



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE MEDICINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CARDIOLOGIA E CIÊNCIAS  
CARDIOVASCULARES

GABRIEL CARVALHO

**IMPACTO DA REABILITAÇÃO CARDIOPULMONAR PRECOCE COM ÊNFASE  
NO TREINAMENTO FÍSICO NA CAPACIDADE FUNCIONAL DE PACIENTES  
TRANSPLANTADOS CARDÍACOS: ESTUDO RETROSPECTIVO COMPARATIVO**

Porto Alegre

2024

GABRIEL CARVALHO

**IMPACTO DA REABILITAÇÃO CARDIOPULMONAR PRECOCE COM ÊNFASE  
NO TREINAMENTO FÍSICO NA CAPACIDADE FUNCIONAL DE PACIENTES  
TRANSPLANTADOS CARDÍACOS: ESTUDO RETROSPECTIVO COMPARATIVO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Cardiologia e Ciências Cardiovasculares da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Cardiologia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Stein

Porto Alegre

2024

## CIP - Catalogação na Publicação

CARVALHO, GABRIEL

IMPACTO DA REABILITAÇÃO CARDIOPULMONAR PRECOCE  
PRECOCE COM ÊNFASE NO TREINAMNETO FÍSICO NA CAPACIDADE  
FUNCIONAL DE PACIENTES TRANSPLANTADOS CARDÍACOS:  
ESTUDO RETROSPECTIVO COMPARATIVO / GABRIEL CARVALHO.

-- 2024.

53 f.

Orientador: Ricardo Stein.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa de  
Pós-Graduação em Ciências da Saúde: Cardiologia e  
Ciências Cardiovasculares, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. transplante cardiaco . 2. reabilitação  
cardiovascular. 3. treinamento físico . 4. capacidade  
funcional. 5. consumo de oxigênio de pico. I. Stein,  
Ricardo, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

GABRIEL CARVALHO

**IMPACTO DA REABILITAÇÃO CARDIOPULMONAR PRECOCE COM ÊNFASE  
NO TREINAMENTO FÍSICO NA CAPACIDADE FUNCIONAL DE PACIENTES  
TRANSPLANTADOS CARDÍACOS: ESTUDO RETROSPECTIVO COMPARATIVO**

**Dissertação** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Cardiologia e Ciências Cardiovasculares da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Cardiologia.

Aprovado em: 23 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Fernando Scolari (HCPA)

---

Juliana Beust de Lima (PUC)

---

Filipe Ferrari (UFGRS)

*Dedico este trabalho a minha família  
e a todos que contribuíram de alguma forma  
para conclusão do mesmo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo Stein pela oportunidade e companheirismo nos momentos mais difíceis dessa trajetória. Agradeço por me proporcionar, desde a minha iniciação científica, um crescimento significativo na minha jornada profissional e pessoal.

Agradeço aos Drs. Leandro Franzoni e Rosane Maria Nery, por tudo que pude aprender com ambos. Dr. Leandro, mesmo tendo passado por alguns momentos difíceis nessa trajetória, meu muito obrigado de coração.

A minha esposa Júlia Vicente Hass que vivenciou todos os dias da minha trajetória no mestrado. Por todo apoio e amor para sempre seguir em frente.

A minha família por oportunizar o que eles não puderam ter. Obrigado por todo esforço, obrigado pelo amor e confiança que depositam em mim todos os dias.

Ao grupo CardioEX HCPA, por toda acolhida durante esses 6 anos de muitas vivências na área acadêmica e profissional.

Agradeço de maneira especial a todos os pacientes que participaram voluntariamente deste trabalho, tornando-o possível e enriquecendo nossos dias de trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós Graduação em Cardiologia e Ciências Cardiovasculares da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio Grande do Sul por todo suporte.

## RESUMO

**Introdução:** O transplante cardíaco (TxC) é uma intervenção indicada para pacientes com insuficiência cardíaca avançada ou doença cardíaca terminal com intuito de restaurar a função contrátil cardíaca e, assim, melhorar a capacidade funcional e a qualidade de vida do paciente. Por sua vez, a reabilitação cardíaca pode ser uma estratégia relevante em proporcionar uma melhora na capacidade funcional avaliada através do teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) após TxC.

**Objetivo:** Investigar a eficácia de um programa de reabilitação cardíaca precoce (RP) na capacidade funcional em pacientes recentemente transplantados.

