otimização da capacidade aeróbica, da força muscular e da coordenação. **Conclusões:** A evidência revista sugere que os programas de exercício físico na reabilitação pulmonar hospitalar devem integrar treino aeróbico, exercícios de força e resistência, e exercícios respiratórios, adaptados à condição clínica do paciente. Estas intervenções podem melhorar a capacidade funcional, a tolerância ao exercício, a função respiratória e a qualidade de vida, além de contribuir para a redução do tempo de internamento e dos custos assistenciais.

Palavras-chave: treinamento físico; doenças respiratórias; reabilitação pulmonar; exercícios respiratórios; hospitalização.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades respiratorias tanto obstructivas como restrictivas es una de las principales causas de mortalidad en el mundo teniendo en cuenta que las enfermedades obstructivas después de la pandemia son las que más causan discapacidad debido a la sarcopenia donde el aumento de la fuerza mejora la capacidad ventilatoria (1), dentro de las obstructivas se encuentra la EPOC (Enfermedad pulmonar obstructiva crónica), que abarca entre el 10 y el 15% de la población que tienen 40 a 44 años en adelante, donde después del 2017 se produjeron 3.914.196 (3 790 578–4 044 819) representando un aumento del 18% desde 1990, en el 2017 la enfermedad pulmonar crónica es la tercera causa de muerte (2) que se aqueja de la enfermedad, donde la enfermedad respiratoria conlleva secundariamente a causas cardiovasculares aumentan la muerte del paciente con enfermedad respiratoria, impactando en la funcionalidad y calidad de vida (3), causando limitación y restricción en las actividades de la vida diaria, generando un alto costo en contexto de la atención médica, produciendo carga significativas en el sistema de salud, esta predominancia de enfermedades respiratorias depende de los cambios climáticos y/o el tiempo, como la crisis sanitaria producida por el COVID-19, que hizo que se desarrollaran otras enfermedades respiratorias (4), siendo la rehabilitación pulmonar significativa para la reducción de costos (5), la recuperación y los efectos adversos de las diversas enfermedades respiratorias (6).

Se demostró que en Colombia las enfermedades pulmonares son la cuarta causa de muerte y hospitalización, entre 2008 y 2022 las tasas ajustadas decayeron en un 15 %, pasando de 31,73 a 26,87 muertes por cada 100.000 habitantes, para luego presentar incrementos y descensos, hasta alcanzar un valor de 22,9 en 2020, según (7), según estos datos aclaran que es de vital importancia tomar medidas por ende el Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021, establece las intervenciones que deben ser implementadas tanto a nivel nacional como local para la prevención, detección temprana, tratamiento y rehabilitación de los pacientes con enfermedades respiratorias. Esto se puede lograr, fortaleciendo el conocimiento de los médicos generales y fisioterapeutas para diagnosticar y tratar las enfermedades con rehabilitaciones efectivas ayudando no solo a los pacientes para su mejoría si no a el hospital para la reducción de los costos, desde el proyecto de prepopol realizado en Colombia para recolectar por medio de la espirometría como base diagnostica (8), con el fin de mirar la prevalencia de la enfermedad pulmonar crónica,

determinando que cada vez hay más gente joven, con poco diagnostico a la enfermedad, se puede determinar que la enfermedad crece dentro de la población colombiana y se ve en las regiones con mayor altitud, aunque esta última esta discutible por la incidencia de la genética y la población que siempre ha estado en tierras altas (9).

La finalidad es siempre contar con equipo multidisciplinario que genere diagnósticos precoces para que a su vez el tratamiento sea efectivo (10), por tal motivo es que en ocasiones llegan ingresos con enfermedades respiratorias que no tienen un tratamiento asertivo porque no se ha generado un diagnóstico principal, forjando ingresos y reingresos hospitalarios con poca efectividad al tratamiento, lo que no se desarrolla una prevención a la enfermedad de forma efectiva (11).

Las estancias hospitalarias generan inactividad, conllevando a una disminución en la capacidad pulmonar y la resistencia muscular (12). La prolongación en un estado de sosiego con el aumento de la edad trae consigo la sarcopenia disminuyendo la funcionalidad del paciente adulto (13), consiguiendo el aumento de la sensación de ahogo y la limitación de la funcionalidad en general, disminuyendo la realización de las actividades de la vida diaria restringiéndose para funciones básicas como bañarse ir al baño salir de casa, sumando la edad con que las enfermedades respiratoria está apareciendo siendo cada vez más temprana (14), conjunto con la interacción de la herencia y las enfermedades metabólicas como diabetes, hipertensión entre otras. debido al sedentarismo afectando el sistema cardiopulmonar vulnerando en mayor amplitud al paciente, siendo de gran importancia mantener el ejercicio físico en la población en general especialmente los que ya presentan un antecedente patológico, contribuyendo a la disminución de la sintomatología que trae consigo las enfermedades crónicas (3). Evitando los decesos en temprana edad, sobre todo en pacientes que en el momento cuenten con una edad laboral vigente.

La actividad física en algunos casos no es lo suficiente para mantener una condición cardiovascular optima, se necesita de una planeación una prescripción del ejercicio que genere resistencia aeróbica, fuerza muscular, coordinación motriz en pocas palabras perfeccionar las cualidades físicas, reduciendo la sintomatología contribuyendo a mejorar la funcionalidad de los pacientes que padecen enfermedades crónicas como sus comorbilidades evitando que entren a un centro hospitalario o si ya esté en uno acorten los tiempos de hospitalización o se presente la información necesaria para que fuera de este pueda continuar las actividades funcionales (15), es por esto y la necesidad de mantener la población hospitalaria activa, el proyecto se centra en la recopilación y adaptación de

técnicas hospitalarias efectivas para implementación en la sociedad de cirugía hospital de San José o en cualquier centro hospitalario que cuenten con población vulnerable (16).

La rehabilitación pulmonar es una intervención multidisciplinaria que implica ejercicio físico, educación del paciente, apoyo psicosocial y manejo de factores de riesgo como el tabaquismo, exposición al humo, exposición a irritantes ambientales y las infecciones respiratorias recurrentes, incluso factores genéticos debido a el déficit de Alfa-1 Antitripsina (17), siendo de gran importancia contribuir a disminuir la sensación de disnea al paciente con enfermedad pulmonar crónica de cual se encuentra en hospitalización siendo de gran importancia contribuir a disminuir cualquier sintomatología y mejorar la capacidad funcional al paciente con enfermedad pulmonar crónica.

Por eso esta revisión sistemática busca por medio de recopilación de artículos encontrar la base de un entrenamiento físico a pacientes con enfermedad pulmonar que se encuentren hospitalizados, brindando una adecuada prescripción de ejercicio, obteniendo como objetivo la disminución del tiempo en sus fases intrahospitalarias, perfeccionando el análisis de intervención, minimizando los síntomas y riesgos asociados a las mismas.

METODOLOGÍA

El diseño de esta investigación corresponde a una revisión sistemática siguiendo la guía PRISMA, con un enfoque cualitativo, el cual busca la prescripción del ejercicio mediante un entrenamiento físico en paciente intrahospitalarios en rehabilitación pulmonar, para la búsqueda bibliográfica se utilizaron revistas científicas como: Scielo, Pubmed, Scencedirect, Elsevier y Scopus, en inglés y español, estableciendo criterios de inclusión que sean artículos publicados entre el 2019 y el 2024 que cuenten con ejercicios intrahospitalarios, enfermedad pulmonares, ejercicio físico, entrenamiento físico hospitalario, en los criterios de exclusión no se consideraron literatura como ensayos, tesis o trabajos de grasos y artículos que no estén entre el rango de fechas, artículos que no hablen de ejercicios y no den la prescripción del ejercicio.

Para llevar a cabo la búsqueda de artículos se utilizaron palabras claves conjunto con los operadores booleanos donde se estableció la oración ejercicio físico y enfermedad respiratorio en adultos hospitalizado o prescripción del ejercicio en el adulto hospitalizado no niños con su versión en inglés Physical exercise and respiratory disease in hospitalized adults or exercise prescription in hospitalized adults, not children posterior a tener la búsqueda característica se ingresa a un gestor bibliográfico llamado Rayyan con el propósito de obtener los documentos clasificados para la respectiva revisión, posterior y con los artículos que cuentan con las palabras claves se llevan a otro gestor bibliográfico llamado mendeley del cual se hacia la lectura de forma detenida para dar finalidad a los artículos que tenían el objetivo principal del proyecto evidencia de los artículos seleccionados en la tabla 1, Mostrar las diferentes metodologías de entrenamiento físico en pacientes de rehabilitación pulmonar que se encuentren hospitalizado en clínica de IV nivel.

RESULTADOS

Al tener el gestor rayyan se incluyó 1.240 artículos en la búsqueda de las revistas ya descritas, se eliminaron 292 que estaban duplicados, 91 por no cumplir con los criterios de inclusión, 378 de fechas que no estaban en el rango de 2019 al 2024, 159 artículos los cuales no contaban con la prescripción del ejercicio, quedaron un total de 300 artículos de los cuales y con las palabras claves escogidas quedaron un final de 21 artículos entre sistemáticos y metaanálisis como lo muestra la ilustración 1.

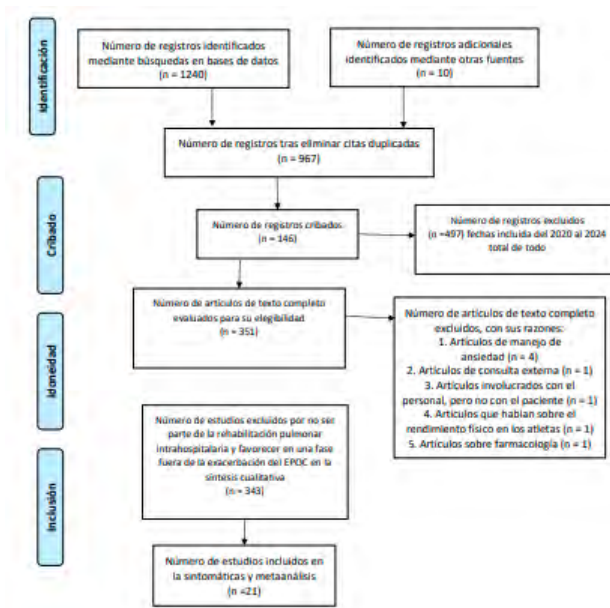


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA mostrando los estudios identificados, incluidos y excluidos.

Con estos 21 artículos se pasó a un gestor bibliográfico mendeley para una breve descripción del artículo, lo cual permitió un segundo filtro de artículos los cuales fueron eliminados por no contar con la prescripción detallada hasta llegar a 3 artículos utilizados donde identificaba la prescripción del ejercicio en pacientes con patología respiratoria encontrándose hospitalizados.

En el primer artículo (20) mencionan ejercicios físicos para la rehabilitación física en pacientes con enfermedades pulmonares y la importancia de realizar una combinación de ejercicios de los cuales consta de ejercicios isotónicos-isométricos, concéntricos-excéntricos y de cadenas cinéticas abiertas.

