

Impacto da Reabilitação Cardíaca Baseada em Tecnologia na Capacidade de Exercício e na Adesão de Pacientes com Doença Arterial Coronariana: Uma Análise com Suporte de Inteligência Artificial

The Impact of Technology-Based Cardiac Rehabilitation on Exercise Capacity and Adherence in Patients with Coronary Artery Disease: An Artificial Intelligence Analysis

Dilara Saklica,¹ Naciye Vardar-Yagli,¹ Melda Saglam,¹ Deniz Yuce,² Ahmet Hakan Ates,³ Hikmet Yorgun³

Faculty of Physical Therapy and Rehabilitation, Department of Cardiorespiratory Physiotherapy and Rehabilitation, Hacettepe University,¹ Ankara – Turquia

Faculty of Medicine, Department of Preventive Oncology, Hacettepe University,² Ankara – Turquia

Faculty of Medicine, Department of Cardiology, Hacettepe University,³ Ankara – Turquia

Resumo

Fundamento: Programas de treinamento físico melhoram a capacidade de exercício e a qualidade de vida (QV) em pacientes com doença arterial coronariana (DAC). Embora a inteligência artificial (IA) tenha sido utilizada no desenvolvimento desses programas, ainda são escassos os estudos que avaliam sua eficácia.

Objetivo: Este estudo comparou os efeitos de programas de reabilitação cardíaca (RC) baseados em tecnologia com os programas tradicionais sobre a capacidade de exercício e a participação de pacientes com DAC utilizando IA para análise dos dados.

Métodos: Um total de 52 pacientes com DAC foi distribuído aleatoriamente em três grupos: i) grupo de telereabilitação (GTR) (n=18); ii) grupo de aplicativo móvel (GAM) (n=13); e iii) grupo controle (GC), que recebeu apenas recomendações de atividade física (n=21). Os participantes do GTR e do GAM completaram um programa de 12 semanas com exercícios calistênicos e de resistência, três vezes por semana. A capacidade de exercício foi avaliada por meio do *Incremental Shuttle Walk Test* (ISWT), e a QV foi medida com o questionário Short Form-36 (SF-36). O feedback dos pacientes foi analisado utilizando um modelo de processamento de linguagem natural (PLN) baseado em BERT ajustado. Métodos de detecção de anomalias foram aplicados para identificar divergências entre a adesão autorrelatada e os resultados do ISWT. O nível de significância estatística foi fixado em $p < 0,05$.

Resultados: Tanto o GTR [44,4% mulheres] ($\Delta = 87,2 \pm 15,2$ m) quanto o GAM [50% mulheres] ($\Delta = 89,4 \pm 70,4$ m) apresentaram melhora significativa no ISWT em comparação com o GC [47,6% mulheres] ($\Delta = 10,9 \pm 28,2$ m) ($p = 0,001$). A adesão foi maior no GTR (100%) e no GAM (80%) do que no GC (30%) ($p < 0,001$). A satisfação relatada pelos pacientes, analisada por PLN, mostrou correlação positiva significativa com os ganhos no ISWT ($r = 0,75$, $p < 0,001$). Os achados demonstram o potencial da IA para apoiar a avaliação de resultados na RC.

Conclusões: Programas de RC baseados em tecnologia melhoram a capacidade de exercício e a adesão de pacientes com DAC, reforçando o uso de ferramentas com suporte de IA. A análise por PLN ajudou a relacionar o feedback dos pacientes aos resultados do exercício e a detectar inconsistências, demonstrando seu valor na avaliação da RC.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Reabilitação Cardíaca; Doença da Artéria Coronariana; Exercício Físico.

Abstract

Background: Exercise training programs improve exercise capacity and quality of life (QoL) in patients with coronary artery disease (CAD). Although artificial intelligence (AI) has been used to design such programs, there are still few studies evaluating their effectiveness.

Objectives: This study compared the effects of technology-based and traditional programs for cardiac rehabilitation (CR) on exercise capacity and participation in patients with CAD using AI for data analysis.

Correspondência: Naciye Vardar-Yagli •

Hacettepe University, Faculty of Physical Therapy and Rehabilitation 06100 Samanpazari/Ankara – Turquia

E-mail: naciyevardar@yahoo.com

Artigo recebido em 13/11/2024, revisado em 14/02/2025, aceito em 19/03/2025

Editor responsável pela revisão: Ricardo Stein

DOI: <https://doi.org/10.36660/abc.20240765>

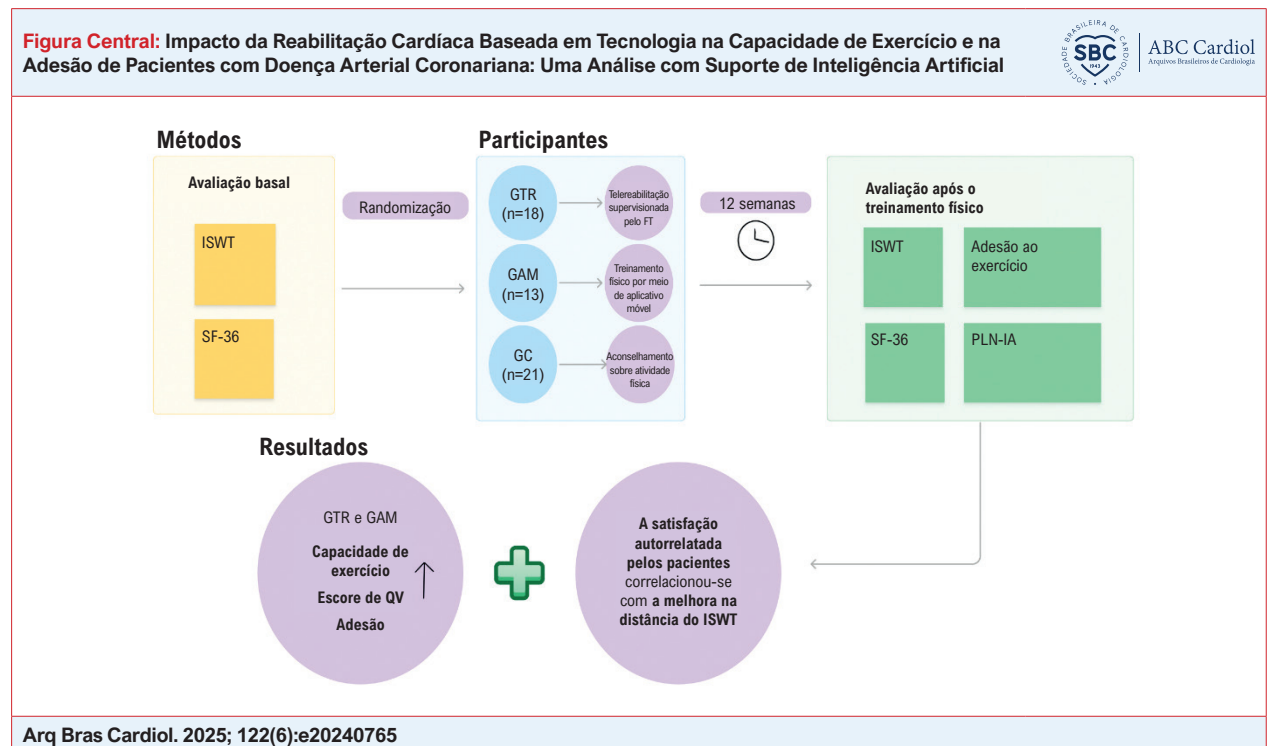
Methods: A total of 52 patients with CAD were randomly assigned to three groups: i) telerehabilitation group (TRG) (n=18); ii) mobile application group (MAG) (n=13); and iii) control group (CG), which received only physical activity recommendations (n=21). TRG and MAG participants completed a 12-week program with calisthenic and resistance exercises three times a week. Exercise capacity was assessed using the Incremental Shuttle Walk Test (ISWT), and QoL was measured with the Short Form-36 (SF-36). Patient feedback was analyzed using a fine-tuned BERT-based natural language processing (NLP) model. Anomaly detection methods were applied to find mismatches between self-reported adherence and ISWT results. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results: Both TRG [44.4% female] ($\Delta = 87.2 \pm 15.2$ m) and MAG [50% female] ($\Delta = 89.4 \pm 70.4$ m) had significant ISWT improvements compared to CG [47.6% female] ($\Delta = 10.9 \pm 28.2$ m) ($p = 0.001$). Adherence was higher in TRG (100%) and MAG (80%) than in CG (30%) ($p < 0.001$). Patient-reported satisfaction, analyzed via NLP, showed a significant positive correlation with ISWT improvements ($r = 0.75$, $p < 0.001$). Findings show the potential of AI to support outcome assessment in CR.