**Métodos:** Foi realizado um estudo comparativo retrospectivo envolvendo pacientes pós-TxC alocados em dois grupos: (1) RC, com duração de 16 semanas, realizado duas vezes por semana, com início do programa menos de 147 dias após a cirurgia; e (2) grupo controle (GC), sem qualquer tipo de intervenção. Não foi definido um intervalo para a inclusão dos pacientes. O TCPE foi realizado em três momentos diferentes: pré-TxC (Tempo 01), pós-TxC recente (Tempo 02) e pós-RC ou pós-acompanhamento para o GC (Tempo 03). Para a análise estatística, foram utilizadas as Equações de Estimação Generalizada, com efeitos do Grupo, do Tempo e da interação Grupo\*Tempo. O nível de significância selecionado foi de  $\alpha \leq 0,05$ . Os principais resultados foram apresentados como média  $\pm$  erro padrão com intervalos de confiança de 95% (IC 95%).

**Resultados:** Foram incluídos 29 participantes, com idade média de  $47 \pm 16$  anos para o grupo RC ( $n=18$ ) e  $49 \pm 13$  anos para o GC ( $n=11$ ) ( $P = 0,81$ ). Não foram encontradas diferenças entre os grupos em relação ao sexo (11 homens RC e 9 homens no GC). O tempo médio para iniciar a RC foi de  $62 \pm 10$  dias (mínimo: 21; máximo: 147). Após 16 semanas, houve um aumento mais pronunciado no consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2pico}$ ) para o grupo RC (diferença média (DM):  $5,54 \pm 0,84$ ; IC 95%: 3,53 a 7,56  $mL.kg^{-1}min^{-1}$ ;  $P < 0,01$ ). No entanto, houve uma diferença na comparação entre o tempo 01 e o tempo 03 (pré-TxC e após reabilitação) para o grupo RC (DM:  $7,34 \pm 1,13$ ; IC 95%: 4,62 a 10,06  $mL.kg^{-1}min^{-1}$ ;  $P < 0,01$ ). Além disso, é importante destacar a moderada, negativa e significativa correlação entre o tempo para iniciar a reabilitação (em dias) e o aumento do  $VO_{2pico}$  ( $R = -0,57$ ;  $P = 0,01$ ).

**Conclusão:** O programa de treinamento físico iniciado precocemente após o TxC evidenciou melhora significativa na capacidade funcional de pacientes pós-TxC, ressaltando sua importância como intervenção terapêutica nesse contexto.

Palavras-chave: reabilitação cardíaca, transplante cardíaco, exercício físico, teste cardiopulmonar do exercício.

## ABSTRACT

**Introduction:** Heart transplantation (TxC) is an intervention indicated for patients with advanced heart failure or end-stage heart disease, aimed at restoring cardiac contractile function and, thus, improving the patient's functional capacity and quality of life. Cardiac rehabilitation, in turn, can be a relevant strategy for improving functional capacity, as assessed through cardiopulmonary exercise testing (CPET) after TxC.

**Objective:** To investigate the effectiveness of an early cardiac rehabilitation (CR) program on functional capacity in recently transplanted patients.

**Methods:** A retrospective comparative study was conducted involving post-TxC patients allocated into two groups: (1) CR group, with a 16-week program, conducted twice a week, starting less than 147 days after surgery; and (2) control group (CG), with no intervention. No specific inclusion interval was defined for the patients. CPET was performed at three different time points: pre-TxC (Time 01), early post-TxC (Time 02), and post-CR or post-follow-up for the CG (Time 03). For statistical analysis, Generalized Estimating Equations were used, considering the effects of Group, Time, and the Group\*Time interaction. The significance level was set at  $\alpha \leq 0.05$ . Main results are presented as mean  $\pm$  standard error with 95% confidence intervals (CI).

**Results:** A total of 29 participants were included, with a mean age of  $47 \pm 17$  years for the CR group (n=18) and  $49 \pm 14$  years for the CG (n=11) ( $P = 0.81$ ). No differences between groups were found regarding sex (missing male/female distribution). The average time to start CR was  $62 \pm 10$  days (minimum: 21; maximum: 147). After 16 weeks, there was a more pronounced increase in peak oxygen consumption ( $VO_{2peak}$ ) for the CR group (mean difference (MD):  $5.54 \pm 0.84$ ; 95% CI: 3.53 to 7.56  $mL.kg^{-1}min^{-1}$ ;  $P < 0.01$ ). However, there was a significant difference in the comparison between Time 01 and Time 03 (pre-TxC and post-CR or follow-up) for the CR group (MD:  $7.34 \pm 1.13$ ; 95% CI: 4.62 to 10.06  $mL.kg^{-1}min^{-1}$ ;  $P < 0.01$ ). Additionally, a moderate, negative, and significant correlation was found between the time to start rehabilitation (in days) and the increase in  $VO_{2peak}$  ( $R = -0.57$ ;  $P = 0.01$ ).