Desarrollos actuales y direcciones futuras en fisioterapia respiratoria

Trabajo Contra Resistencia. Proponen ejercicios con mancuernas e incluyeron movimientos como el press de pecho sedente y ejercicios de extensión-flexión de rodilla. Ejercicios de entrenamiento de miembro superiores e inferiores. La intensidad Se trabajó con una intensidad del 60% de 8-12 repeticiones máximas (RM) y la para la duración cada sesión de trabajo contra resistencia tenía una duración de 10 a 15 minutos.

Ejercicios de resistencia aeróbica. Cantidad diaria de 7000 a 10000 pasos. Respecto al tiempo por semana, la propuesta era 150 minutos o 75 minutos de actividad aeróbica vigorosa equivalente a 5 MET.

Trabajo Funcional. Movimientos Corporales cuyos tipos incluyeron cambios de nivel, tracción, empuje y rotación, utilizando pesos libres o el propio peso corporal. Ejercicios de miembros superiores e inferiores. Para la intensidad se utilizó una escala de 4 a 6 sobre 10 (escala Borg modificada) para medir la intensidad. Y respecto a la duración, las sesiones de trabajo funcional también duraban entre 10 a 15 minutos.

Fisioterapia Respiratoria (12 semanas). Reeduación Ventilatoria con técnicas manuales usando flujo bajo y alto con espiraciones lentas prolongadas y rápidas, drenaje autógeno, ELGOT. Se utilizó el sistema Entrenador de Músculo Inspiratorio de Umbral (EMI) para mejorar la fuerza de la musculatura inspiratoria. La frecuencia fue de 3 sesiones por semana, con una duración de 15 a 20 minutos por sesión.

Tabla 1. Artículos seleccionados

Autor	Tipo de estudio	Metodología	Resultados principales
Gan, Xin yu	Estudio retrospectivo caso-control	Revisión de historias clínicas de pacientes en UCI con ventilación mecánica; grupo con entrenamiento ortostático pasivo vs grupo control.	El entrenamiento ortostático pasivo temprano previno la atrofia y disfunción diafragmática en pacientes en ventilación mecánica.
Melesse, Debas Yaregal Chekol, Wubie Birlie	Revisión narrativa	Análisis de literatura sobre manejo de pacientes con COVID-19 en UCI de países de bajos ingresos.	Identifica limitaciones de recursos, propone estrategias adaptadas y resalta la importancia de medidas de bajo costo y entrenamiento del personal.
Leemans, Glenn	Revisión sistemática	Búsqueda y análisis de estudios sobre intervenciones de fisioterapia respiratoria orientadas a ejercicio y actividad física en EPOC.	Concluye que las intervenciones físicas son probablemente costo-efectivas, con mejoras en calidad de vida y capacidad funcional.
Figueira Gonçalves, J. M.	Estudio observacional transversal	Comparación de prescripción de tratamientos para EPOC según guías GesEPOC y GOLD en práctica clínica.	Se identificó alta discordancia entre las guías, lo que puede afectar la adherencia y resultados clínicos.
van Kooten, Robert T.	Revisión sistemática	Revisión de estudios que evaluaron factores de riesgo preoperatorios en cirugía gastrointestinal oncológica compleja.	Se identificaron factores como estado nutricional deficiente, comorbilidades y bajo estado funcional como predictores de complicaciones postoperatorias mayores.
Reuling, E. M.B.P.	Estudio observacional retrospectivo	Revisión de casos de pacientes con tumores carcinoides tratados inicialmente con abordaje endobronquial y posterior resección quirúrgica.	La resección quirúrgica posterior mostró baja morbilidad con adaptabilidad al ejercicio,
Vázquez-Gandullo, Eva	Revisión sistemática	Búsqueda en bases de datos de estudios que evaluaran entrenamiento de músculos inspiratorios con dispositivos mecánicos en programas de rehabilitación respiratoria para EPOC.	El entrenamiento inspiratorio con dispositivos mejora fuerza muscular, capacidad funcional y calidad de vida en pacientes con EPOC.
Li, Xin	Revisión sistemática	Análisis de literatura sobre incidencia, factores de riesgo y tratamientos potenciales para la tos post-resección pulmonar.	La tos postoperatoria como entrenamiento en la musculatura diafragmática
Tasleem, Amina	Revisión sistemática y metaanálisis en red	Búsqueda en bases de datos internacionales de estudios que evaluaron entrenamiento muscular inspiratorio y movilización temprana en pacientes en ventilación mecánica.	intervenciones combinadas, aumentan la probabilidad de éxito en el destete de ventilación mecánica
Verma, Ashwani	Revisión sistemática	Identificación y categorización de intervenciones de salud digital (apps, telemonitorización, plataformas en línea) para automanejo en EPOC.	Las intervenciones digitales mejoran adherencia, autogestión y síntomas; la evidencia apoya su integración en el cuidado, aunque la calidad de los estudios es variable.
Buto, Marcele Stephanie de Souza	Revisión sistemática de ensayos clínicos aleatorizados	Revisión de RCTs que evaluaron terapias complementarias (ej. tai chi, yoga, musicoterapia) en adultos mayores prefrágiles y frágiles.	Estas terapias mejoran capacidad funcional, fuerza y calidad de vida.
Leemans, Glenn	Revisión sistemática	Revisión de estudios sobre fisioterapia respiratoria centrada en entrenamiento físico y aumento de actividad en pacientes con EPOC.	Las intervenciones son probablemente costo-efectivas, mejoran calidad de vida y la capacidad funcional.
Hogarth, Douglas K.	Ensayo clínico multicéntrico	Evaluación de eficacia y seguridad del sistema de válvula Spiration™ en enfisema severo por déficit de alfa-1 antitripsina.	El dispositivo mejoró función pulmonar
Voorn, Melissa J.J.	Revisión sistemática	Búsqueda en bases de datos científicas (PubMed, Scopus, Cochrane, etc.) de estudios que evaluaran programas de prehabilitación y/o rehabilitación basados en ejercicio en pacientes con cáncer de pulmón no microcítico sometidos a cirugía. Se analizaron medidas de calidad de vida relacionada con la salud y niveles de fatiga	Los programas de prehabilitación y rehabilitación física mejoran la calidad de vida relacionada con la salud y reducen la fatiga postoperatoria. Se observó un impacto positivo tanto si se realizan antes como después de la cirugía
Vanderlelie, Lauren	Revisión sistemática	Búsqueda y análisis de estudios sobre el uso de cicloergómetro de brazos en pacientes críticamente enfermos.	El ejercicio con cicloergómetro de brazos es seguro, factible y puede mejorar fuerza muscular y capacidad funcional.
Cacciante, Luisa	Revisión sistemática y metaanálisis	Selección y análisis de estudios que evaluaron entrenamiento de músculos respiratorios en diversas patologías.	El entrenamiento de músculos respiratorios mejora fuerza, resistencia y parámetros funcionales respiratorios.
Dillen, Hannelore	Revisión sistemática	Revisión de estudios sobre programas de rehabilitación ambulatoria en pacientes con síntomas persistentes post-COVID-19.	La rehabilitación ambulatoria mejora capacidad funcional, disnea y calidad de vida en pacientes post-COVID.
Feng, Zhenzhen	Revisión sistemática y metaanálisis	Revisión de estudios que evaluaron rehabilitación pulmonar basada en ejercicio en adultos con asma.	La rehabilitación pulmonar basada en ejercicio mejora la función pulmonar, capacidad de ejercicio y calidad de vida.
Franklin Heyden-López	Estudio observacional / revisión (según artículo original)	Evaluación de impacto de programas de rehabilitación pulmonar en pacientes con enfermedad pulmonar crónica.	Se observan mejoras significativas en parámetros respiratorios y capacidad de ejercicio tras la intervención.
Habib, Gm Monsur	Revisión sistemática	Análisis de la efectividad clínica, componentes y formas de implementación de la rehabilitación pulmonar en entornos de bajos recursos.	La rehabilitación pulmonar en entornos de bajos recursos es efectiva, aunque enfrenta limitaciones logísticas y de personal capacitado.
Santino, Thayla A.	Revisión sistemática	Evaluación de intervenciones basadas en ejercicios respiratorios en adultos con asma.	Los ejercicios respiratorios pueden mejorar control del asma, síntomas y calidad de vida, especialmente como complemento del tratamiento farmacológico.

El segundo artículo consistió en una revisión sistemática (21). Este trabajo describe diferentes modalidades de entrenamiento físico aplicables a la rehabilitación de pacientes con enfermedades pulmonares y destaca la importancia de la educación del paciente para mejorar la eficiencia de las intervenciones y reducir los costes asociados a la atención sanitaria.

Ejercicios aeróbicos. Se incluyeron modalidades como la caminata y el ejercicio en bicicleta. La frecuencia de entrenamiento osciló entre 2 y 5 sesiones por semana, con intensidades comprendidas entre el 30 % y el 80 % de la frecuencia cardíaca máxima alcanzada. La duración de las sesiones varió entre 20 y 60 minutos, adaptándose a la capacidad funcional y a la tolerancia individual de cada paciente.

Trabajo contra resistencia. Los programas de entrenamiento de fuerza se realizaron con una frecuencia de entre 2 y 5 sesiones semanales. La intensidad se situó entre el 40 % y el 70 % de la

carga máxima. Generalmente, se realizaron entre 2 y 3 series de 10 repeticiones, ajustando las cargas y el volumen de entrenamiento en función de las características clínicas y funcionales del paciente.

Ejercicios respiratorios. Los ejercicios respiratorios se efectuaron generalmente una o dos veces al día. La intensidad se adaptó a la tolerancia de cada paciente y, en algunos programas, se utilizó un dispositivo específico para el entrenamiento de la musculatura inspiratoria. La duración de las sesiones osciló entre 15 y 30 minutos.

El tercer artículo (15) incluyó ejercicios aeróbicos, entrenamiento contra resistencia, ejercicios de flexibilidad y estiramientos. Asimismo, destacó la necesidad de realizar una valoración funcional y respiratoria antes de comenzar el programa de rehabilitación y una nueva evaluación al finalizarlo. Entre las pruebas utilizadas se incluyeron las pruebas de función pulmonar

y la prueba de caminata de 6 minutos, empleada para valorar la capacidad funcional y la respuesta del paciente a la intervención.

Entrenamiento de resistencia aeróbica. Se propusieron ejercicios como la caminata en cinta rodante y el ejercicio en bicicleta estática. Las sesiones se realizaron generalmente entre 2 y 3 veces por semana, con una duración de entre 15 y 30 minutos. Tanto la frecuencia como el tiempo de entrenamiento se adaptaron a la capacidad inicial del paciente y a la fase del programa de rehabilitación.