Conclusions: Technology-based CR programs improve exercise capacity and adherence in patients with CAD, supporting the use of AI-driven tools. NLP analysis helped link patient feedback to exercise outcomes and detect inconsistencies, showing its value in enhancing CR evaluation.

Keywords: Artificial Intelligence; Cardiac Rehabilitation; Coronary Artery Disease; Exercise.

Full texts in English - <https://abccardiol.org/en/>



Introdução

Programas de telereabilitação cardíaca (TRC) demonstraram oferecer benefícios e validade comparáveis aos da reabilitação tradicional presencial para pacientes.¹ Beatty et al. confirmaram que a tecnologia móvel é tanto confiável quanto aceitável para uso na reabilitação cardíaca (RC) de pacientes com doença isquêmica do coração.² O uso de tecnologia na RC contribui para melhorar o acesso e a participação. Estudos demonstram que programas de RC baseados em exercícios podem aumentar a capacidade de exercício, fortalecer a musculatura periférica e melhorar a qualidade de vida (QV) de pacientes com doença arterial coronariana (DAC).^{3,4} Diretrizes clínicas também apoiam o uso seguro de treinamento aeróbico e de resistência

nessa população.^{1,5} Calistenia é outro método de exercício comumente utilizado em programas de RC.⁶

Nos últimos anos, a RC tem adotado cada vez mais tecnologias como dispositivos de eletrocardiografia (ECG) para monitoramento remoto, sensores de frequência cardíaca (FC) e pressão arterial (PA), algoritmos para testes de capacidade funcional e rastreadores de atividade.^{7,8} A TRC, a realidade virtual e as intervenções em RC baseadas em telefone — que permitem o cuidado ao paciente sem supervisão direta — também vêm ganhando destaque na literatura.^{9,10}

A inteligência artificial (IA) tem avançado rapidamente na área da saúde, especialmente em áreas como interpretação de imagens radiológicas, previsão de desfechos e detecção precoce de eventos cardíacos.¹¹⁻¹⁵ O aprendizado de máquina

Artigo Original

também demonstrou potencial para auxiliar na elaboração e avaliação da segurança de programas de exercícios para RC.¹⁶ Além disso, desafios técnicos como a transparência dos algoritmos, a segurança dos dados e preocupações éticas relacionadas à privacidade dos pacientes continuam limitando o uso mais amplo da IA na TRC.¹⁷ São necessárias mais pesquisas e o desenvolvimento de melhores modelos de IA para aprimorar o uso clínico e garantir desfechos seguros e centrados no paciente. Embora muitos estudos se concentrem no uso de dados dos pacientes para personalizar programas de exercícios para indivíduos com DAC, poucos exploraram como a IA pode analisar as próprias descrições dos pacientes sobre os benefícios percebidos com os programas.

O processamento de linguagem natural (PLN) oferece uma abordagem promissora para extrair insights relevantes a partir de textos não estruturados encontrados em prontuários eletrônicos de saúde.¹⁸ Até o momento, nenhum estudo utilizou IA para interpretar as experiências subjetivas de pacientes com DAC em relação aos benefícios de programas de RC baseados em exercícios.

A participação em programas de RC continua baixa em todo o mundo. Um dos maiores desafios é a não adesão e a evasão por parte dos pacientes.¹⁹ A pandemia de COVID-19 agravou esse problema, levando os profissionais de saúde a buscar soluções inovadoras para aumentar a participação, a acessibilidade, a eficiência e o custo-benefício dos programas de RC.²⁰ Nos Estados Unidos, apenas 20% a 30% dos pacientes elegíveis participam dos programas de RC. Entre aqueles que iniciam o programa, as taxas de evasão variam de 24% a 50%, o que significa que muitos pacientes não recebem todos os benefícios da RC.²¹ Para melhorar a participação e a adesão, profissionais de saúde têm testado diversas estratégias. Intervenções bem-sucedidas incluem sistemas automatizados de encaminhamento e o uso de profissionais de referência em RC para auxiliar os pacientes na transição do hospital para o cuidado ambulatorial. Esses métodos demonstraram aumentar significativamente as taxas de ingresso e conclusão dos programas.²²

No entanto, a pandemia de COVID-19 tornou ainda mais difícil a participação dos pacientes na RC, levando à busca por novas formas de melhorar a acessibilidade, a eficiência e o custo-benefício desses programas. Uma solução promissora é o uso de modelos de RC domiciliares e híbridos, que combinam a reabilitação tradicional, realizada em centros especializados, com componentes remotos realizados em casa. Esses modelos têm se mostrado tão seguros e eficazes quanto a RC tradicional, oferecendo aos pacientes maior flexibilidade.²³

Estudos recentes demonstraram que a IA pode ser integrada com sucesso à cardiologia, especialmente em áreas como a análise de ECG e a imagem em cardiologia nuclear.^{24,25} No entanto, até onde sabemos, este é o primeiro estudo a aplicar métodos baseados em PLN no contexto da RC, representando uma contribuição inédita para a crescente interseção entre IA e cuidado cardiovascular.

Este estudo teve como objetivo comparar os efeitos de programas de RC baseados em tecnologia com os programas tradicionais sobre a capacidade de exercício e a participação de pacientes com DAC utilizando IA para a análise dos dados.

Métodos

Este ensaio clínico controlado, prospectivo e randomizado foi realizado entre abril de 2022 e maio de 2024 no the Department of Cardiorespiratory Physiotherapy and Rehabilitation, Faculty of Physiotherapy and Rehabilitation, Hacettepe University.

Pacientes com diagnóstico de DAC que compareceram ao ambulatório de cardiologia foram avaliados quanto à elegibilidade. Aqueles com diagnóstico de DAC confirmado por angioplastia coronariana, com níveis de troponina negativos, estado clínico estável e teste de esforço em esteira (protocolo de Bruce modificado) limitado por sintomas, sem sintomas cardíacos ou alterações no ECG, foram encaminhados a um fisioterapeuta para RC e incluídos em um programa de exercícios.

Os critérios de inclusão foram: i) estado clínico estável; ii) idade entre 40 e 70 anos; iii) acesso a treinamento físico online; e iv) posse de um smartphone compatível com iOS ou Android.

Os critérios de exclusão foram: i) diagnóstico de insuficiência cardíaca crônica (classe III ou IV da New York Heart Association [NYHA]); ii) estenose $\geq 50\%$ de qualquer artéria coronária principal; qualquer evento coronariano ou revascularização cirúrgica nos últimos 12 meses; iv) fração de ejeção do ventrículo esquerdo (FEVE) $< 40\%$; v) insuficiência renal terminal; vi) miocardite ou pericardite aguda; vii) hipertensão não controlada; viii) doença pulmonar crônica; ix) condições ortopédicas ou neurológicas que impeçam a participação em exercícios ou testes; x) taquicardia ventricular sustentada; xi) fibrilação atrial de difícil controle; ou xii) bloqueio atrioventricular de alto grau.

Os participantes foram avaliados no início e ao final do programa de exercícios de 12 semanas. Todas as avaliações seguiram a mesma ordem e foram realizadas de acordo com os padrões estabelecidos pelo fisioterapeuta responsável. Dados demográficos, clínicos e relacionados ao exercício foram coletados.

Após as avaliações iniciais, os pacientes que atendiam aos critérios de inclusão e concordaram em participar foram randomizados para um dos três grupos por meio da ferramenta online disponível em <https://www.graphpad.com/quickcalcs/randomize1.cfm>. O grupo de telereabilitação (GTR) realizou exercícios calistênicos e de resistência sob supervisão remota de um fisioterapeuta por videoconferência. O grupo de aplicativo móvel (GAM) seguiu os mesmos exercícios individualmente, guiado por vídeos em um aplicativo móvel. O grupo controle (GC) seguiu um programa padrão de exercícios domiciliares sem supervisão.

O *Incremental Shuttle Walk Test* (ISWT) foi utilizado para medir a capacidade de exercício devido à sua validade e confiabilidade comprovadas em pacientes com DAC.²⁶ O teste é composto por 12 níveis, durante os quais os participantes aumentam gradualmente a velocidade da caminhada a cada minuto. Um sinal sonoro os orienta a caminhar de um cone ao outro, posicionados a dez metros de distância, e a distância total percorrida é registrada.

O número total de sessões de exercício concluídas pelos participantes do GTR foi registrado. No caso do GAM, a

presença nas sessões foi monitorada por meio de notificações enviadas automaticamente aos fisioterapeutas após cada sessão de exercício. Os participantes do GC foram orientados a manter um diário de treinos para registrar os dias em que realizaram atividade física.