**Conclusion:** The early physical training program initiated after TxC demonstrated a significant improvement in functional capacity in post-TxC patients, highlighting its relevance as a therapeutic intervention in this context.

**Keywords:** cardiac rehabilitation, heart transplantation, physical exercise, cardiopulmonary exercise testing.



## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Tabela 1: Caracterização da Amostra.....	38
Tabela 2: Comparação em três momentos de avaliação do vo2 pico do grupo reabilitação precoce e grupo controle.....	38
Figura 1: Consumo de oxigênio de pico em três momentos distintos em receptores de transplante cardíaco.....	39
Figura 2: Correlação entre o incremento do consumo de oxigênio de pico e os dias para o início da reabilitação cardíaca.....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEP	Comitê de Ética e Pesquisa
CF	Capacidade Funcional
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IMC	Índice de Massa Corporal
TCPE	Teste Cardiopulmonar do Exercício
HCPA	Hospital de Clínicas de Porto Alegre
TxC	Transplante cardíaco
RC	Reabilitação cardíaca
VO <sub>2</sub>	Consumo de oxigênio
VO <sub>2</sub> pico	Consumo de oxigênio de pico
VE max	Ventilação máxima
LV2	Segundo limiar ventilatório
FC	Frequência cardíaca

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA, OBJETIVO E HIPOTHESES .....</b>	<b>13</b>
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
3.1 PANORAMA HISTÓRICO DO TRANPLANTE CARDÍACO NO BRASIL E NO MUNDO .....	15
3.2 TRANSPLANTE CARDÍACO: RESPOSTA, CONDIÇÕES FISIOPATOLÓGICAS E EXERCÍCIO FÍSICO .....	17
<b>4.REFERÊNCIAS.....</b>	<b>20</b>
<b>ORIGINAL ARTICLE.....</b>	<b>25</b>
BACKGROUND .....	26
METHODS.....	27
RESULTS.....	31
DISCUSSION.....	33
CONCLUSIONS .....	35
REFERENCES .....	35
<b>FIGURAS E TABELAS.....</b>	<b>38</b>
<b>MATERIAL SUPLEMENTAR.....</b>	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O transplante cardíaco (TxC) é o tratamento indicado para indivíduos diagnosticados com insuficiência cardíaca avançada em estágio terminal, sendo a estratégia mais viável para a recuperação desses pacientes (1,2). Dados epidemiológicos apontaram que o número de transplantes no Brasil aumentou consideravelmente na última década. De acordo com o último relatório divulgado pelo Ministério da Saúde, o número de TxC realizados passou de 159 em 2011 para 430 em 2023 (3).

Embora o TxC proporcione melhora na expectativa e na qualidade de vida (1, 2), muitos pacientes continuam apresentando capacidade funcional (CF) reduzida em relação ao esperado para a idade (5). Assim, mesmo após o TxC, os desafios persistem, e a reabilitação cardíaca (RC) surge como uma ferramenta fundamental para melhorar a CF no período pós-transplante. Diante torna-se essencial investigar estratégias eficazes para melhorar a CF e otimizar os tratamentos disponíveis.

Evidências recentes mostram que a RC melhora parâmetros cardiopulmonares e a qualidade de vida em pacientes que participam de programas baseados em exercício físico (2). No entanto, poucos estudos aplicaram protocolos de treinamento em pacientes transplantados recentes. Além disso, a maioria das pesquisas aborda programas de treinamento iniciados, no mínimo, 6 meses após o TxC (5).

A CF, medida pelo consumo máximo de oxigênio de pico ( $VO_{2pico}$ ), é reduzida em indivíduos transplantados cardíacos quando comparados a indivíduos sedentários de mesma idade (6). Essa redução ocorre devido a perdas em componentes centrais (cardíaco e pulmonar) e periféricos (músculo esquelético e vascular) (6). Essas alterações podem ser atribuídas a fatores como terapia imunossupressora, consequências da insuficiência cardíaca prévia, ausência parcial ou completa da inervação cardíaca, cirurgia de grande porte e evolução clínica do paciente (7). Compreender os fatores e comorbidades que

contribuem para a diminuição da CF é essencial para implementar estratégias que melhorem o prognóstico.