Entrenamiento de fuerza. Se incluyeron ejercicios con mancuernas y movimientos dirigidos de flexión y extensión de rodilla, así como el press de pecho en posición sedente. También se incorporaron movimientos funcionales que implicaban cambios de nivel, tracción, empuje y rotación, empleando pesos libres o el propio peso corporal. El entrenamiento se realizó entre 2 y 3 veces por semana, mediante 1 a 3 series de 8 a 12 repeticiones. La carga se ajustó progresivamente según la capacidad funcional, la tolerancia y la evolución clínica del paciente.

Ejercicio aeróbico. Las modalidades principales fueron caminar y montar en bicicleta. Se recomendó alcanzar un mínimo de 150 minutos semanales de actividad aeróbica de intensidad moderada, distribuidos en sesiones de al menos 10 minutos de duración. La prescripción se adaptó a la condición física y a los síntomas respiratorios del paciente.

Educación y autogestión de la enfermedad. El programa incorporó actividades educativas orientadas al aprendizaje de técnicas respiratorias, al reconocimiento y control de los síntomas y al manejo cotidiano de la enfermedad. Las sesiones educativas se realizaron semanalmente durante las primeras semanas del programa y posteriormente se complementaron con seguimiento telefónico o sesiones de refuerzo.

Técnicas de aclaramiento de las vías respiratorias. Se utilizaron técnicas de reeducación ventilatoria, entre las que se incluyeron la respiración diafragmática, la respiración con labios fruncidos y los ejercicios dirigidos a fortalecer la musculatura inspiratoria. Para favorecer la expansión pulmonar se emplearon dispositivos como el espirómetro de incentivo y los sistemas de presión espiratoria positiva no oscilante. Asimismo, se utilizó un entrenador de musculatura inspiratoria con carga umbral para mejorar la fuerza y la resistencia de los músculos inspiratorios.

DISCUSIÓN

La rehabilitación física es esencial en el manejo de pacientes con enfermedades pulmonares, pero la falta de metodologías específicas para el entrenamiento intrahospitalario limita su eficacia para realizar un ejercicio físico dirigido y completo para el paciente con enfermedad pulmonar crónica que se encuentre hospitalizado por exacerbación de la patología. Esta carencia ha contribuido a un aumento en los ingresos hospitalarios, elevando la mortalidad y deteriorando la calidad de vida de los pacientes (28). La literatura revisada destaca modalidades como ejercicios aeróbicos, fuerza, otras como flexibilidad y equilibrio teniendo en cuenta los ejercicios respiratorios para llevar a cabo una oportuna construcción de ejercicios enfocados a la rehabilitación del paciente con enfermedad pulmonar, todas importantes para abordar diferentes aspectos en el entrenamiento y estabilizar la patología de base (29).

Implementar programas de rehabilitación adaptados a las necesidades de estos pacientes podría disminuir hospitalizaciones y costos, al integrar ejercicio físico y educación en salud. Para lograrlo es fundamental desarrollar y validar protocolos específicos de ejercicio, promover un enfoque interdisciplinario entre neumólogos, fisioterapeutas y especialistas en ejercicio y fomentar investigaciones que respalden la eficacia de estas intervenciones teniendo en cuenta que es un campo por valorado y estudiado por los profesionales en salud (1).

Entre los beneficios clave de las modalidades de ejercicio se destacan: los ejercicios aeróbicos los cuales mejoran la resistencia cardiovascular y la capacidad pulmonar, incrementando la tolerancia al ejercicio (30), tenemos los ejercicios de fuerza de las cuales no se ha podido establecer una base confiable ya que poco los trabajan en el proceso de entrenamientos donde potencializan la funcionalidad diaria al fortalecer la musculatura en general brindando potencia y calidad en la ejecución del movimiento funcional (12).

A pesar de estas ventajas, muchos programas se basan en investigaciones desactualizadas, lo que subraya la necesidad de actualizar las metodologías para reflejar mejor las necesidades actuales de los pacientes y contribuir al desarrollo funcional del paciente con enfermedades pulmonares crónicas.

CONCLUSIONES

De la búsqueda de los artículos se descartaron 146 por exclusividad, 497 por antigüedad, 314 por no ser relevantes y 8 por no cumplir criterios. Quedaron 275 artículos los cuales y a las lecturas ya realizados a partir del mendeley se seleccionaron 21 para el análisis, eligiendo 3 principales artículos que demostraron que por medio del ejercicio físico se podría generar una rehabilitación integral en pacientes hospitalizados por enfermedades respiratorias, donde se demuestra desde la evidencia científica que el entrenamiento físico para la rehabilitación pulmonar se puede plantear mediante un plan de ejercicios físicos (13), que mejora la tolerancia al ejercicio, reduce la estancia hospitalaria, incrementa la calidad de vida de los pacientes y disminuye los egresos hospitalarios, lo que a su vez reduce los costos de atención intra hospitalaria (24). Como también desarrolla una base fundamental en la prescripción del ejercicio dando claves para poder realizar entrenamiento físico en las áreas de hospitalización y posteriormente a consulta externa

Donde se concluye que los ejercicios más efectivos para la rehabilitación de pacientes con enfermedades pulmonares son los aeróbicos, de resistencia, fuerza y finalmente tienen en cuenta los ejercicios respiratorios como la base para mejorar la capacidad ventilatoria durante el proceso respiratorio, estos son fundamentales para mejorar la capacidad funcional y la calidad de vida en pacientes hospitalizados (25). Cabe destacar los siguientes elementos clave a) Mejora de la tolerancia al ejercicio con ejercicios aeróbicos y de resistencia aumentando la capacidad funcional, permitiendo a los pacientes realizar actividades diarias (26); b) Aumento de la fuerza muscular con ejercicios de resistencia fortalecen los músculos de la inspiración y la expiración (12); y c) Beneficios antiinflamatorios, ya que la actividad física regular puede tener efectos antiinflamatorios, ayudando a controlar la inflamación sistémica y pulmonar (27).

REFERENCIAS

1. Betancourt-Peña J, Suaza-Casañas D, Pazmiño-Ordoñez JC, Hurtado-Pantoja C, Parra-Liévano JA, Jiménez L, et al. Recomendaciones para la rehabilitación pulmonar en pacientes con COVID-19. Univ Salud. 2022;24(1):76-84. doi:10.22267/rus.222401.260.
2. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global strategy for the prevention, diagnosis and management of chronic obstructive pulmonary disease: 2025 report [Internet]. Fontana: Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease; 2025 [citado 7 oct 2025]. Disponible en: <https://goldcopd.org/2025-gold-report/>
3. Martín Luján F, Santigosa Ayala A. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica. AMF [Internet]. 2020;16(4):184-93. Disponible en: https://amf-semfyc.com/web/article_ver.php?id=2507

4. Hilbold E, Bär C, Thum T. COVID-19: insights into long-term manifestations and lockdown impacts. *J Sport Health Sci.* 2023;12(4):438-63. doi:10.1016/j.jshs.2023.02.006.
5. Carvajal Tello N, Segura Ordoñez A, Arias Balanta AJ. Rehabilitación pulmonar en fase hospitalaria y ambulatoria. *Rehabilitacion (Madr).* 2020;54(3):191-9. doi:10.1016/j.rh.2020.02.008.
6. Puhan MA, Gimeno-Santos E, Cates CJ, Troosters T. Pulmonary rehabilitation following exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016;12(12):CD005305. doi:10.1002/14651858.CD005305.pub4.
7. Ministerio de Salud y Protección Social. Informe anual de salud pública 2022 [Internet]. Bogotá: Ministerio de Salud y Protección Social; 2022 [citado 7 oct 2025]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co>
8. Agudelo Vélez CA, Martínez Sánchez LM, Ortiz Trujillo IC, Rodríguez Gázquez MA, Zuluaga Quintero M, Perilla Hernández N, et al. Perfil clínico y epidemiológico de pacientes con EPOC hospitalizados en un centro de alta complejidad de Medellín, Colombia. *Rev Investig Andina.* 2018;20(37):151-60. doi:10.33132/01248146.987.
9. Caballero A, Torres-Duque CA, Jaramillo C, Bolívar F, Sanabria F, Osorio P, et al. Prevalence of COPD in five Colombian cities situated at low, medium, and high altitude: PREPOCOL study. *Chest.* 2008;133(2):343-9. doi:10.1378/chest.07-1361.
10. Estrada-Alvarez JM, Orozco-Hernandez JP, Aristizabal-Franco LE. Validation of the COPD severity score for primary care in a Colombian population. *Biomedica.* 2020;40(4):664-72. doi:10.7705/biomedica.5123.
11. Muiño A, López Varela MV, Menezes AM. Prevalencia de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y factores de riesgo: proyecto PLATINO en Montevideo. *Rev Med Urug [Internet].* 2005;21. Disponible en: <https://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S1688-03902005000100006>
12. Padilla Colón CJ, Collado PS, Cuevas MJ. Beneficios del entrenamiento de fuerza para la prevención y el tratamiento de la sarcopenia. *Nutr Hosp.* 2014;29(5):979-88. doi:10.3305/nh.2014.29.5.7313.
13. Miravittles M, Calle M, Molina J, Almagro P, Gómez JT, Trigueros JA, et al. Spanish COPD Guidelines (GesEPOC) 2021: updated pharmacological treatment of stable COPD. *Arch Bronconeumol.* 2022;58(1):69-81. doi:10.1016/j.arbres.2021.03.005.
14. Carmona-Espejo A, González-Villén R. Terapia rehabilitadora en unidades de cuidados intensivos: revisión sistemática. *Retos.* 2022;46:758-66. doi:10.47197/retos.v46.94086.
15. Heyden-López F, Muñoz-Rojas D. Efecto de la rehabilitación pulmonar sobre la función respiratoria y la capacidad de ejercicio en personas adultas con enfermedad pulmonar crónica. *Acta Med Costarric.* 2020;62(4):181-6. doi:10.51481/amc.v62i4.1106.
16. Vargas-Pinilla OC, Peña-Córdoba C, Sandoval Rodríguez AL, Coronado-Flechas DC, Rodríguez-Grande EI. Hospital-based educational program for patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Rev Cienc Salud.* 2021;19(2):1-16. doi:10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.10283.
17. Figueira Gonçalves JM, Golpe R, Esteban C, Acosta-Sorensen M, Veiga I, Guzmán-Peralta I. Discordancia del tratamiento de la EPOC según GesEPOC y GOLD. *Rev Clin Esp.* 2021;221(9):536-9. doi:10.1016/j.rce.2021.01.009.
18. Soriano JB. Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet Respir Med.* 2020;8(6):585-96. doi:10.1016/S2213-2600(20)30105-3.
19. Warnken-Miralles MD, López-García F, Zamora-Molina L, Soler-Sempere MJ, Padilla-Navas I, García-Pachón E. Índice de sarcopenia en pacientes hospitalizados por agudización de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Medicina (B Aires).* 2021;81(3):323-8.
20. Voorn MJ, Driessen EJM, Reinders RJEF, van Kampen-van den Boogaart VEM, Bongers BC, Janssen-Heijnen MLG. Effects of exercise prehabilitation and rehabilitation in patients with lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Surg Oncol.* 2023;49(10):106909. doi:10.1016/j.ejso.2023.04.008.
21. Leemans G, Taeymans J, Van Royen P, Vissers D. Respiratory physiotherapy interventions focused on exercise training and enhancing physical activity levels in people with chronic obstructive pulmonary disease are likely to be cost-effective: a systematic review. *J Physiother.* 2021;67(4):271-83. doi:10.1016/j.jphys.2021.08.018.
22. Tortora GJ, Derrickson B. Principios de anatomía y fisiología. 16.ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2023.
23. Hall JE, Hall ME. Guyton y Hall. Tratado de fisiología médica. 14.ª ed. Barcelona: Elsevier; 2021.
24. Reuling EMBP, Naves DD, Hartemink KJ, van der Heijden EHF, Plaisier PW, Verhagen AFTM, et al. Morbidity and extent of surgical resection of carcinoid tumors after endobronchial treatment. *Eur J Surg Oncol.* 2021;47(12):2989-94. doi:10.1016/j.ejso.2021.05.025.
25. Tasleem A, Wang Y, Li K, Jiang X, Krishnan A, He C, et al. Effects of mental health interventions among people hospitalized with COVID-19 infection: a systematic review of randomized controlled trials. *Gen Hosp Psychiatry.* 2022;77:40-68. doi:10.1016/j.genhosppsych.2022.04.002.
26. Chacón Sevilla AE, Figueroa Soriano RO, Martínez Saravia ND, Gaitán Amador RA, Lanza Reyes YY. Ejercicio físico y terapia respiratoria post-COVID-19. *Retos.* 2023;47:339-46. doi:10.47197/retos.v47.93069.
27. Calcaterra V, Vandoni M, Rossi V, Berardo C, Grazi R, Cordaro E, et al. Use of physical activity and exercise to reduce inflammation in children and adolescents with obesity. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(11):6908. doi:10.3390/ijerph19116908.
28. Zugasti Murillo A, Casas Herrero Á. Síndrome de fragilidad y estado nutricional: valoración, prevención y tratamiento. *Nutr Hosp.* 2019;36(Supl 2):26-37. doi:10.20960/nh.02678.
29. López-Bueno R, Bláfoss R, Calatayud J, López-Sánchez GF, Smith L, Andersen LL, et al. Association between physical activity and odds of chronic conditions among workers in Spain. *Prev Chronic Dis.* 2020;17:E121. doi:10.5888/pcd17.200105.
30. Lara Blas L, Castillo D, Lacalzada Ó, Iturricastillo A. Ejercicio aeróbico y de fuerza en personas con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *MHSalud.* 2017;13(2):1-15. doi:10.15359/mhs.13-2.4.