Para avaliar QV, o questionário *Short Form-36* (SF-36) foi aplicado por meio de entrevista. O SF-36 é um instrumento de autorrelato composto por 36 itens, desenvolvido para avaliar o estado geral de saúde do indivíduo. Ele abrange oito domínios: capacidade funcional (CF), aspectos físicos (AF), dor (D), estado geral de saúde (SG), vitalidade, aspectos sociais (AS), aspectos emocionais (AE) e saúde mental (SM).²⁷

Protocolo de treinamento físico

Os participantes do GTR seguiram um programa de exercícios online sob a supervisão de um fisioterapeuta. Aqueles do grupo GAM realizaram os exercícios de forma independente, utilizando vídeos disponibilizados por meio de um aplicativo móvel instalado em seus dispositivos pelo fisioterapeuta. Cada sessão incluía um período de aquecimento e outro de desaquecimento.

Durante as primeiras 4 semanas, os participantes realizaram exercícios calistênicos e posturais. Entre as semanas 4 e 8, o treinamento de resistência para membros superiores e inferiores foi adicionado à rotina calistênica. Os exercícios de resistência foram realizados com faixas elásticas selecionadas de acordo com a força muscular de cada indivíduo. A intensidade dos exercícios foi ajustada por meio da variação no número de repetições e séries, sendo permitido um intervalo de descanso de pelo menos 1 minuto entre as séries.

Da semana 9 à 12, a dificuldade dos exercícios foi aumentada progressivamente de acordo com o nível de condicionamento físico de cada participante. Todos os participantes dos grupos GTR e GAM realizaram os exercícios três vezes por semana durante 12 semanas (Figura 1, Arquivo Suplementar S1). Os participantes do GC foram orientados a seguir as Diretrizes de Atividade Física da Organização

Mundial da Saúde, que recomendam de 150-300 minutos de atividade física de moderada intensidade ou de 75-150 minutos de vigorosa intensidade por semana.²⁸

Os participantes do GTR foram monitorados quanto à fadiga, fadiga nas pernas e falta de ar por meio da escala de Borg modificada (mBS), juntamente com a aferição da própria PA antes e após cada sessão de exercício. A intensidade do exercício foi ajustada para manter um nível de esforço percebido entre 4 e 6 na mBS. A FC foi monitorada continuamente por meio de um smartwatch (Mi Smart Band 4, Anhui Huami Information Technology Co., Ltd.), garantindo que os participantes atingissem de 60% a 75% da FC máxima (FCmáx) e mantivessem um escore entre 4 e 6 na mBS durante o exercício.²⁹ Todos os dispositivos foram calibrados antes de serem entregues aos participantes.

Os participantes do GAM autorrelataram fadiga, fadiga nas pernas e falta de ar utilizando a mBS antes e após cada sessão, seguindo as instruções em vídeo disponíveis em seus celulares. Também mediram e registraram a FC e a PA utilizando um *smartwatch* e um monitor de pressão fornecidos. O aplicativo móvel incluía um sistema de login seguro para proteger a privacidade dos pacientes.

Inteligência artificial

A efetividade dos exercícios prescritos foi avaliada por meio do feedback regular dos pacientes sobre sua experiência com os exercícios. Perguntas abertas em um questionário foram utilizadas para coletar respostas subjetivas, que, em seguida, foram analisadas com técnicas de IA e aprendizado de máquina para extrair informações quantitativas.

Para identificar possíveis *outliers*, métodos de detecção de anomalias foram aplicados nos casos em que os pacientes relataram participação consistente, mas apresentaram melhora limitada no desempenho no ISWT — por exemplo, um aumento inferior a 70 metros, mesmo quando 95% dos participantes aderentes apresentaram melhora de pelo menos essa distância.

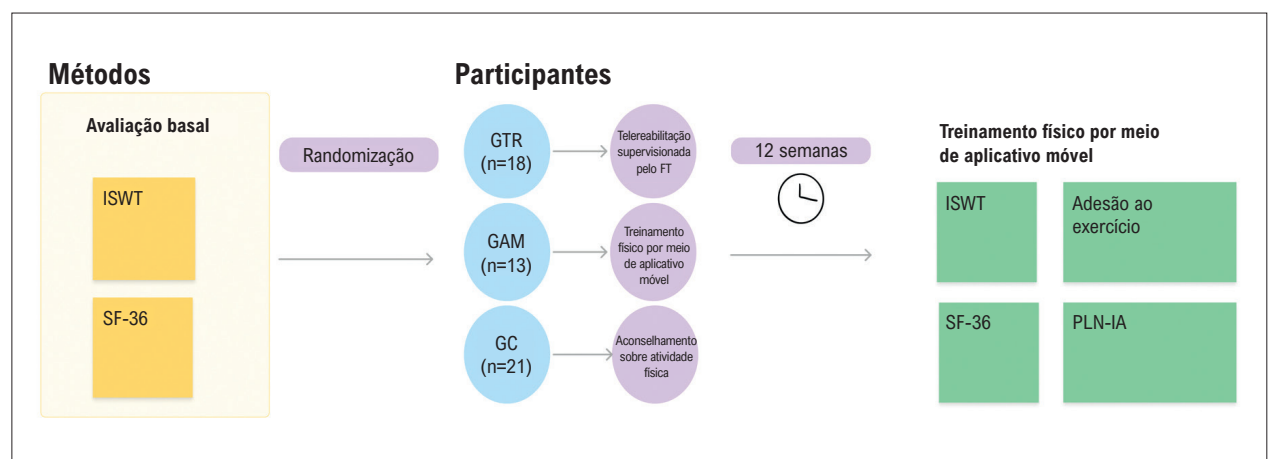


Figura 1 – Diagrama de fluxo da inclusão dos pacientes no estudo. IA: inteligência artificial; FT: fisioterapeuta; GC: grupo controle; GAM: grupo aplicativo móvel; GTR: grupo de telereabilitação; ISWT: Incremental Shuttle Walk Test; PLN: processamento de linguagem natural; SF-36: Short-Form-36; TRC: telereabilitação cardíaca.

Um modelo transformer pré-treinado — *NLPtown/BERT-base-multilingual-uncased-sentiment* — foi utilizado para avaliar o tom emocional do feedback de cada paciente (BERT = *Bidirectional Encoder Representations from Transformers*).³⁰ As respostas às perguntas abertas foram processadas com técnicas de IA e PLN.

A análise por PLN foi realizada utilizando o modelo BERT para avaliar as respostas abertas dos pacientes.³¹ O modelo foi ajustado com um conjunto de dados de sentimentos específico da área da saúde, focado em feedback de pacientes. Esse conjunto incluía avaliações subjetivas sobre a dificuldade dos exercícios, benefícios percebidos, desafios relacionados à adesão e satisfação geral com o programa de CR. Foi construído a partir de relatos anônimos de pacientes e feedbacks estruturados de estudos clínicos anteriores, garantindo um conjunto diversificado de expressões de sentimento.

O desempenho do modelo foi validado por meio de validação cruzada *k-fold*, alcançando uma pontuação F1 média de 0,89, o que indica alta confiabilidade na classificação de sentimentos. A análise por PLN concentrou-se em dois aspectos principais: satisfação geral com o programa e relatos sobre a dificuldade ou facilidade dos exercícios.

Para cada resposta dos pacientes, o pipeline de análise de sentimentos atribuiu um rótulo de sentimento e uma pontuação correspondente de 1 a 5 (1 = altamente negativo, 5 = altamente positivo), representando a intensidade do tom emocional.

Todas as medidas foram adotadas para proteger os dados contra acesso de terceiros. Todas as medidas de compliance foram monitoradas regularmente.

Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o software IBM SPSS (versão 20.0, IBM Inc.). Um estudo piloto indicou que seriam necessários pelo menos 11 participantes por grupo para alcançar um poder estatístico de 95%, com uma chance de erro tipo I de 5% e tamanho de efeito de 1,76 para o desfecho primário (distância no ISWT).

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar se os dados seguiam uma distribuição normal. Variáveis contínuas com distribuição normal foram expressas como média $\pm$ desvio padrão (DP), enquanto aquelas sem distribuição normal foram apresentadas como mediana e intervalo interquartil. Variáveis categóricas foram apresentadas como frequências absolutas (contagens) e relativas (percentuais).

Para comparações dentro de cada grupo, foi utilizado o teste t pareado para dados com distribuição normal e o teste de Wilcoxon para dados sem distribuição normal. Para comparação entre grupos, foi utilizada a análise de variância (ANOVA) unidirecional para variáveis com distribuição normal, com o teste de Tukey (*honestly significant difference* [HSD]) para comparações pós-hoc entre pares. Para dados sem distribuição normal, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunn para comparações entre pares. Variáveis categóricas foram analisadas por meio do teste do qui-quadrado ou, quando as contagens esperadas foram inferiores a 5, pelo teste exato de Fisher.

O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para avaliar a relação entre o feedback em linguagem natural dos pacientes sobre os benefícios do treinamento físico e as mudanças no desempenho no ISWT. Foi aplicada uma análise por intenção de tratar, incluindo os dados prévios ao exercício dos participantes que não completaram o programa. Um valor *p* igual ou inferior a 0,05 foi considerado estatisticamente significativo.