Diante desse cenário complexo, a RC precoce, com ênfase no treinamento físico, emerge como uma abordagem terapêutica promissora para enfrentar os desafios da redução da CF pós-TxC. Embora a literatura evidencie resultados positivos com a reabilitação iniciada, em média, 6 meses após o TxC, existem lacunas relacionadas a intervenções precoces (antes de 180 dias). Essas intervenções podem ser ainda mais eficazes, considerando o efeito sinérgico do TxC no aumento do  $VO_{2pico}$  devido aos mecanismos previamente mencionados.

Ao fornecer um programa estruturado de exercícios físicos, a RC busca maximizar a recuperação funcional, combater o sedentarismo e promover a reintegração dos pacientes à vida ativa (5,6).

## **2. JUSTIFICATIVA, OBJETIVO E HIPOTHESES**

A investigação da reabilitação cardíaca, com foco no início precoce do treinamento físico, é fundamental para entender seu impacto na capacidade funcional e no bem-estar geral de pacientes submetidos a transplante cardíaco. Embora a literatura ainda apresente lacunas significativas sobre o momento ideal para iniciar o programa de reabilitação, há evidências que sugerem que uma intervenção precoce pode contribuir para o aumento do consumo máximo de oxigênio de pico no período pós-transplante, promovendo benefícios importantes para a recuperação desses pacientes.

Assim, esta dissertação visa preencher as lacunas existentes na literatura por meio de uma análise comparativa retrospectiva, avaliando os efeitos da reabilitação cardíaca precoce na capacidade funcional de pacientes pós-transplante cardíaco. O objetivo principal é verificar a eficácia da reabilitação cardíaca na melhoria da capacidade funcional e correlacionar o tempo de início do programa de reabilitação com o aumento do consumo máximo de oxigênio de pico, em comparação com um grupo controle.

### **OBJETIVO**

Verificar a eficácia da reabilitação cardíaca na melhoria da capacidade funcional, correlacionando o tempo de início do programa de reabilitação com o aumento do consumo máximo de oxigênio de pico em comparação a um grupo controle.

## **HIPÓTESES**

H0: Pacientes pós-transplante cardíaco recente não apresentarão melhora significativa na capacidade funcional após 4 meses de reabilitação cardíaca com ênfase no treinamento físico.

H1: Pacientes pós-transplante cardíaco recente apresentarão melhora significativa na capacidade funcional após 4 meses de reabilitação cardíaca com ênfase no treinamento físico.

### **3 REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1 PANORAMA HISTÓRICO DO TRANPLANTE CARDÍACO NO BRASIL E NO MUNDO**

O transplante cardíaco (TxC), aliado a uma rede terapêutica e de cuidados, oferece a muitos pacientes com insuficiência cardíaca (IC) avançada a oportunidade de melhorar seu prognóstico. O passado e o presente de esforços, resiliência e investimentos em pesquisa foram fundamentais para os avanços nessa área, contribuindo para a construção de uma rede de cuidados dedicada a esses indivíduos (1, 8).

Em dezembro de 1967, o Professor Christiaan Barnard realizou o primeiro TxC entre humanos, marcando um momento histórico na África do Sul (9). Apenas seis meses depois, o Brasil seguiu esse caminho pioneiro, com a equipe do Dr. Euryclides Zerbini realizando o primeiro TxC no país, no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (10). Desde então, especialmente após o advento da ciclosporina na década de 1980, o número de TxCs aumentou significativamente em todo o mundo (1, 7). Em 2023, o Brasil alcançou um recorde histórico de 424 procedimentos, representando um aumento de 18% em relação a 2022, destacando a crescente relevância desse campo da medicina (3).

Dados da *International Society for Heart and Lung Transplantation* (ISHLT) indicam que, entre 1982 e 2015, foram realizados 126.753 TxCs no mundo (10). Entre os adultos submetidos ao procedimento nesse período, a mediana de sobrevida foi de 10,7 anos, com tendência de aumento nos anos mais recentes (10).

A decisão de realizar um TxC deve ser baseada em uma avaliação abrangente dos riscos e benefícios, considerando aspectos clínicos, laboratoriais, hemodinâmicos, psicológicos e sociais. Essa análise detalhada é essencial para identificar os pacientes que mais se beneficiarão do procedimento. Os candidatos típicos ao TxC são pacientes com



IC avançada, sintomas progressivos refratários ao tratamento medicamentoso ou intervencionista, e prognóstico adverso, frequentemente apresentando grave limitação funcional (NYHA III e IV), dependência de drogas inotrópicas ou suporte circulatório mecânico, arritmias ventriculares sintomáticas recorrentes e doença cardíaca isquêmica sem opções viáveis de revascularização (2, 5).