Revisiones

Adaptaciones lipídicas musculares y hepáticas inducidas por el ejercicio en la diabetes mellitus tipo 2: una revisión sistemática



Eduardo Joel Cruzat^a , Mauricio Tauda^{a,*} 

^a Escuela de Kinesiología, Universidad Santo Tomás, Chile.

RESUMEN

Introducción: La diabetes tipo 2 (DT2) se caracteriza por resistencia a la insulina y acumulación de lípidos ectópicos en músculo e hígado. Esta disfunción contribuye al deterioro metabólico y aumenta el riesgo cardiovascular. El ejercicio físico se considera un pilar terapéutico, aunque no están bien definidos los efectos específicos de sus distintas modalidades sobre estos depósitos lipídicos.

Objetivo: Evaluar el impacto del ejercicio sobre los lípidos intramiocelulares (IMCL) e intrahepáticos (IHL) en adultos con DT2 e identificar los protocolos más efectivos.

Métodos: Revisión sistemática según PRISMA 2020 en PubMed, Scopus, Web of Science y Cochrane (2000–2023). Se incluyeron ensayos aleatorizados y cuasi-experimentales que analizaran ejercicio aeróbico, HIIT, fuerza o combinado, midiendo IMCL/IHL mediante RMN, ¹H-MRS o biopsia. El riesgo de sesgo se evaluó con RoB 2/ROBINS-I y la certeza de la evidencia con GRADE.

Resultados: Doce estudios (≈296 participantes, 49–59 años) fueron incluidos. El ejercicio aeróbico y el HIIT redujeron IHL entre un 30–45 %, incluso sin pérdida de peso. El entrenamiento combinado produjo efectos similares y mejoras adicionales en fuerza y perfil muscular. Los cambios en IMCL reflejaron una reorganización favorable hacia un “fenotipo tipo atleta”, caracterizado por gotas lipídicas pequeñas, intramiofibrilares y acopladas a mitocondrias (↑ PLIN5), asociado con mayor flexibilidad metabólica.

Conclusiones: El ejercicio, en especial el HIIT y los programas combinados, es eficaz para reducir IHL y optimizar el perfil de IMCL en DT2. Su prescripción debe individualizarse y puede potenciarse mediante estrategias dietéticas.

Palabras clave: Entrenamiento interválico de alta intensidad 1; resistencia a la insulina 2; diabetes 3; control glucémico 4; ejercicio físico 5.

Exercise-Induced Muscular and Hepatic Lipid Adaptations in Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review

ABSTRACT

Introduction: Type 2 diabetes (T2D) is characterized by insulin resistance and ectopic lipid accumulation in muscle and liver. This dysfunction contributes to metabolic impairment and increased cardiovascular risk. Physical exercise is considered a cornerstone therapy, although the specific effects of different exercise modalities on these lipid depots are not fully defined.

Objective: To evaluate the impact of exercise on intramyocellular lipids (IMCL) and intrahepatic lipids (IHL) in adults with T2D and to identify the most effective protocols.

Methods: A systematic review was conducted following PRISMA 2020 guidelines in PubMed, Scopus, Web of Science, and Cochrane (2000–2023). Randomized and quasi-experimental trials analyzing aerobic, HIIT, resistance, or combined training and assessing IMCL/IHL via MRI, ¹H-MRS, or biopsy were included. Risk of bias was evaluated with RoB 2/ROBINS-I, and certainty of evidence was rated using GRADE.

Results: Twelve studies (≈296 participants, 49–59 years) were included. Aerobic exercise and HIIT reduced IHL by 30–45 %, even without weight loss. Combined training produced similar reductions and additional improvements in strength and muscle profile. Changes in IMCL reflected a favorable reorganization toward an “athlete-like phenotype,” characterized by small, intramyofibrillar lipid droplets coupled to mitochondria (↑ PLIN5), associated with greater metabolic flexibility.

Conclusions: Exercise, particularly HIIT and combined programs, is effective in reducing IHL and optimizing IMCL profile in T2D. Prescription should be individualized and may be enhanced by dietary strategies.

* Autor de correspondencia: Mauricio Tauda. Escuela de Kinesiología, Universidad Santo Tomás, Valdivia, Chile. E-mail: mauro.tuada@gmail.com (Mauricio Tauda)

Keywords: High-Intensity interval training 1; insulin resistance 2; diabetes 3; glycemic control 4; physical exercise 5.

Adaptações lipídicas musculares e hepáticas induzidas pelo exercício no diabetes mellitus tipo 2: uma revisão sistemática

RESUMO

Introdução: O diabetes tipo 2 (DT2) caracteriza-se pela resistência à insulina e pelo acúmulo de lipídios ectópicos no músculo e no fígado. Essa disfunção contribui para a deterioração metabólica e aumenta o risco cardiovascular. O exercício físico é considerado um dos pilares do tratamento, embora os efeitos específicos de suas diferentes modalidades sobre esses depósitos lipídicos ainda não estejam bem definidos.

Objetivo: Avaliar o impacto do exercício sobre os lipídios intramiocelulares (IMCL) e intra-hepáticos (IHL) em adultos com DT2 e identificar os protocolos mais eficazes.

Métodos: Revisão sistemática segundo as diretrizes PRISMA 2020 nas bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science e Cochrane (2000–2023). Foram incluídos ensaios randomizados e estudos quase experimentais que analisaram exercício aeróbico, HIIT, treinamento de força ou treinamento combinado, avaliando IMCL/IHL por meio de ressonância magnética, ¹H-MRS ou biópsia. O risco de viés foi avaliado com RoB 2/ROBINS-I, e a certeza da evidência, com GRADE.

Resultados: Foram incluídos 12 estudos (~296 participantes, 49–59 anos). O exercício aeróbico e o HIIT reduziram os IHL entre 30 % e 45 %, mesmo sem perda de peso. O treinamento combinado produziu efeitos semelhantes e melhorias adicionais na força e no perfil muscular. As alterações nos IMCL refletiram uma reorganização favorável em direção a um “fenótipo semelhante ao de atleta”, caracterizado por pequenas gotículas lipídicas intramiocelulares acopladas às mitocôndrias (↑ PLIN5), associado a uma maior flexibilidade metabólica.

Conclusões: O exercício, especialmente o HIIT e os programas combinados, é eficaz na redução dos IHL e na otimização do perfil dos IMCL em adultos com DT2. Sua prescrição deve ser individualizada e pode ser potencializada por estratégias dietéticas.

Palavras-chave: treinamento intervalado de alta intensidade; resistência à insulina; diabetes tipo 2; controle glicêmico; exercício físico.

INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus tipo 2 (DT2) constituye una de las principales enfermedades metabólicas crónicas a nivel mundial, representando más del 90 % de los casos de diabetes y afectando a más de 500 millones de personas adultas (1). Su etiología involucra una compleja interacción entre predisposición genética, estilos de vida y factores ambientales, caracterizándose por hiperglucemia crónica secundaria a defectos combinados en la secreción de insulina y en su acción periférica (2). La resistencia a la insulina es el elemento fisiopatológico central de la DT2 y el principal determinante de sus complicaciones micro y macrovasculares (3). En este contexto, la alteración del metabolismo lipídico emerge como un componente clave, ya que la acumulación ectópica de lípidos en tejidos no adiposos, particularmente en músculo esquelético e hígado, se asocia estrechamente con disfunción metabólica y deterioro de la sensibilidad a la insulina (4,5).

En el músculo esquelético, los ácidos grasos se almacenan como triglicéridos intramiocelulares (IMCL) en gotas lipídicas que actúan como organelos dinámicos, cuya movilización depende de las demandas energéticas celulares (6). El tamaño, número y localización subcelular de estas gotas, así como su asociación con proteínas de la familia perilipina (PLIN), determinan su destino metabólico y su impacto en la señalización insulínica (7). En este sentido, la perilipina-2 (PLIN2) se asocia a un almacenamiento más estático de triglicéridos, limitando el acceso de lipasas como la adiposa triglyceride lipase (ATGL), mientras que la perilipina-5 (PLIN5) favorece la movilización y oxidación de ácidos grasos al facilitar la interacción funcional entre la gota lipídica y la mitocondria (7,8). Este proceso, conocido como tethering o interacción gota-mitocondria, optimiza la transferencia de ácidos grasos para su oxidación durante la contracción muscular.