Resultados

Dos 147 pacientes com DAC avaliados no ambulatório de cardiologia da Faculty of Medicine, Hacettepe University, 55 atenderam aos critérios de inclusão e concordaram em participar do estudo. Três participantes do grupo GAM desistiram, e o estudo foi concluído com um total de 52 participantes. A Figura 2 apresenta o diagrama de fluxo do estudo.

A Tabela 1 apresenta as características demográficas e clínicas dos pacientes. Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos em relação à idade, peso corporal, estatura, índice de massa corporal (IMC), relação cintura-quadril, fatores de risco cardiovascular ou valores de equivalente metabólico de tarefa (MET) obtidos no teste de esforço.

Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos quanto à distância no ISWT, FC, PA sistólica e diastólica, dispneia ou níveis de fadiga geral (avaliados pela escala de Borg modificada) antes do início do treinamento físico (Tabela 2). Tanto o GTR quanto o GAM apresentaram melhorias semelhantes em diversas subescalas de QV do SF-36 (ou seja, CF, D, SG, AS, vitalidade, AE e SM) em comparação com o grupo controle. Ambos os grupos também apresentaram melhores resultados na porcentagem da distância esperada no ISWT em relação ao grupo controle.

Esses achados sugerem que as intervenções nos grupos GTR e GAM proporcionaram benefícios semelhantes na melhora da QV e da capacidade funcional. Além disso, o GTR apresentou um aumento percentual significativamente maior na distância esperada no ISWT em comparação com o grupo GAM (Tabela 2).

Os escores de fadiga geral e dispneia, avaliados pela escala de Borg modificada, não apresentaram diferenças significativas entre ou dentro dos grupos antes e após o programa de exercícios. Da mesma forma, a PA sistólica e diastólica permaneceu inalterada entre e dentro dos grupos (Tabela 2). Esses resultados sugerem que essas medidas fisiológicas se mantiveram estáveis ao longo da intervenção em todos os grupos.

As variações na FC (Δ FC) antes e após o exercício, assim como a porcentagem da FCmáx (%FCmáx), foram significativamente menores no GTR após o programa de exercícios e também em comparação com os grupos GAM e GC (Tabela 2). O GC não apresentou alterações significativas nas medidas de capacidade de exercício (Tabela 2).

O GTR completou 100% das sessões planejadas, o GAM completou 80% e o GC completou 30%. Tanto o GTR quanto o GAM apresentaram taxas de comparecimento significativamente maiores em comparação ao GC.

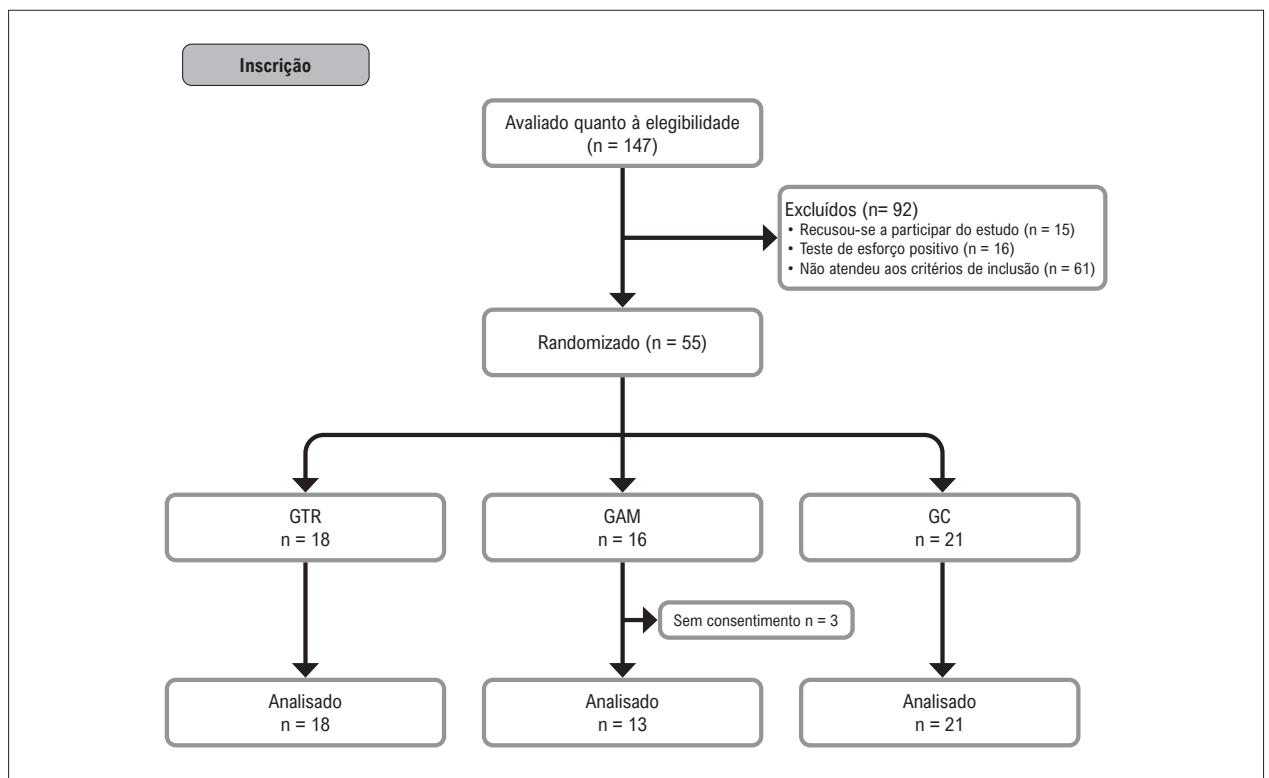


Figura 2 – Diagrama de fluxo CONSORT da inclusão dos pacientes no estudo. CONSORT: Consolidated Standards of Reporting Trials; GAM: grupo aplicativo móvel; GC: grupo controle; GTR: grupo de telereabilitação.

Os escores iniciais das subescalas do SF-36 foram semelhantes entre todos os grupos (Tabela 3). Após o programa de exercícios, tanto o GTR quanto o GAM apresentaram melhorias significativas nas subescalas do SF-36 para CF, AF, D, SG, vitalidade, AS, AE e SM em comparação aos seus escores iniciais (Tabela 3). O GC não apresentou alterações significativas em nenhuma subescala do SF-36 após a intervenção (Tabela 3).

Ao comparar as variações entre os grupos, tanto o GTR quanto o GAM apresentaram melhorias significativamente maiores que o GC nas subescalas CF, D, SG, vitalidade, AS, AE e SM (Tabela 3). Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre o GTR e o GAM em nenhuma das subescalas do SF-36 (Tabela 3, Figura Central).

Processamento de linguagem natural com inteligência artificial

Um total de 52 pacientes com DAC compartilhou feedback subjetivo sobre os benefícios do programa de exercícios. As pontuações de sentimento foram distribuídas da seguinte forma: 55% atribuíram nota 5; 2%, nota 4; 12%, nota 3; 12%, nota 2; e 19%, nota 1.

De acordo com o ISWT, uma melhora mínima de 70,0 metros (IC 95%: 51,5–88,5 m) foi considerada um desfecho positivo.³² Neste estudo, 59,62% dos participantes ultrapassaram esse limite, sendo 51,5 metros o valor de referência utilizado. Entre os que superaram o limiar, 75%

relataram alta satisfação (pontuação 5), enquanto apenas 25% dos que ficaram abaixo desse valor relataram alta satisfação.

Houve uma correlação positiva forte entre a satisfação autorrelatada pelos pacientes e a melhora no desempenho no ISWT ($r=0,75$; $p<0,001$). Também foi observada uma correlação positiva moderada entre o número de sessões de exercício concluídas e as pontuações de satisfação ($r=0,410$).

Para aprofundar a análise da satisfação dos pacientes e das melhorias observadas por meio da PLN, as tendências de sentimento foram examinadas entre subgrupos com base na adesão ao exercício e no desempenho no ISWT. Uma análise mais detalhada dos casos atípicos revelou que alguns pacientes que relataram alta satisfação, apesar de apresentarem ganhos limitados no ISWT, frequentemente destacaram benefícios psicológicos (como aumento da motivação, redução da ansiedade e maior sensação de bem-estar) em vez de melhorias físicas.

O modelo identificou uma relação significativa entre a satisfação autorrelatada pelos pacientes e os desfechos do exercício medidos objetivamente, com IC 95%. Técnicas de detecção de anomalias, incluindo métodos baseados em agrupamento e em distância, foram utilizadas para identificar discrepâncias entre a satisfação subjetiva e o desempenho real. O modelo sinalizou anomalias em 10% dos pacientes que relataram alta satisfação, apesar de apresentarem melhora mínima nos resultados do ISWT.