O Teste Cardiopulmonar do Exercício (TCPE) é uma ferramenta útil para avaliação prognóstica, permitindo a medição objetiva da capacidade funcional (CF) por meio de preditores importantes, como o  $VO_2$  pico e a inclinação  $VE/VCO_2$ . Os critérios para indicação de TxC incluem  $VO_2$  pico  $\leq 12$   $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  ( $\leq 14$   $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  para pacientes intolerantes a betabloqueadores),  $VO_2$  pico  $\leq 50\%$  do previsto para pacientes com menos de 50 anos e mulheres,  $VO_2$  ajustado para massa magra  $\leq 19$   $ml.kg^{-1}.min^{-1}$  em pacientes com índice de massa corporal (IMC)  $>30$   $kg/m^2$ , e inclinação  $VE/VCO_2 >35$  em testes submáximos (1, 7, 8).

Quando realizado em pacientes criteriosamente selecionados, o TxC proporciona melhorias significativas na sobrevida (11), qualidade de vida (11) e CF (12), permitindo, em alguns casos, o retorno ao trabalho e até mesmo a participação em atividades esportivas competitivas (13). Após o procedimento, os pacientes relatam menos sintomas, melhor percepção de saúde, funcionalidade aprimorada e maior satisfação geral com a vida (12).

Apesar dessas melhorias, muitos pacientes permanecem com CF abaixo do esperado, medida pelo  $VO_2$  pico. Essa limitação pode ser atribuída a fatores como IC prévia, necessidade de terapia imunossupressora e a fisiopatologia do coração transplantado (12,13). Compreender os fatores que contribuem para essa redução da CF e identificar comorbidades comuns é essencial para orientar estratégias eficazes.

Nesse cenário, a reabilitação cardíaca (RC) surge como uma abordagem multidisciplinar, voltada para promover a saúde global do paciente e facilitar sua reintegração à sociedade (16). Entre as estratégias integradas à RC, a terapia física desempenha um papel central. Estudos controlados desde os anos 1990 demonstram que programas estruturados de exercício são eficazes na melhoria de múltiplos aspectos da fisiopatologia de pacientes pós-TxC (15, 16).

### **3.2 TRANSPLANTE CARDÍACO: RESPOSTA, CONDIÇÕES FISIOPATOLÓGICAS E EXERCÍCIO FÍSICO**

Os benefícios do TxC vão além do restabelecimento da hemodinâmica cardíaca, repercutindo positivamente em outros sistemas e aspectos, como o incremento da qualidade de vida e a melhora no prognóstico (18). Apesar dessas melhorias serem de grande relevância, elas são frequentemente parciais. Assim, estratégias eficazes para reverter alterações fisiopatológicas e mitigar os efeitos adversos da terapia imunossupressora podem contribuir para um melhor desempenho nas atividades de vida diária, maior CF e menor morbimortalidade nessa população (19). Nesse contexto, o treinamento físico desponta como uma estratégia multifatorial promissora, capaz de favorecer um prognóstico ainda mais positivo.

Embora os pacientes pós-TxC experimentem melhorias significativas na hemodinâmica cardíaca, estudos demonstram que, apesar do aumento expressivo no  $VO_2$  pico durante o primeiro ano após o TxC, os valores ainda permanecem abaixo do predito para a idade (20).

Essa limitação na tolerância ao exercício em pacientes pós-TxC é atribuída a diversos fatores. O  $VO_2$  é determinado pelo produto do débito cardíaco pela diferença arteriovenosa de oxigênio. Em pacientes pós-TxC, a redução do  $VO_2$  pico é

primariamente associada a alterações nos componentes periféricos responsáveis pela extração de oxigênio (21).

A interação entre múltiplos fatores é evidente nas adaptações do organismo às demandas metabólicas, incluindo ventilação pulmonar, débito cardíaco, pré-carga, pós-carga, inotropismo, cronotropismo, dromotropismo, volume sanguíneo, concentração de hemoglobina, fluxo sanguíneo periférico e capacidade metabólica celular, todos contribuindo para o aumento do  $VO_2$ pico (21, 22). Nos pacientes pós-TxC, mesmo que o novo coração tenha função sistólica preservada, alterações decorrentes do processo patológico subjacente e das intervenções terapêuticas necessárias podem impactar negativamente esses diversos níveis, resultando em potenciais prejuízos funcionais (15, 23).