En personas con DT2, la organización de las gotas lipídicas difiere notablemente de la observada en atletas de resistencia. En sujetos insulinoresistentes, el exceso de IMCL se acumula en

pocas gotas de gran tamaño, predominantemente subsarcolémicas, con elevada expresión de PLIN2 y escasa asociación mitocondrial. En contraste, en atletas entrenados predominan numerosas gotas pequeñas localizadas en la región intramiocelular, estrechamente acopladas a mitocondrias y recubiertas de PLIN5 (9,10). Esta configuración, conocida como “fenotipo tipo atleta”, se asocia con una elevada capacidad oxidativa y mayor flexibilidad metabólica, explicando la denominada paradoja del atleta: altos niveles de IMCL coexistiendo con una excelente sensibilidad a la insulina (10,11).

De forma análoga, el hígado en personas con DT2 presenta con frecuencia acumulación de lípidos intrahepáticos (IHL), contribuyendo al desarrollo de hígado graso no alcohólico y a la resistencia hepática a la insulina (4,5). A diferencia del músculo, donde las adaptaciones inducidas por el ejercicio son principalmente cualitativas, en el hígado el entrenamiento físico suele inducir una reducción cuantitativa del contenido de triglicéridos intrahepáticos (12-14). Esta disminución de IHL puede ocurrir incluso sin pérdida de peso significativa y se asocia a mejoras en la homeostasis glucémica y en la sensibilidad insulínica global (14,15). Entre los mecanismos propuestos se incluyen una menor disponibilidad de ácidos grasos circulantes hacia el hígado, reducción de la lipogénesis de novo y un aumento del uso oxidativo de lípidos inducido por el entrenamiento (16).

El ejercicio físico se ha consolidado como una intervención terapéutica fundamental en el manejo de la DT2 por su capacidad para mejorar la sensibilidad a la insulina, reducir la glucemia y modular los depósitos lipídicos ectópicos. Sin embargo, persisten vacíos relevantes en la literatura. La mayoría de los estudios se han realizado en población sana u obesa, mientras que los datos específicos en personas con DT2 siguen siendo limitados (17). Además, los efectos diferenciales del ejercicio agudo frente al entrenamiento crónico sobre la remodelación de IMCL e IHL, así como el impacto relativo de distintas modalidades de ejercicio y del estado nutricional, no han sido sistemáticamente evaluados en esta población.

La heterogeneidad metodológica de los estudios disponibles y la ausencia de síntesis integradoras dificultan establecer conclusiones firmes que orienten la práctica clínica y la prescripción del ejercicio en personas con DT2. En este contexto, resulta necesaria una revisión sistemática que integre la evidencia actual, identifique patrones de respuesta y señale lagunas de conocimiento. Por ello, el objetivo de la presente revisión es analizar de manera exhaustiva los efectos agudos y crónicos del ejercicio físico sobre los depósitos lipídicos intramiocelulares e intrahepáticos y su relación con la sensibilidad a la insulina en adultos con DT2.

METODOLOGÍA

Diseño del estudio y criterios de elegibilidad

Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo las recomendaciones PRISMA 2020. Se consideraron elegibles los ensayos clínicos aleatorizados, los estudios clínicos controlados no aleatorizados y los estudios cuasiexperimentales realizados en adultos de 18 años o más con diagnóstico confirmado de diabetes mellitus tipo 2 según criterios clínicos reconocidos. Los estudios debían analizar intervenciones de ejercicio aeróbico, entrenamiento interválico de alta intensidad —incluidos HIIT o SIT— o programas combinados de ejercicio aeróbico y entrenamiento de fuerza. Se admitieron tanto intervenciones agudas, correspondientes a una única sesión, como intervenciones crónicas con una duración mínima de dos semanas. Como comparador se aceptó el estado basal del mismo grupo o un grupo control sin intervención de ejercicio.

Los desenlaces primarios fueron los cambios en el contenido o en las características de los lípidos intramiocelulares (IMCL) y los lípidos intrahepáticos (IHL), evaluados mediante técnicas validadas como resonancia magnética, espectroscopia o biopsia. Como desenlaces secundarios se consideraron los cambios en la morfología de las gotas lipídicas, la expresión de PLIN2 y PLIN5, la interacción entre las gotas lipídicas y las mitocondrias, la oxidación de ácidos grasos y la sensibilidad a la insulina. Se incluyeron estudios publicados en inglés o español desde el año 2000 hasta diciembre de 2025.

Se excluyeron los estudios realizados en animales o mediante modelos *in vitro*, así como las revisiones narrativas, editoriales, cartas y comentarios. También se excluyeron las intervenciones multifactoriales en las que no fuera posible analizar de forma independiente el efecto del ejercicio, como los programas combinados de ejercicio y dieta sin presentación separada de los resultados. Asimismo, se descartaron los estudios que no incluyeran mediciones directas o indirectas de IMCL o IHL, las publicaciones duplicadas y aquellas con información incompleta.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda sistemática se realizó en PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Cochrane Library y Google Scholar. De forma complementaria, se revisaron las listas de referencias de los artículos incluidos y los registros de ensayos clínicos ClinicalTrials.gov y WHO ICTRP. La última búsqueda se efectuó el 15 de diciembre de 2025.

La estrategia de búsqueda combinó términos controlados, incluidos descriptores MeSH y Emtree, con palabras libres relacionadas con el ejercicio físico, los lípidos intramiocelulares e intrahepáticos y la diabetes tipo 2. La ecuación general de búsqueda fue la siguiente:

("Exercise"[Mesh] OR "physical activity" OR "aerobic training" OR "high-intensity interval training" OR HIIT) AND ("Intramiocellular lipid" OR IMCL OR "Intrahepatic lipid" OR IHL OR "Lipid droplets"

OR "Perilipin" OR PLIN2 OR PLIN5) AND ("Mitochondria" OR "Fat oxidation" OR "Insulin sensitivity") AND ("Diabetes Mellitus, Type 2"[Mesh] OR T2DM).

Selección de los estudios y extracción de datos

Dos revisores evaluaron de forma independiente los registros identificados. El proceso de selección se desarrolló en dos etapas: inicialmente se realizó el cribado de los títulos y resúmenes y, posteriormente, se revisaron los textos completos para confirmar el cumplimiento de los criterios de elegibilidad. Las discrepancias entre los revisores se resolvieron mediante consenso o con la participación de un tercer revisor. El proceso completo de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios se representó mediante un diagrama de flujo PRISMA 2020.

La información se recopiló mediante una hoja de extracción estandarizada. Para cada estudio se registraron el autor y el año de publicación, el país, el diseño, las características de la población —incluidos el tamaño muestral, la edad y el índice de masa corporal—, las características de la intervención —tipo, intensidad, duración y modalidad—, los métodos de medición y los resultados primarios y secundarios. La extracción de los datos fue realizada de forma independiente por dos revisores.

Evaluación metodológica y síntesis de los resultados

El riesgo de sesgo de los ensayos aleatorizados se evaluó mediante la herramienta RoB 2 de Cochrane. Dado que el análisis principal se centró en los ensayos aleatorizados, no se aplicó la herramienta ROBINS-I a los estudios no aleatorizados.

Los resultados se expresaron como cambios absolutos o relativos en los IMCL y los IHL, acompañados de sus intervalos de confianza del 95 % cuando estuvieron disponibles. Debido a la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos, no se realizó un metaanálisis. En su lugar, se llevó a cabo una síntesis narrativa estructurada, agrupando los resultados según el tipo de ejercicio, la modalidad aguda o crónica de la intervención, la localización del depósito lipídico —IMCL o IHL— y las características metabólicas de la población.

La certeza global de la evidencia para cada desenlace primario se evaluó mediante el enfoque GRADE, considerando el riesgo de sesgo, la inconsistencia, la indirectitud, la imprecisión y el sesgo de publicación. La evidencia se clasificó como de certeza alta, moderada, baja o muy baja, y los resultados se presentaron en tablas de resumen de hallazgos (*Summary of Findings*).

RESULTADOS

Se identificaron 1.230 registros en las bases de datos electrónicas. Tras eliminar 250 duplicados, se cribaron 980 títulos y resúmenes, de los cuales 900 fueron excluidos por no cumplir los criterios de inclusión. Se evaluaron 80 textos completos y finalmente se incluyeron 12 estudios en la síntesis narrativa (Figura 1, diagrama PRISMA). Los estudios incluidos (8 ensayos clínicos aleatorizados y 4 cuasiexperimentales), publicados entre 2001 y 2019, abarcaron aproximadamente 296 adultos con diabetes mellitus tipo 2, algunos con diagnóstico concomitante de hígado graso no alcohólico. La edad media osciló entre 49 y 59 años. La duración de las intervenciones varió entre 2 semanas y 6 meses.

Las intervenciones incluyeron entrenamiento aeróbico continuo de intensidad moderada (50–70 % $\text{VO}_2\text{máx}$), entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT/SIT; 85–100 % VO_2pico), entrenamiento de fuerza, programas combinados aeróbico-fuerza y, en algunos casos, ejercicio asociado a intervención dietética. La frecuencia fue generalmente de 3 sesiones semanales, con

Tabla 1. Evaluación del riesgo de sesgo ROB.

Estudio (año)	Generación aleatoria	Ocultación de la asignación	Desviaciones de la intervención	Datos faltantes	Medición del resultado	Riesgo global
Bacchi et al., 2013 (12)	Bajo	Incierto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Sullivan et al., 2012 (15)	Bajo	Incierto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Shaw et al., 2012 (18)	Incierto	Incierto	Bajo	Bajo	Bajo	Algunas preocupaciones
Meex et al., 2010 (19)	Incierto	Incierto	Bajo	Bajo	Bajo	Algunas preocupaciones
Tamura et al., 2005 (20)	Incierto	Incierto	Bajo	Bajo	Bajo	Algunas preocupaciones
Otten et al., 2017 (21)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Sjöros et al., 2019 (22)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Shepherd et al., 2013 (23)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Nielsen et al., 2010 (24)	Incierto	Incierto	Bajo	Bajo	Bajo	Algunas preocupaciones
Boudou et al., 2001 (25)	Incierto	Incierto	Bajo	Bajo	Bajo	Algunas preocupaciones
Winding et al., 2018 (26)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Cassidy et al., 2016 (13)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

duraciones de 30–60 minutos por sesión. Los métodos de evaluación incluyeron resonancia magnética, espectroscopía por protón y biopsias musculares para cuantificar lípidos intrahepáticos (IHL), intramiocelulares (IMCL) y proteínas asociadas a gotas lipídicas (PLIN2, PLIN5).

La mayoría de los estudios reportó reducciones significativas del IHL, con descensos aproximados del 30–45 % tras programas aeróbicos o HIIT, incluso en ausencia de pérdida de peso significativa. La combinación de ejercicio con dieta hipocalórica o paleolítica produjo reducciones aún mayores, alcanzando valores cercanos al 45 % en intervenciones de corta duración. Los protocolos HIIT mostraron efectos similares o superiores al entrenamiento continuo, pese a un menor volumen total de ejercicio.