Tabela 1 – Características demográficas dos pacientes incluídos no estudo

Variáveis	GTR (n=18)	GAM (n=16)	GC (n=21)	Valor p
Idade (anos)	60,1±7,2	56,9±5,8	61,6±1,5	0,12
Mulheres/homens	8 (44,4%)/10 (55,6%)	8 (50%)/8 (50%)	10 (47,6%)/11 (52,4%)	0,95
Peso (kg)	76,9±3,1	80,9±10,3	79,7±2,7	0,61
IMC (kg/m ²)	26,2±0,6	27,3±1,9	28,5±1,1	0,12
Relação cintura-quadril	0,9±0,1	0,9±0,1	0,9±0,1	0,54
Número de passos por dia	3,578.5 (2,622,5-4,345,5)	3,981.5 (3,418-4,744.25)	3,177 (3,962-2,585)	0,15
Teste de esforço (METs)	11,05 (10,3-13,2)	10,9 (10,1-12,8)	10,5 (9,5-11,4)	0,35
Fatores de risco cardiovascular				
Tabagismo				
Não fumante	8 (44,4%)	7 (43,75%)	10 (47,6%)	0,91
Fumante	4 (22,2%)	3 (18,75%)	6 (28,6%)	
Ex-fumante	6 (33,3%)	6 (37,5%)	5 (23,8%)	
Tabagismo (maços-ano)	14,8±15,9	13,4±13,6	16,1±17,4	0,93
Hipertensão	10 (55,6%)	8 (50,0%)	9 (42,9%)	0,73
Diabetes melito	4 (22,2%)	4 (25,0%)	5 (23,8%)	0,98
Dislipidemia	14 (77,8%)	13 (81,25%)	18 (85,7%)	0,81
Inatividade física	17 (94,4%)	13 (81,25%)	20 (95,2%)	0,28

* $p < 0,05$, teste do qui-quadrado, teste exato de Fisher, análise de variância (ANOVA) ou teste de Kruskal-Wallis. Os dados são apresentados como média±DP, mediana (IIQ [Q1–Q3]) ou n (%). GAM: grupo aplicativo móvel; GC: grupo controle; GTR: grupo de telereabilitação; IIQ: intervalo interquartil; IMC: índice de massa corporal; MET: equivalente metabólico de tarefa.

A Figura 3 apresenta o mapa de emoções gerado por meio da detecção de anomalias e a distribuição das pontuações de satisfação dos pacientes em relação ao valor de referência.

Discussão

Uma revisão de literatura prévia mostra que a integração da IA na TRC tem potencial para apoiar a detecção precoce de eventos cardíacos, melhorar o monitoramento de programas domiciliares e aprimorar a tomada de decisão clínica.³³ Por exemplo, dispositivos vestíveis utilizados na TRC podem avaliar com precisão a capacidade funcional do paciente por meio de algoritmos baseados em IA.³⁴

Neste estudo, a PLN foi aplicada para demonstrar a efetividade da RC baseada em tecnologia. A forte correlação entre a capacidade de exercício e os resultados da análise por IA com base em PLN sugere que os benefícios do programa para os pacientes se refletem tanto no feedback subjetivo quanto nos desfechos objetivos. No entanto, a análise por PLN também identificou algumas anomalias — casos em que as experiências relatadas pelos pacientes não se alinharam às melhorias físicas mensuradas. Essas discrepâncias podem ser explicadas por percepções individuais, fatores psicológicos ou limitações

atuais dos modelos de PLN em compreender plenamente a complexidade dos relatos dos pacientes.

Reconhecer e interpretar essas anomalias é fundamental para aprimorar as ferramentas de avaliação baseadas em IA e promover um cuidado mais personalizado. Pesquisas futuras devem não apenas explorar de forma mais ampla a efetividade da PLN na TRC, mas também investigar mais profundamente o significado clínico das anomalias detectadas, a fim de aumentar a precisão e a aplicabilidade prática da avaliação de desfechos com suporte de IA.

O treinamento físico por meio da TRC tem demonstrado melhorar a capacidade de exercício em pacientes com DAC.³⁵ De forma semelhante, em nosso estudo, tanto o GTR quanto o GAM apresentaram aumentos significativos na distância do ISWT após 12 semanas de treinamento. Isso reforça as diretrizes atuais que recomendam a TRC como uma abordagem eficaz para melhorar a capacidade de exercício em pacientes com DAC.¹ Em consonância com nossos achados, Brouwers et al. também relataram aumento da capacidade de exercício e dos níveis de atividade física em pacientes com DAC após a TRC.³⁶

Essas melhorias são provavelmente decorrentes de alterações fisiológicas nos sistemas cardiovascular e

Tabela 2 – RC de três meses: comparação entre grupos quanto aos desfechos

Parâmetros de capacidade de exercício	GTR (n=18)			GAM (n=13)			GC (n=21)		
	Pré-intervenção	Pré-intervenção	Δ	Pré-intervenção	Pós-intervenção	Δ	Pré-intervenção	Pós-intervenção	Δ
FC (bpm)									
Pré-teste	79,2±10,5	76,8±10,9^{a*}	-2,4±3,1	74,8±11,7	72,6±7,9	-2,2±5,9	85,1±13,9	84,6±11,9	-0,5±4,3
Pós-teste	135,6±6,6	132,1±6,3^{a*}	-3,5±5,3	136,9±5,5	137,9±4,5	0,9±3,4	133,3±5,9	134,4±4,5	1,1±4,3
%FCmáx	84,8±1,6	82,6±2,9^{a*}	-2,2±3,3^{b,d*}	84±1,6	84,2±13	0,2±1,2	84,2±2,1	84,9±2,6	0,7±2,7
PAD (mmHg)									
Pré-teste	73,3±7,7	70,6±6,4	-2,8±6,7	70,6±7,7	70±5,2	-0,6±5,7	70±7,7	70±6,3	0±5,5
Pós-teste	82,2±7,3	80±6,9	-2,2±7,3	80±8,2	79,2±5,7	-0,8±6,8	76,2±8,1	78,6±7,3	2,4±5,4
PAS (mmHg)									
Pré-teste	118,3±8,6	118,9±8,3	0,6±4,2	118,1±9,8	118,5±8,1	0,3±5,8	118,6±7,3	121,9±8,1	3,3±8
Pós-teste	148,3±9,9	148,3±2,4	0±12,4	145±6,3	146,2±12,4	1,2±12,8	146,2±9,2	149,5±8,6	3,3±11,1
Fadiga geral (mBorg)									
Pré-teste	0,5 (0-1)	0,5 (0-0,8)	0 (-0,5, 0)	0,5 (0-1)	0,5 (0,5-1)	0 (-0,5, 0,5)	1 (0-1)	0,5 (0-1)	0 (-1, 0)
Pós-teste	4 (3-5,75)	4,5 (3-5)	0 (-0,75, 1,75)	4 (3-5)	5 (4-5)	1 (-1, 2)	5 (3-5)	3 (3-4)	1 (-2, 0)
Dispneia (mBorg)									
Pré-teste	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0, 0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0, 0)	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0, 0)
Pós-teste	0 (0-1)	1 (0-2)	0 (0, 2)	0 (0-0)	0 (0-1)	0 (0, 1)	0 (0-0,5)	0 (0-0,5)	0 (0, 0,5)
Distância no ISWT (m)	508,9±105,5	596,1±109,3^{a*}	87,2±15,3^{b*}	537,5±119,1	626,9±92,1^{a*}	89,4±70,4^{c*}	500,5±98,4	511,4±102	11±28,3
Distância no ISWT (%)	70,8±9,3	83,3±10,4^{a*}	12,5±3,4^{b,d*}	72,6±8,4	83,1±9^{a*}	10,5±3,6^{c*}	73,2±8,7	74,6±7,5	1,5±4,1

*p<0,05, análise de variância (ANOVA) ou teste de Kruskal-Wallis. Os dados são apresentados como média±DP ou mediana (IIQ [Q1–Q3]). %FCmáx: porcentagem da frequência cardíaca máxima; DP: desvio padrão; FC: frequência cardíaca; GAM: grupo aplicativo móvel; GC: grupo controle; GTR: grupo de telereabilitação; IIQ: intervalo interquartil; ISWT: Incremental Shuttle Walk Test; mBorg: escala de Borg modificada; PA: pressão arterial; PAD: pressão arterial diastólica; PAS: pressão arterial sistólica; RC: reabilitação cardíaca; SpO₂: saturação de oxigênio. a: Diferença significativa entre o pré e o pós-exercício dentro do mesmo grupo; b: Diferença significativa entre GTR e GC. c: Diferença significativa entre GAM e GC; d: Diferença significativa entre GTR e GAM.