En el músculo esquelético, varios estudios describieron un aumento del IMCL asociado a un “fenotipo tipo atleta”, caracterizado por una redistribución hacia gotas lipídicas más pequeñas, intramiocelulares y estrechamente acopladas a mitocondrias, junto con mayor expresión de PLIN5. Este patrón se asoció a mejoras en la oxidación de ácidos grasos y sensibilidad a la insulina, en contraste con la acumulación lipídica subsarcoplémica y rica en PLIN2 observada en sujetos sedentarios con DT2. El HIIT favoreció una remodelación rápida del IMCL, mientras que el entrenamiento de fuerza contribuyó a adaptaciones estructurales complementarias.

El riesgo de sesgo fue predominantemente bajo, aunque algunos estudios presentaron información incompleta sobre los procesos de aleatorización y ocultación de la asignación. Según el enfoque GRADE, la certeza de la evidencia fue **moderada** para los desenlaces primarios (IMCL e IHL), limitada principalmente por el tamaño reducido de las muestras y la heterogeneidad metodológica.

de los cuales se excluyeron 900 por no cumplir los criterios de inclusión. Se evaluaron 80 textos completos y se excluyeron 68 por razones metodológicas o de diseño (p. ej., no evaluaban lípidos, ausencia de ejercicio supervisado, intervenciones multifactoriales o datos insuficientes). Finalmente, se incluyeron 12 estudios en la revisión sistemática.

La evaluación del riesgo de sesgo [Tabla 1](#), mediante la herramienta RoB 2 indicó un riesgo global bajo en la mayoría de los estudios. Se identificaron algunas preocupaciones relacionadas con la generación aleatoria y la ocultación de la asignación en ciertos trabajos, debido a descripciones metodológicas incompletas. Las desviaciones de la intervención presentaron bajo riesgo en todos los estudios, ya que los programas de ejercicio fueron controlados y supervisados. El riesgo por datos faltantes fue generalmente bajo, con excepciones puntuales asociadas a pérdidas de seguimiento. La medición de los resultados mostró bajo riesgo en todos los estudios, dado el uso de técnicas objetivas y validadas para la evaluación de IMCL e IHL. En conjunto, no se identificaron sesgos sistemáticos que comprometan la validez global de la síntesis narrativa.

Además la certeza de la evidencia para ambos resultados primarios se califica como moderada debido a: Limitaciones metodológicas en algunos estudios (riesgo de sesgo por falta de detalles en aleatorización y ocultación). Tamaños muestrales relativamente pequeños que generan cierta imprecisión. A pesar de ello, los efectos son consistentes y directamente aplicables a la población con DT2.

La revisión incluyó 12 estudios (8 ensayos clínicos aleatorizados y 4 cuasi-experimentales) publicados entre 2001 y 2019, con un total aproximado de 296 participantes adultos con diabetes tipo 2 (algunos con NAFLD). Las muestras fueron predominantemente mixtas en sexo, con edades promedio entre 49 y 59 años. Las intervenciones abarcaron ejercicio aeróbico continuo, entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT o SIT), programas combinados aeróbico + fuerza y, en algunos casos, ejercicio asociado a dieta. La duración de los programas varió de 2 semanas (intervenciones agudas) a 6 meses (entrenamiento prolongado), con frecuencias de 3 a 5 sesiones por semana. Las mediciones de los depósitos lipídicos se realizaron principalmente mediante resonancia magnética nuclear (RMN) y espectroscopía por protón (¹H-MRS) para IHL, y biopsias musculares para IMCL y proteínas asociadas (PLIN2, PLIN5). Algunos estudios evaluaron parámetros adicionales como contacto gota-mitocondria, grasa visceral o sensibilidad a la insulina. En conjunto, los estudios reportaron una reducción consistente de IHL del orden del 30–45 % tras programas aeróbicos o HIIT, independiente de la pérdida de peso. En IMCL, se observó una reorganización cualitativa hacia el “fenotipo tipo atleta”, con aumento de PLIN5 y contacto gota-mitocondria, asociado a mejora de la flexibilidad metabólica y la sensibilidad insulínica.

Los estudios analizados identifican cuatro modalidades principales de entrenamiento aplicadas en individuos con diabetes tipo 2 (DT2) y/o enfermedad hepática grasa no alcohólica (NAFLD): aeróbico continuo (MICT), interválico de alta intensidad (HIIT/SIT), fuerza/resistencia y entrenamiento combi-nado. Cada modalidad

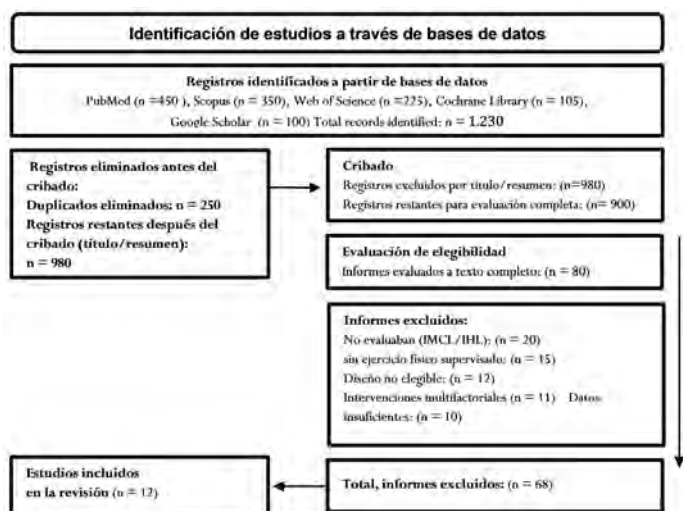
**Figura 1.** Diagrama de flujo PRISMA 2020.

Figura 1. Se identificaron 1.230 registros en las bases de datos (PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library y Google Scholar). Tras eliminar 250 duplicados, se cribaron 980 títulos y resúmenes,

Tabla 2. Características principales de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

Autor (año)	Diseño	N (H/M)	Edad (años)	Población	Modalidad de ejercicio	Duración	Intensidad	Medición IMCL / IHL	Principal hallazgo
Bacchi et al., 2013 (12)	ECA	50 (28/22)	59 ± 7	DT2 + NAFLD	Aeróbico vs fuerza	16 sem	60–70% VO ₂ máx / 70% 1RM	RMN hepática (IHL)	↓ IHL 30–35 % en ambos grupos
Sullivan et al., 2012 (15)	ECA	18 (9/9)	49 ± 10	NAFLD (algunos DT2)	Aeróbico continuo	4 sem	~50–60% VO ₂ máx	RMN hepática (IHL)	↓ IHL 10.3 % sin pérdida de peso
Shaw et al., 2012 (18)	Cuasi-ECA	18 (10/8)	58 ± 6	DT2	Aeróbico prolongado	6 meses	55–70% VO ₂ máx	Biopsia muscular (IMCL, PLIN2)	Reorganización IMCL con ↓ IMCL ~40 %
Meex et al., 2010 (19)	Cuasi-ECA	12 (NR)	59 ± 8	DT2 vs controles	Aeróbico + fuerza	12 sem	60–70% VO ₂ máx / 65–70% 1RM	¹ H-MRS + biopsia	Fenotipo “tipo atleta” con ↓ IMCL 45–50 %
Tamura et al., 2005 (20)	ECA	20 (12/8)	54 ± 9	DT2	Dieta + ejercicio	2 sem	50–60% VO ₂ máx	RMN hepática y muscular	↓ IHL ~40 % y ↓ IMCL
Otten et al., 2017 (21)	ECA	32 (12/20)	59 ± 7	DT2	Dieta paleolítica ± ejercicio	12 sem	60–70% FC reserva	RMN hepática (IHL)	↓ IHL 35–45 % (grasa hepática)
Sjöros et al., 2019 (22)	ECA	44 (NR)	54 ± 8	DT2 / prediabetes	SIT vs MICT	2 sem	SIT: ~200% VO ₂ pico / MICT: 60% VO ₂ pico	¹ H-MRS (IMCL)	Respuesta heterogénea IMCL con ↓ IMCL 20–30 %
Shepherd et al., 2013 (23)	ECA	16 (H)	53 ± 6	DT2	HIIT vs continuo	6 sem	HIIT: ~200% Wpico	Biopsia muscular (IMCL, PLIN)	↓ PLIN5 (~30 %) y mayor degradación de IMTG
Nielsen et al., 2010 (24)	Cuasi-ECA	14 (NR)	56 ± 7	DT2 sedentarios	Endurance	10 sem	~65% VO ₂ máx	Biopsia + EM	↓ contacto gota-mitocondria (reorganización cualitativa IMCL)
Boudou et al., 2001 (25)	ECA	12 (H)	52 ± 6	DT2	Aeróbico intermitente	8 sem	60–70% VO ₂ máx	MRI (grasa visceral)	↓ grasa visceral ~20 %
Winding et al., 2018 (26)	ECA	32 (NR)	57 ± 8	DT2	HIIT bajo volumen	12 sem	~90% VO ₂ pico	¹ H-MRS hepática (IHL)	↓ IHL ~30 % y mejora de HbA1c
Cassidy et al., 2016 (13)	ECA	28 (NR)	56 ± 9	DT2	HIIT intermitente	12 sem	~90% VO ₂ pico	MRI hepática (IHL)	↓ IHL 25–35 %

Nota Estudios incluidos en la revisión. IMCL: Intramiocelular lipid (lípidos intramiocelulares) IHL: Intrahepatic lipid (lípidos intrahepáticos) HIIT: High-intensity interval training (entrenamiento interválico de alta intensidad) SIT: Sprint interval training (entrenamiento por intervalos de sprints). MICT: Moderate-intensity continuous training (entrenamiento continuo de intensidad moderada). DT2: Diabetes mellitus tipo 2. NAFLD: Non-alcoholic fatty liver disease (enfermedad hepática grasa no alcohólica). RMN / MRI: Resonancia magnética nuclear. MRS: Magnetic resonance spectroscopy (espectroscopia por resonancia magnética)

Tabla 3. Parámetros de entrenamiento recomendados.

Modalidad de ejercicio	Intensidad recomendada	Frecuencia	Volumen	Duración mínima eficaz	Observaciones
Aeróbico continuo (MICT)	50–70 % VO ₂ máx o 60–75 % FC reserva	3–5 veces/semana	30–60 min por sesión	≥ 4–12 semanas	Reducción consistente del IHL y mejora de la sensibilidad a la insulina, independiente de la pérdida de peso corporal (12,15).
Entrenamiento interválico (HIIT/SIT)	85–100 % VO ₂ pico (intervalos de 30 s–1 min)	3 veces/semana	4–10 intervalos con recuperación activa	≥ 2–12 semanas	Reducciones rápidas del IHL y reorganización favorable del IMCL, con alta eficiencia temporal y potencial mejor adherencia (13,22,26).
Fuerza / resistencia	60–80 % 1RM (progresivo)	2–3 veces/semana	2–3 series de 8–12 repeticiones	≥ 12 semanas	Utilizado principalmente en programas combinados, mejora la fuerza y promueve una reorganización del IMCL hacia un “fenotipo tipo atleta”, favoreciendo la flexibilidad metabólica (12,19).
Combinado (aeróbico + fuerza)	60–70 % VO ₂ máx + 60–70 % 1RM	3 veces/semana	Aeróbico ~30 min + fuerza 2–3 series	≥ 12 semanas	Efecto sinérgico: reducción del IHL y optimización simultánea del perfil muscular y metabólico, observado de forma consistente en intervenciones de mediana duración (19,27).

Nota MICT: Moderate-intensity continuous training (entrenamiento continuo de intensidad moderada). HIIT: High-intensity interval training (entrenamiento interválico de alta intensidad). SIT: Sprint interval training (entrenamiento interválico de sprints). VO₂ máx: Consumo máximo de oxígeno. VO₂ pico: Consumo pico de oxígeno. 1RM: Repetición máxima. FC reserva: Frecuencia cardíaca de reserva. IMCL: Intramiocelular lipid (lípidos intramiocelulares). IHL: Intrahepatic lipid (lípidos intrahepáticos). NAFLD: Non-alcoholic fatty liver disease (enfermedad hepática grasa no alcohólica)

presenta diferencias en intensidad, frecuencia, volumen y duración, pero todas comparten un objetivo común: modular el contenido de lípidos hepáticos (IHL) e intramiocelulares (IMCL) y mejorar la flexibilidad metabólica.

En los programas de ejercicio aeróbico continuo de intensidad moderada (MICT), la intensidad se situó entre el 50 % y el 70 % del VO₂ máx o entre el 60 % y el 75 % de la frecuencia cardíaca de reserva. Las intervenciones comprendieron entre tres y cinco sesiones semanales de 30 a 60 minutos, desarrolladas durante periodos de entre 4 y 12 semanas. Los estudios incluidos mostraron reducciones significativas del contenido de lípidos intrahepáticos (IHL), incluso en ausencia de pérdida de peso, junto con mejoras en la sensibilidad a la insulina y en diferentes parámetros cardiometabólicos (12,15).

El entrenamiento interválico de alta intensidad, incluidas las modalidades HIIT y SIT, se caracterizó por esfuerzos próximos al 85–100 % del VO₂ pico, generalmente organizados en intervalos de entre 30 segundos y 1 minuto. Los protocolos se realizaron habitualmente tres veces por semana e incluyeron entre 4 y 10 intervalos con periodos de recuperación activa. Se observaron adaptaciones desde las 2 semanas de intervención, aunque otros programas se prolongaron hasta las 12 semanas (22,26). Esta modalidad produjo reducciones rápidas del contenido de IHL y una reorganización favorable de los lípidos intramiocelulares (IMCL) hacia un perfil «tipo atleta», asociada con una mayor oxidación lipídica y una mejor sensibilidad a la insulina. Además, el menor tiempo necesario para completar las sesiones puede favorecer la adherencia al programa.

En relación con el entrenamiento de fuerza o contra resistencia, los protocolos emplearon intensidades comprendidas entre el 60 % y el 80 % de una repetición máxima (1RM), con una progresión gradual de la carga. Generalmente, se realizaron entre dos y tres sesiones semanales, compuestas por dos o tres series de 8 a 12 repeticiones. Las intervenciones tuvieron una duración mínima aproximada de 12 semanas para observar modificaciones relevantes en los IMCL. Aunque esta modalidad no produjo reducciones del contenido de IHL tan marcadas como las observadas con el ejercicio aeróbico, favoreció una reorganización de los depósitos lipídicos intramusculares hacia un perfil metabólicamente más funcional y mejoró la flexibilidad metabólica y la fuerza muscular (12,19).

Los programas de entrenamiento combinado integraron ejercicio aeróbico realizado aproximadamente al 60–70 % del VO_2 máx y entrenamiento de fuerza con cargas cercanas al 60–70 % de 1RM. Habitualmente se desarrollaron tres sesiones semanales, en las que se combinaron alrededor de 30 minutos de ejercicio aeróbico con dos o tres series de ejercicios de fuerza, durante intervenciones de aproximadamente 12 semanas. Esta modalidad produjo efectos complementarios, ya que redujo el contenido de IHL de forma comparable al ejercicio aeróbico continuo y, simultáneamente, mejoró la fuerza muscular, el perfil de los IMCL, la oxidación de lípidos y la capacidad funcional (19,27).

En conjunto, las modalidades de ejercicio analizadas mostraron efectos favorables sobre el metabolismo lipídico en adultos con diabetes tipo 2. No obstante, el HIIT y los programas combinados parecen producir adaptaciones más rápidas o más amplias, especialmente en relación con la reducción del contenido de IHL y la mejora de la flexibilidad metabólica. Por tanto, la selección del programa debe individualizarse de acuerdo con el estado físico inicial, las preferencias y la disponibilidad de tiempo de cada paciente.

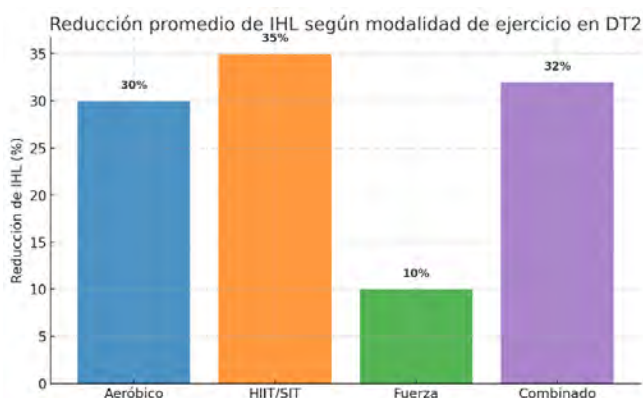


Figura 2. Efecto de las modalidades de ejercicio sobre IHL e IMCL en DT2.

La imagen muestra un gráfico de barras que compara la reducción del contenido de lípidos intrahepáticos (IHL) según diferentes modalidades de ejercicio. El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT/SIT) presenta la mayor disminución, con un 35 %, seguido del entrenamiento combinado aeróbico y de fuerza con un 32 %. El ejercicio aeróbico continuo (MICT) logra una reducción del 30 %, mientras que el entrenamiento de fuerza aislado muestra el menor efecto, con apenas un 10 %. Estos datos indican que las modalidades interválicas y combinadas son las más eficaces para reducir IHL, superando al aeróbico continuo y, especialmente, al entrenamiento de fuerza por sí solo.

DISCUSIÓN

Esta revisión sistemática sintetiza la evidencia disponible sobre los efectos del ejercicio físico en los depósitos lipídicos intramiocelulares (IMCL) e intrahepáticos (IHL) en adultos con diabetes mellitus tipo 2 (DT2), integrando los resultados de 12 estudios (8 ensayos clínicos aleatorizados y 4 estudios cuasi-experimentales). En conjunto, los hallazgos confirman que el ejercicio

induce adaptaciones metabólicas favorables tanto a nivel hepático como muscular, aunque a través de mecanismos diferenciados según el tejido, la modalidad de ejercicio y la duración de la intervención.

Uno de los principales hallazgos de esta revisión es la reducción consistente del contenido de lípidos intrahepáticos, con disminuciones del orden del 30–45 % tras programas de ejercicio aeróbico continuo o entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), incluso en ausencia de pérdida de peso significativa. Este efecto refuerza la noción de que el ejercicio ejerce beneficios directos sobre el metabolismo hepático, más allá de los cambios en la masa corporal, probablemente mediados por una menor disponibilidad de ácidos grasos circulantes, una reducción de la lipogénesis de novo y un aumento del uso oxidativo de lípidos. Desde una perspectiva clínica, estos resultados respaldan el papel del ejercicio como intervención clave en la reducción del riesgo metabólico asociado al hígado graso no alcohólico en personas con DT2.

En concordancia con revisiones previas, los programas aeróbicos de intensidad moderada y el HIIT demostraron ser eficaces para reducir el IHL (17). Sin embargo, el presente trabajo amplía la evidencia existente al mostrar que el HIIT puede inducir reducciones comparables o incluso superiores con un menor volumen total de ejercicio y en periodos más cortos. Este hallazgo es particularmente relevante en poblaciones con baja adherencia al ejercicio o con limitaciones de tiempo, sugiriendo que protocolos interválicos podrían representar una estrategia terapéutica eficiente y factible en el manejo de la DT2 (13,26).

En contraste con el patrón observado en el hígado, los cambios en el músculo esquelético no se caracterizan necesariamente por una disminución del contenido total de IMCL, sino por una reorganización cualitativa de los depósitos lipídicos (9,19). Los estudios incluidos muestran de forma consistente un desplazamiento hacia un “fenotipo tipo atleta”, con gotas lipídicas más pequeñas, localizadas en la región intramiofibrilar, mayor acoplamiento con mitocondrias y aumento de la expresión de PLIN5 (7). Esta reorganización se asocia con una mejora de la flexibilidad metabólica y de la sensibilidad a la insulina, lo que permite reconciliar la aparente contradicción descrita en la literatura entre altos niveles de IMCL y buen control metabólico, conocida como la “paradoja del atleta” (10,11).

Este hallazgo aporta un matiz relevante a estudios previos que reportaron asociaciones inconsistentes entre IMCL y resistencia a la insulina (28,29), subrayando que el impacto metabólico de los lípidos intramusculares depende más de su organización subcelular y de su interacción con la maquinaria oxidativa que de su cantidad absoluta (9). En este sentido, la evidencia analizada sugiere que el ejercicio transforma un almacenamiento lipídico potencialmente lipotóxico en un reservorio energético funcional, especialmente en sujetos con DT2.

No obstante, la interpretación de estos resultados debe considerar varias limitaciones. Existe una heterogeneidad considerable en los protocolos de ejercicio, con duraciones que oscilan entre 2 y 24 semanas, diferentes intensidades y modalidades de entrenamiento, así como variabilidad en los métodos de medición de IMCL e IHL (^1H -MRS, resonancia magnética y biopsias musculares (30)). Además, varios estudios presentan tamaños muestrales reducidos y reportan información incompleta sobre los procedimientos de aleatorización y ocultación de la asignación, lo que introduce cierta incertidumbre en la evaluación del riesgo de sesgo. Estas limitaciones metodológicas impidieron la realización de un metaanálisis cuantitativo y obligan a interpretar los resultados con cautela.

A pesar de estas limitaciones, la consistencia de los hallazgos —reducción del IHL y reorganización favorable del IMCL— respalda la solidez global de la evidencia. En conjunto, esta revisión refuerza la consideración del ejercicio físico como una terapia de primera línea en el manejo de la DT2 asociada a acumulación ectópica de lípidos, y destaca la necesidad de enfoques de entrenamiento que no solo busquen reducir la grasa hepática, sino también optimizar la calidad del almacenamiento lipídico muscular (31). Futuros estudios

con mayor tamaño muestral, seguimiento prolongado y evaluación integrada de variables moleculares y clínicas permitirán profundizar en estos mecanismos y afinar las recomendaciones de prescripción del ejercicio en esta población.

CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática demuestra que el ejercicio físico supervisado y estructurado induce adaptaciones favorables en el metabolismo lipídico del músculo esquelético y del hígado en adultos con diabetes tipo 2. Los programas de entrenamiento aeróbico continuo y, especialmente, el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT/SIT) reducen de manera consistente el contenido de lípidos intrahepáticos entre un 30 % y 45 %, efecto que ocurre incluso sin pérdida de peso significativa y que se potencia cuando el ejercicio se combina con intervenciones dietéticas. A nivel muscular, el ejercicio no necesariamente disminuye los triglicéridos intramiocelulares (IMCL), sino que reorganiza su distribución hacia un patrón "tipo atleta", caracterizado por gotas lipídicas más pequeñas y acopladas a mitocondrias, con incremento de proteínas como PLIN5 y mejora de la flexibilidad metabólica y la sensibilidad a la insulina. Entre las modalidades evaluadas, el HIIT destaca por su alta eficiencia en tiempo y magnitud de efectos, mientras que los programas combinados aeróbico + fuerza ofrecen beneficios sinérgicos al reducir IHL y optimizar el perfil muscular.

Estos hallazgos respaldan la inclusión del ejercicio como intervención de primera línea en el manejo de la diabetes tipo 2 con acumulación lipídica ectópica y sugieren que la prescripción debe individualizarse considerando el estado metabólico y las preferencias del paciente. Sin embargo, la evidencia disponible presenta limitaciones relacionadas con tamaños muestrales pequeños, heterogeneidad en protocolos y ausencia de seguimiento a largo plazo, por lo que se requieren estudios más amplios y prolongados que evalúen la sostenibilidad de estas adaptaciones y su impacto en desenlaces clínicos relevantes.

REFERENCIAS

- International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas. 10th ed. Brussels: International Diabetes Federation; 2021.
- DeFronzo RA, Ferrannini E, Groop L, Henry RR, Herman WH, Holst JJ, et al. Type 2 diabetes mellitus. *Nat Rev Dis Primers*. 2015;1:15019. doi:10.1038/nrdp.2015.19.
- American Diabetes Association. Standards of care in diabetes —2023. *Diabetes Care*. 2023;46(Suppl 1):S1-S291. doi:10.2337/dc23-S001.
- Brouwers M, Schrauwen-Hinderling VB, Kooi ME. Elevated ectopic fat storage in muscle and liver contributes to insulin resistance: pathophysiological mechanisms and implications for treatment. *Physiol Rev*. 2016;96(4):1535-92. doi:10.1152/physrev.00021.2015.
- Brouwers B, Schrauwen-Hinderling VB, Schrauwen P. Ectopic fat accumulation and insulin resistance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2016;19(4):277-83. doi:10.1097/MCO.0000000000000280.
- Gemmink A, Daemen S, Schrauwen-Hinderling VB. The effect of diet and exercise on lipid droplet dynamics in human skeletal muscle: implications for insulin sensitivity. *J Exp Biol*. 2018;221(Suppl 1):jeb167015. doi:10.1242/jeb.167015.
- Gemmink A, Daemen S, Jørgensen JA, Blaauw B, Schaart G, Hesselink MKC, et al. Super-resolution microscopy localizes perilipin 5 at lipid droplet-mitochondria interaction sites and reveals a link to recruitment of oxidative capacity. *FASEB J*. 2017;31(11):4667-78. doi:10.1096/fj.201700399RRR.
- Harris LALS, Skinner JR, Shew TM, Pietka TA, Abumrad NA, Wolins NE. Perilipin 5-driven lipid droplet accumulation in skeletal muscle stimulates the expression of fibroblast growth factor 21. *Diabetes*. 2015;64(8):2757-68. doi:10.2337/db14-1035.
- Daemen S, Gemmink A, Brouwers B, Meex RCR, Huntjens PR, Schaart G, et al. Distinct lipid droplet characteristics and distribution unmask the apparent contradiction of the athlete's paradox. *Mol Metab*. 2018;17:71-81. doi:10.1016/j.molmet.2018.08.004.
- Goodpaster BH, He J, Watkins S, Kelley DE. Skeletal muscle lipid content and insulin resistance: evidence for a paradox in endurance-trained athletes. *J Clin Endocrinol Metab*. 2001;86(12):5755-61. doi:10.1210/jcem.86.12.5755.
- Kelley DE, Goodpaster BH. Intramyocellular lipid content in type 2 diabetes compared with endurance-trained athletes. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2003;285(5):E1139-45. doi:10.1152/ajpendo.00464.2003.
- Bacchi E, Negri C, Targher G, Faccioli N, Lanza M, Zoppini G, et al. Both resistance training and aerobic training reduce hepatic fat content in type 2 diabetic subjects with nonalcoholic fatty liver disease: the RAED2 randomized trial. *Hepatology*. 2013;58(4):1287-95. doi:10.1002/hep.26393.
- Cassidy S, Thoma C, Hallsworth K, Parikh J, Hollingsworth KG, Taylor R, et al. High intensity intermittent exercise improves cardiac structure and function and reduces liver fat in patients with type 2 diabetes: a randomised controlled trial. *Diabetologia*. 2016;59(1):56-66. doi:10.1007/s00125-015-3741-2.
- Hallsworth K, Fattakhova G, Hollingsworth KG, Thoma C, Moore S, Taylor R, et al. Resistance exercise reduces liver fat and its mediators in non-alcoholic fatty liver disease independent of weight loss. *Gut*. 2011;60(9):1278-83. doi:10.1136/gut.2011.242073.
- Sullivan S, Kirk EP, Mittendorfer B, Patterson BW, Klein S. Randomized trial of exercise effect on intrahepatic triglyceride content and lipid kinetics in nonalcoholic fatty liver disease. *Hepatology*. 2012;55(6):1738-45. doi:10.1002/hep.25548.
- Shojaee-Moradie F, Baynes KC, Pentecost C, Bell JD, Thomas EL, Jackson NC, et al. Exercise training reduces fatty acid availability and improves the insulin sensitivity of glucose metabolism. *Diabetologia*. 2007;50(2):404-13. doi:10.1007/s00125-006-0498-7.
- Feng J, Zhang Q, Chen B, Chen J, Wang W, Hu Y, et al. Effects of high-intensity intermittent exercise on glucose and lipid metabolism in patients with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2024;15:1360998. doi:10.3389/fendo.2024.1360998.
- Shaw CS, Shepherd SO, Wagenmakers AJM, Hansen D, Dendale P, van Loon LJC. Prolonged exercise training increases intramuscular lipid content and perilipin 2 expression in type I muscle fibres of patients with type 2 diabetes. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2012;303(9):E1158-65. doi:10.1152/ajpendo.00272.2012.
- Meex RCR, Schrauwen-Hinderling VB, Moonen-Kornips E, Schaart G, Schrauwen P, Hesselink MKC. Restoration of muscle mitochondrial function and metabolic flexibility in type 2 diabetes by exercise training is paralleled by increased myocellular fat storage and improved insulin sensitivity. *Diabetes*. 2010;59(3):572-9. doi:10.2337/db09-1322.
- Tamura Y, Tanaka Y, Sato F, Choi JB, Watada H, Niwa M, et al. Effects of diet and exercise on muscle and liver intracellular lipid contents and insulin sensitivity in type 2 diabetic patients. *J Clin Endocrinol Metab*. 2005;90(6):3191-6. doi:10.1210/jc.2004-1959.

21. Otten J, Stomby A, Waling M, Isaksson A, Tellström A, Lundin-Olsson L, et al. Effects of a Paleolithic diet with and without supervised exercise on fat mass, insulin sensitivity, and glycemic control: a randomized controlled trial in individuals with type 2 diabetes. *Diabetes Metab Res Rev.* 2017;33(1):e2828. doi:10.1002/dmrr.2828.
22. Sjöros TJ, Eskelinen JJ, Virtanen KA, Löyttyniemi E, Heiskanen MA, Motiani KK, et al. Intramyocellular lipid accumulation after sprint interval and moderate-intensity continuous training in healthy and diabetic subjects. *Physiol Rep.* 2019;7(3):e13980. doi:10.14814/phy2.13980.
23. Shepherd SO, Cocks M, Tipton KD, Ranasinghe AM, Barker TA, Burniston JG, et al. Sprint interval and traditional endurance training increase net intramuscular triglyceride breakdown and expression of perilipin 2 and 5. *J Physiol.* 2013;591(3):657-75. doi:10.1113/jphysiol.2012.240952.
24. Nielsen J, Mogensen M, Vind BF, Sahlin K, Højlund K, Schrøder HD, et al. Increased subsarcolemmal lipids in type 2 diabetes: effect of training on localization of lipids, mitochondria, and glycogen in sedentary human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2010;298(3):E706-13. doi:10.1152/ajpendo.00692.2009.
25. Boudou P, Sobngwi E, Mauvais-Jarvis F, Vexiau P, Gautier JF. Absence of exercise-induced variations in adipose tissue lipolysis in type 2 diabetic subjects. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2001;25(5):651-8. doi:10.1038/sj.ijo.0801637.
26. Winding KM, Munch GW, Iepsen UW, van Hall G, Pedersen BK, Mortensen SP. The effect on glycaemic control of low-volume high-intensity interval training versus endurance training in individuals with type 2 diabetes. *Diabetes Obes Metab.* 2018;20(5):1131-9. doi:10.1111/dom.13198.
27. Magalhães JP, Santos DA, Correia IR, Hetherington-Rauth M, Ribeiro R, Raposo JF, et al. Impact of combined training with different exercise intensities on inflammatory and lipid markers in type 2 diabetes: a secondary analysis from a 1-year randomized controlled trial. *Cardiovasc Diabetol.* 2020;19(1):169. doi:10.1186/s12933-020-01136-y.
28. Krssak M, Falk Petersen K, Dresner A, DiPietro L, Vogel SM, Rothman DL, et al. Intramyocellular lipid concentrations are correlated with insulin sensitivity in humans: a ¹H NMR spectroscopy study. *Diabetologia.* 1999;42(1):113-6. doi:10.1007/s001250051123.
29. Perseghin G, Scifo P, De Cobelli F, Pagliato E, Battezzati A, Arcelloni C, et al. Intramyocellular triglyceride content is a determinant of insulin resistance in humans. *Diabetes.* 1999;48(8):1600-6. doi:10.2337/diabetes.48.8.1600.
30. Thomas EL, Bell JD. Imaging the pathophysiology of obesity and its complications using quantitative magnetic resonance techniques. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2019;22(6):453-9. doi:10.1097/MCO.0000000000000613.
31. Hawley JA, Hargreaves M, Joyner MJ, Zierath JR. Integrative biology of exercise. *Cell.* 2014;159(4):738-49. doi:10.1016/j.cell.2014.10.029.