Tabela 3 – Comparação das subescalas de QV do SF-36 entre os grupos antes e após o treinamento físico

Subescalas do SF-36	GTR (n=18)			GAM (n=13)			GC (n=21)		
	Pré-intervenção	Pós-intervenção	Δ	Pré-intervenção	Pós-intervenção	Δ	Pré-intervenção	Pós-intervenção	Δ
Capacidade funcional	85 (75-88,8)	90 (86,3-95)^{a*}	5 (0, 15)^{b*}	80 (65-90)	95 (85-95)^{a*}	5 (0, 10)^{c*}	90 (75-90)	80 (75-90)	0 (-5, 5)
Aspectos físicos	100 (75-100)	100 (100-100)	0 (0, 0)	100 (50-100)	100 (50-100)	0 (0, 0)	100 (75-100)	100 (75-100)	0 (0, 0)
Aspectos emocionais	67 (33-100)	100 (72,3-100)^{a*}	0 (0, 67)^{b*}	67 (33-67)	100 (67-100)^{a*}	33 (0, 34)^{c*}	67 (33-100)	67 (33-100)	0 (0, 0)
Vitalidade	67,5 (61,3-75)	75 (70-78,8)^{a*}	5 (0, 13,8)^{b*}	65 (50-75)	75 (75-90)^{a*}	10 (10, 35)^{c*}	65 (50-75)	55 (35-75)	0 (0, 0)
Saúde mental	76 (62-79)	87 (76-96)^{a*}	10 (0, 20)^{b*}	68 (44-80)	80 (76-92)^{a*}	8 (0, 32)^{c*}	64 (44-76)	60 (40-68)	0 (0, 0)
Aspectos sociais	75 (66-88)	88 (75-100)^{a*}	0 (0, 12,8)^{b*}	75 (63-100)	88 (75-100)^{a*}	0 (0, 12)^{c*}	88 (75-100)	75 (75-88)	0 (0, 0)
Dor	75 (49,8-90)	85 (68-97,5)^{a*}	10 (0, 12,3)^{b*}	70 (55-80)	80 (68-90)^{a*}	10 (3, 13)^{c*}	80 (68-100)	80 (68-100)	0 (0, 0)
Estado geral de saúde	60 (46,3-70)	75 (56,3-78,8)^{a*}	10 (0, 18)^{b*}	60 (45-75)	75 (75-85)^{a*}	10 (5, 15)^{c*}	60 (45-70)	50 (45-75)	0 (0, 5)

*p<0,05, teste de Kruskal-Wallis. Os dados são apresentados como mediana (IIQ [Q1–Q3]). GAM: grupo aplicativo móvel; GC: grupo controle; GTR: grupo de telereabilitação; IIQ: intervalo interquartil; SF-36: Short Form-36; QV: qualidade de vida. a: Diferença significativa entre pré e pós-exercício dentro do mesmo grupo; b: Diferença significativa entre GTR e GC; c: Diferença significativa entre GAM e GC; d: Diferença significativa entre GTR e GAM.

Artigo Original

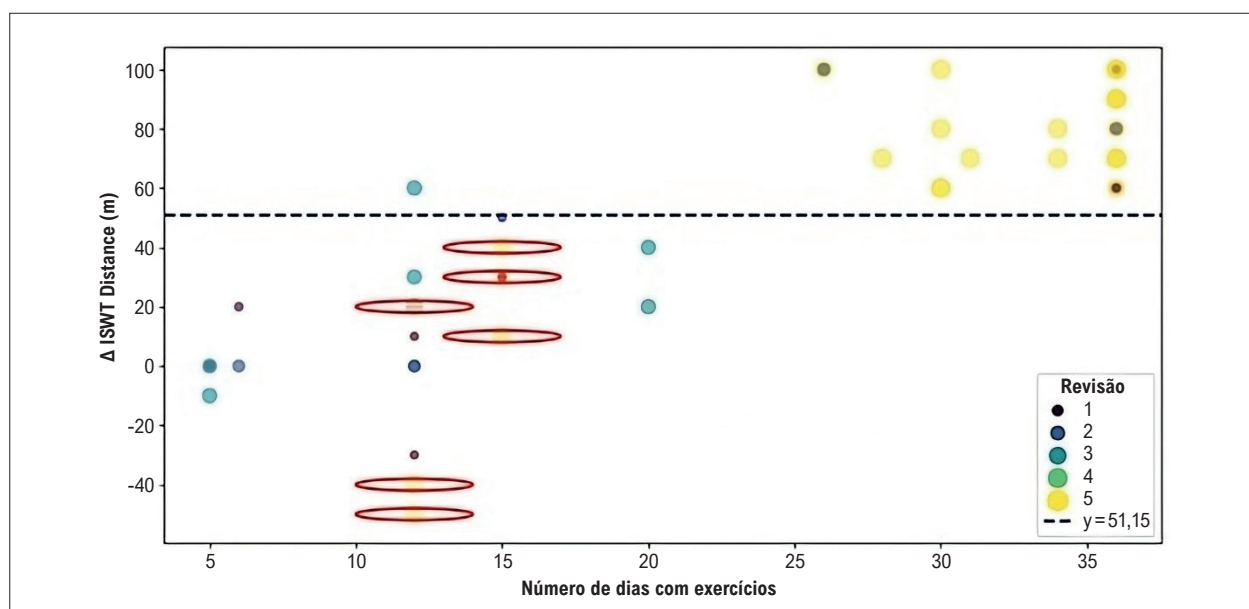


Figura 3 – Gráfico de dispersão mostrando a relação entre os resultados da análise por PLN e as variações na distância do ISWT. Δ ISWT: variação na distância do Incremental Shuttle Walk Test. Pontuações de avaliação: 1 = Não teve nenhum benefício, 2 = Não teve benefício, 3 = Nem teve nem deixou de ter benefício, 4 = Teve benefício, 5 = Teve grande benefício. Os valores dentro dos círculos representam anomalias. O modelo identificou como anomalias os pacientes que relataram alta satisfação, apesar de apresentarem pouca melhora no ISWT, correspondendo a 10% da amostra.

musculoesquelético.³⁷ Especificamente, as reduções na FC ao final do exercício e na %FCmáx observadas no GTR sugerem adaptações cardiovasculares positivas. Esses resultados estão de acordo com estudos anteriores que demonstram que o treinamento físico melhora a eficiência cardíaca, permitindo que os pacientes realizem a mesma carga de trabalho com uma FC mais baixa.²³ A redução da FC após o exercício reflete uma melhor adaptação cardiovascular.

Acreditamos que a alta adesão observada no GTR pode estar relacionada ao aumento da motivação proporcionado pelo feedback em tempo real durante as sessões supervisionadas.

Além da função física, a melhora da QV também é um objetivo importante para pacientes com DAC.³⁸ Melhorias no bem-estar físico, energia, fadiga e funcionamento no dia a dia podem contribuir para um melhor manejo da doença e melhores desfechos em longo prazo.²³ Em nosso estudo, tanto o GTR quanto o GAM apresentaram melhorias significativas na QV, o que está em concordância com os achados de Golbus et al., que relataram que programas de RC digitais e híbridos melhoram a QV em pacientes cardíacos.⁴

No entanto, nem todos os estudos encontraram resultados semelhantes. Um estudo relatou ausência de mudança nos escores do SF-36, apesar da melhora na capacidade funcional em um programa híbrido de TRC.³⁹ Essa discrepância pode ser atribuída a diferenças na forma como a QV é mensurada nas pesquisas cardiovasculares e ao número limitado de estudos que focam especificamente nos desfechos relacionados à QV na TRC. Também acreditamos que a maior duração do nosso programa de

exercícios pode ter contribuído para as melhorias mais evidentes observadas.

Nosso estudo também identificou melhorias significativas no domínio de aspectos emocionais em ambos os grupos de intervenção, sugerindo um impacto positivo no bem-estar psicológico. Esse resultado está em concordância com os achados de uma metanálise conduzida por Gong et al., que demonstrou que programas de TRC com duração mínima de 3 meses podem reduzir sintomas de depressão e ansiedade.⁴⁰

De modo geral, as melhorias na distância do ISWT (Δ ISWT) observadas em nosso estudo se refletiram em melhores escores em diversas subescalas de QV.

A integração da tecnologia em programas de RC desempenha um papel fundamental na melhoria da adesão e da participação dos pacientes. Em nosso estudo, tanto o GTR quanto o GAM apresentaram taxas de comparecimento superiores às do GC, sugerindo que abordagens baseadas em tecnologia são mais acessíveis e de uso mais amigável. A flexibilidade oferecida pelo GAM pode ter favorecido ainda mais a participação, permitindo que os pacientes realizassem os exercícios nos horários mais adequados à sua rotina diária. Pesquisas anteriores apoiam a ideia de que a tecnologia móvel pode melhorar a adesão a programas de RC.^{3,41} No nosso caso, o aplicativo móvel provavelmente contribuiu para isso ao permitir o acompanhamento dos exercícios, fornecer feedback e manter os pacientes motivados. Esses resultados são consistentes com os achados de Maddison et al., que relataram maiores taxas de participação em programas

domiciliares de RC em comparação com os programas tradicionais realizados em centros especializados.²⁰ A conveniência de realizar os exercícios em casa, com equipamentos mínimos e sem custos de transporte, provavelmente teve um papel importante no incentivo à participação — especialmente no cenário econômico atual. Como os pacientes do nosso estudo apresentavam uma capacidade de exercício média superior a 10 METs, esses achados são mais aplicáveis a pacientes com DAC de baixo risco.

Este estudo apresenta várias limitações. Embora os métodos baseados em IA mostrem potencial, existem desafios importantes que devem ser reconhecidos. Uma das principais limitações é a dependência da qualidade e da quantidade dos dados utilizados para treinar os modelos de IA. Dados insuficientes ou de baixa qualidade podem introduzir vieses e limitar a aplicabilidade dos resultados a diferentes populações de pacientes. Além disso, os algoritmos de PLN dependem da linguagem, que pode variar de acordo com fatores culturais e individuais na forma como os pacientes descrevem seus sintomas e experiências. Outro desafio é a interpretabilidade dos resultados gerados por IA. Para que essas ferramentas sejam úteis na prática clínica, os profissionais de saúde precisam de informações claras, compreensíveis e confiáveis que possam ser aplicadas na tomada de decisão. Os programas de TRC analisados neste estudo focaram exclusivamente no treinamento físico e não incluíram outros componentes essenciais da RC completa, como suporte psicossocial, orientação nutricional, manejo medicamentoso e cessação do tabagismo. Além disso, o aplicativo móvel utilizado para orientar os exercícios não permitia o monitoramento em tempo real da FC ou da PA durante as sessões. A maioria dos participantes deste estudo era composta por pacientes com DAC de baixo risco, o que limita a generalização dos achados para grupos de maior risco. Apesar dessas limitações, o estudo apresenta pontos fortes relevantes. A análise por PLN e IA foi, no mínimo, tão eficaz quanto as avaliações tradicionais para demonstrar os benefícios da TRC, evidenciando o potencial inovador das ferramentas digitais na atenção cardíaca. O estudo também demonstrou que programas de exercícios autoguiados podem ser tão eficazes quanto os métodos tradicionais para melhorar a capacidade de exercício, a adesão e a QV em pacientes com DAC.

Conclusão

Este estudo destaca a efetividade da análise baseada em IA na avaliação do impacto do exercício físico em pacientes com DAC de baixo risco. Tanto o GTR quanto o GAM mostraram-se eficazes e viáveis, podendo oferecer benefícios superiores aos métodos tradicionais na melhora da capacidade de exercício, participação e QV. À medida que a IA continua a evoluir, o papel do fisioterapeuta permanece essencial, especialmente na oferta de um cuidado centrado no paciente. Com o apoio de estudos multicêntricos, abordagens baseadas em PLN podem se tornar uma ferramenta valiosa na RC. São necessárias pesquisas adicionais para avaliar a viabilidade clínica e

a segurança da RC com suporte de IA, explorar outros métodos baseados em IA, como o exercício com realidade virtual, e analisar o custo-benefício e a integração prática dos programas de TRC no sistema de saúde em geral.

Agradecimentos

Os autores agradecem profundamente às pessoas que participaram do estudo, bem como a Ahmet Talha Sen e Cagri Golen pelo valioso apoio durante toda a pesquisa.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Saklica D, Vardar-Yagli N, Saglam M, Yuce D, Ates AH, Yorgun H; Obtenção de dados: Saklica D, Vardar-Yagli N, Ates AH, Yorgun H; Análise e interpretação dos dados: Saklica D, Vardar-Yagli N, Saglam M; Análise estatística: Saklica D, Vardar-Yagli N, Saglam M, Yuce D; Redação do manuscrito: Saklica D, Vardar-Yagli N; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo: Vardar-Yagli N, Saglam M, Yuce D, Ates AH, Yorgun H.

Potencial conflito de interesse

Não há conflito com o presente artigo.

Fontes de financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação acadêmica

Este artigo é parte de tese de doutorado de Dilara Saklica pelo Hacettepe University Faculty of Physical Therapy and Rehabilitation.

Aprovação ética e consentimento informado

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hacettepe University Clinical sob o número de protocolo KA-20105. Todos os procedimentos envolvidos nesse estudo estão de acordo com a Declaração de Helsinki de 1975, atualizada em 2013. O consentimento informado foi obtido de todos os participantes incluídos no estudo. O ensaio foi registrado no ClinicalTrials.gov (código de registro: NCT05264701).

Uso de Inteligência Artificial

Os autores não utilizaram ferramentas de inteligência artificial no desenvolvimento deste trabalho.

Disponibilidade de Dados

Os dados não podem ser disponibilizados publicamente para evitar qualquer risco de reidentificação de informações pessoais e de acordo com as condições da aprovação ética, os dados em nível individual dos pacientes não estão disponíveis para uso fora deste estudo.

Referências

- Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S, Albus C, Brotons C, Catapano AL, et al. 2016 European Guidelines on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (Constituted by Representatives of 10 Societies and by Invited Experts) Developed with the Special Contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J*. 2016;37(29):2315-81. doi: 10.1093/eurheartj/ehw106.
- Beatty AL, Fukuoka Y, Whooley MA. Using Mobile Technology for Cardiac Rehabilitation: A Review and Framework for Development and Evaluation. *J Am Heart Assoc*. 2013;2(6):e000568. doi: 10.1161/JAHA.113.000568.
- Imran TF, Wang N, Zombeck S, Balady GJ. Mobile Technology Improves Adherence to Cardiac Rehabilitation: A Propensity Score-Matched Study. *J Am Heart Assoc*. 2021;10(15):e020482. doi: 10.1161/JAHA.120.020482.
- Golbus JR, Lopez-Jimenez F, Barac A, Cornwell WK 3rd, Dunn P, Forman DE, et al. Digital Technologies in Cardiac Rehabilitation: A Science Advisory from the American Heart Association. *Circulation*. 2023;148(1):95-107. doi: 10.1161/CIR.0000000000001150.
- Fihn SD, Gardin JM, Abrams J, Berra K, Blankenship JC, Dallas AP, et al. 2012 ACCF/AHA/ACP/AATS/PCNA/SCAI/STS Guideline for the Diagnosis and Management of Patients with Stable Ischemic Heart Disease: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association task Force on Practice Guidelines, and the American College of Physicians, American Association for Thoracic Surgery, Preventive Cardiovascular Nurses Association, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons. *Circulation*. 2012;126(25):3097-137. doi: 10.1161/CIR.0b013e3182776f83.
- Gleeson PB, Protas EJ. Oxygen Consumption During Calisthenic Exercise in Women with Coronary Artery Disease. *Phys Ther*. 1989;69(4):260-3. doi: 10.1093/ptj/69.4.260.
- Scherrenberg M, Bonneux C, Mahmood DY, Hansen D, Dendale P, Coninx K. A Mobile Application to Perform the Six-Minute Walk Test (6MWT) at Home: A Random Walk in the Park is as Accurate as a Standardized 6MWT. *Sensors*. 2022;22(11):4277. doi: 10.3390/s22114277.
- Dafny HA, Champion S, Gebremichael LG, Pearson V, Hendriks JM, Clark RA, et al. Cardiac Rehabilitation, Physical Activity, and the Effectiveness of Activity Monitoring Devices on Cardiovascular Patients: An Umbrella Review of Systematic Reviews. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes*. 2023;9(4):323-30. doi: 10.1093/ehjqcco/qcad005.
- Micheluzzi V, Navarese EP, Merella P, Talanas G, Viola G, Bandino S, et al. Clinical Application of Virtual Reality in Patients with Cardiovascular Disease: State of the Art. *Front Cardiovasc Med*. 2024;11:1356361. doi: 10.3389/fcvm.2024.1356361.
- Snoek JA, Prescott EI, van der Velde AE, Eijssvogels TMH, Mikkelsen N, Prins LF, et al. Effectiveness of Home-Based Mobile Guided Cardiac Rehabilitation as Alternative Strategy for Nonparticipation in Clinic-Based Cardiac Rehabilitation among Elderly Patients in Europe: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Cardiol*. 2021;6(4):463-8. doi: 10.1001/jamacardio.2020.5218.
- Chessa M, van de Bruene A, Farooqi K, Valverde I, Jung C, Votta E, et al. Three-Dimensional Printing, Holograms, Computational Modelling, and Artificial Intelligence for Adult Congenital Heart Disease Care: An Exciting Future. *Eur Heart J*. 2022;43(28):2672-84. doi: 10.1093/eurheartj/ehac266.
- Sherman E, Alejo D, Wood-Doughty Z, Sussman M, Schena S, Ong CS, et al. Leveraging Machine Learning to Predict 30-Day Hospital Readmission after Cardiac Surgery. *Ann Thorac Surg*. 2022;114(6):2173-9. doi: 10.1016/j.athoracsur.2021.11.011.
- Pepera G, Antoniou V, Su JJ, Lin R, Batalik L. Comprehensive and Personalized Approach is a Critical Area for Developing Remote Cardiac Rehabilitation Programs. *World J Clin Cases*. 2024;12(12):2009-15. doi: 10.12998/wjcc.v12.i12.2009.
- Mor-Avi V, Khandheria B, Klempfner R, Cotella JI, Moreno M, Ignatowski D, et al. Real-Time Artificial Intelligence-Based Guidance of Echocardiographic Imaging by Novices: Image Quality and Suitability for Diagnostic Interpretation and Quantitative Analysis. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2023;16(11):e015569. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.123.015569.
- Silva CCS, Buginga GC, Silva EAS, Arena R, Rouleau CR, Aggarwal S, et al. Prediction of Mortality in Coronary Artery Disease: Role of Machine Learning and Maximal Exercise Capacity. *Mayo Clin Proc*. 2022;97(8):1472-82. doi: 10.1016/j.mayocp.2022.01.016.
- Prabhu G, O'Connor NE, Moran K. Recognition and Repetition Counting for Local Muscular Endurance Exercises in Exercise-Based Rehabilitation: A Comparative Study Using Artificial Intelligence Models. *Sensors (Basel)*. 2020;20(17):4791. doi: 10.3390/s20174791.
- Witharana P, Chang L, Maier R, Ogundimu E, Wilkinson C, Athanasiou T, et al. Feasibility Study of Rehabilitation for Cardiac Patients Aided by an Artificial Intelligence Web-Based Programme: A Randomised Controlled Trial (RECAP trial)-A Study Protocol. *BMJ Open*. 2024;14(4):e079404. doi: 10.1136/bmjopen-2023-079404.
- Garg R, Gupta A. A Systematic Review of NLP Applications in Clinical Healthcare: Advancement and Challenges. *Springer*. 2024;892:31-44. doi: 10.1007/978-981-99-9521-9_3.
- Pio CSA, Chaves CS, Davies P, Taylor RS, Grace SL. Interventions to Promote Patient Utilisation of Cardiac Rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;2(2):CD007131. doi: 10.1002/14651858.CD007131.pub4.
- Maddison R, Rawstorn JC, Stewart RAH, Benatar J, Whittaker R, Rolleston A, et al. Effects and Costs of Real-Time Cardiac Telerehabilitation: Randomised Controlled Non-Inferiority Trial. *Heart*. 2019;105(2):122-9. doi: 10.1136/heartjnl-2018-313189.
- Aharon KB, Gershfeld-Litvin A, Amir O, Nabutovsky I, Klempfner R. Improving Cardiac Rehabilitation Patient Adherence via Personalized Interventions. *PLoS One*. 2022;17(8):e0273815. doi: 10.1371/journal.pone.0273815.
- Ades PA, Khadanga S, Savage PD, Gaalema DE. Enhancing Participation in Cardiac Rehabilitation: Focus on Underserved Populations. *Prog Cardiovasc Dis*. 2022;70:102-10. doi: 10.1016/j.pcad.2022.01.003.
- Thomas RJ, Beatty AL, Beckie TM, Brewer LC, Brown TM, Forman DE, et al. Home-Based Cardiac Rehabilitation: A Scientific Statement from the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation, the American Heart Association, and the American College of Cardiology. *J Am Coll Cardiol*. 2019;74(1):133-53. doi: 10.1016/j.jacc.2019.03.008.
- Zhang D, Geng S, Zhou Y, Xu W, Wei G, Wang K, et al. Artificial Intelligence System for Detection and Screening of Cardiac Abnormalities Using Electrocardiogram Images. *arXiv*. 2023;1:1-47. doi: 10.48550/arXiv.2302.10301.
- Karaçavuş S. Artificial Intelligence Applications in Nuclear Cardiology. *Nucl Med Semin*. 2024;10(1):13-8. doi: 10.4274/nts.galenos.2024.0002.
- Hanson LC, McBurney H, Taylor NF. Is the 10 m Incremental Shuttle Walk Test a Useful Test of Exercise Capacity for Patients Referred to Cardiac Rehabilitation? *Eur J Cardiovasc Nurs*. 2018;17(2):159-69. doi: 10.1177/1474515117721129.
- Huber A, Oldridge N, Höfer S. International SF-36 Reference Values in Patients with Ischemic Heart Disease. *Qual Life Res*. 2016;25(11):2787-98. doi: 10.1007/s11136-016-1316-4.
- World Health Organization. WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour. Geneva: World Health Organization; 2020.
- Virani SS, Newby LK, Arnold SV, Bittner V, Brewer LC, Demeter SH, et al. 2023 AHA/ACC/ACCP/ASPC/NLA/PCNA Guideline for the Management of Patients with Chronic Coronary Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical

- Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2023;82(9):833-955. doi: 10.1016/j.jacc.2023.04.003.
30. Devlin J, Chang MW, Lee K, Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. *ArXiv*. 2019;2(1):1-16. doi: 10.48550/arXiv.1810.04805.
 31. Çelikten A, Bulut H. Turkish Medical Text Classification Using BERT. *Proceedings of the 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*; 2021 Jul. İstanbul: IEEE; 2021.
 32. Houchen-Wolloff L, Boyce S, Singh S. The Minimum Clinically Important Improvement in the Incremental Shuttle Walk Test Following Cardiac Rehabilitation. *Eur J Prev Cardiol*. 2015;22(8):972-8. doi: 10.1177/2047487314540840.
 33. Sotirakos S, Fouda B, Razif NAM, Cribben N, Mulhall C, O'Byrne A, et al. Harnessing Artificial Intelligence in Cardiac Rehabilitation, a Systematic Review. *Future Cardiol*. 2022;18(2):154-64. doi: 10.2217/fca-2021-0010.
 34. Su J, Zhang Y, Ke QQ, Su JK, Yang QH. Mobilizing Artificial Intelligence to Cardiac Telerehabilitation. *Rev Cardiovasc Med*. 2022;23(2):45. doi: 10.31083/j.rcm2302045.
 35. Coorey GM, Neubeck L, Mulley J, Redfern J. Effectiveness, Acceptability and Usefulness of Mobile Applications for Cardiovascular Disease Self-Management: Systematic Review with Meta-Synthesis of Quantitative and Qualitative Data. *Eur J Prev Cardiol*. 2018;25(5):505-21. doi: 10.1177/2047487317750913.
 36. Brouwers RWM, van Exel HJ, van Hal JMC, Jorstad HT, Kluiver EP, Kraaijenhagen RA, et al. Cardiac Telerehabilitation as an Alternative to Centre-Based Cardiac Rehabilitation. *Neth Heart J*. 2020;28(9):443-51. doi: 10.1007/s12471-020-01432-y.
 37. Seo DY, Kwak HB, Kim AH, Park SH, Heo JW, Kim HK, et al. Cardiac Adaptation to Exercise Training in Health and Disease. *Pflugers Arch*. 2020;472(2):155-68. doi: 10.1007/s00424-019-02266-3.
 38. Zhong W, Liu R, Cheng H, Xu L, Wang L, He C, et al. Longer-Term Effects of Cardiac Telerehabilitation on Patients with Coronary Artery Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2023;11:e46359. doi: 10.2196/46359.
 39. Yang Z, Jia X, Li J, Mei Z, Yang L, Yan C, et al. Efficacy and Safety of Hybrid Comprehensive Telerehabilitation (HCTR) for Cardiac Rehabilitation in Patients with Cardiovascular Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Occup Ther Int*. 2023;2023:5147805. doi: 10.1155/2023/5147805.
 40. Gong XY, Cheng J, Wu YT, He F, Wang SH, Liu CY, et al. Effectiveness of Home-Based Cardiac Telerehabilitation Based on Wearable ECG or Heart Rate Monitoring Devices in Patients with Heart Disease: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Geriatr Nurs*. 2024;58:238-46. doi: 10.1016/j.gerinurse.2024.05.036.
 41. Busnatu ȘS, Pană MA, Lăcraru AE, Jercălu CE, Paun N, Caprino M, et al. Patient Perception When Transitioning from Classic to Remote Assisted Cardiac Rehabilitation. *Diagnostics*. 2022;12(4):926. doi: 10.3390/diagnostics12040926.

*Material suplementar

Para informação adicional, por favor, clique aqui.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença de atribuição pelo Creative Commons