Além das alterações cardíacas, diversas mudanças sistêmicas contribuem para a intolerância ao exercício em pacientes com IC. Essas alterações incluem fraqueza muscular inspiratória, redução na capacidade de troca gasosa nos pulmões, disfunção endotelial e mudanças na musculatura esquelética. Especificamente, essas mudanças na musculatura esquelética envolvem diminuição da quantidade e qualidade muscular, maior proporção de fibras do tipo II e redução na quantidade e atividade das mitocôndrias, o que torna os músculos mais propensos à fadiga (22, 24).

A inatividade física, frequentemente observada nos pacientes com IC, contribui para a miopatia esquelética (25,26). Nesse contexto, a sarcopenia, caracterizada pela diminuição de massa e força muscular, é prevalente e está associada a um menor  $VO_2$ pico e pior prognóstico (25, 26). No período pós-TxC, essas alterações podem ser agravadas na ausência de intervenções direcionadas, devido principalmente ao uso de corticosteroides e inibidores da calcineurina. Esses medicamentos, embora essenciais

para evitar rejeição, apresentam efeitos adversos, como comprometimento da saúde vascular, muscular esquelética e da densidade mineral óssea (15, 23, 27, 28).

A RC surge como uma estratégia eficaz para mitigar essas alterações fisiopatológicas, contribuindo para a melhora da CF e da qualidade de vida em pacientes transplantados. Apesar da melhora significativa na hemodinâmica cardíaca observada após o TxC, estudos mostram que a capacidade de esforço permanece reduzida em comparação a indivíduos saudáveis. Kao et al. (29) demonstraram que, no pico do esforço, o índice cardíaco de pacientes pós-TxC é aproximadamente 41% menor do que o de indivíduos saudáveis. Esse comprometimento é, em grande parte, atribuído à incompetência cronotrópica causada pela interrupção da inervação autonômica do coração durante o procedimento cirúrgico, envolvendo tanto fibras simpáticas quanto parassimpáticas (30).

Estudos recentes reforçam os benefícios do exercício físico estruturado no âmbito da RC. Uma meta-análise demonstrou que pacientes submetidos a programas de RC baseados em exercícios apresentaram aumento significativo no  $VO_{2pico}$ , associado a melhoras na CF e no prognóstico (31). Entre as modalidades testadas, o exercício aeróbico de intensidade moderada demonstrou segurança e eficácia, promovendo ganhos funcionais comparáveis aos de indivíduos saudáveis (32). Além disso, o treinamento aeróbico intervalado de alta intensidade e o treinamento combinado (aeróbico + resistido) também mostraram resultados positivos, incluindo um aumento médio de  $3,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  no  $VO_{2pico}$  em pacientes pós-TxC.

É importante notar que os estudos disponíveis iniciaram os programas de RC em média 120 dias após o TxC. Embora seja sabido que o  $VO_{2pico}$  tende a aumentar “espontaneamente” no período pós-TxC, ainda não há evidências robustas sobre os efeitos de uma intervenção mais precoce. Investigar a eficácia de uma RC iniciada nos

primeiros meses após o transplante pode revelar benefícios adicionais tanto no VO<sub>2</sub>pico quanto em outras variáveis do TCPE.

Portanto, há uma lacuna significativa na literatura sobre o momento ideal para iniciar o treinamento físico em pacientes pós-TxC. Este estudo se propõe a investigar os efeitos da RC precoce sobre as variáveis do TCPE, buscando preencher essa lacuna e contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes para potencializar os benefícios do treinamento físico nessa população.

#### **4.REFERÊNCIAS**

1. Stehlik J, Kobashigawa J, Hunt SA, Reichenspurner H, Kirklin JK. Honoring 50 years of clinical heart transplantation in *Circulation: In-depth state-of-the-art review*. Vol. 137, *Circulation*. Lippincott Williams and Wilkins; 2018. p. 71–87.
2. Bacal F, Marcondes-Braga FG, Rohde LEP, Xavier Júnior JL, Brito F de S, Moura LAZ, et al. 3a Diretriz Brasileira de Transplante Cardíaco. *Arq Bras Cardiol*. 2018 Aug 1;111(2):230–89.
3. BRASIL. Ministério da Saúde Sistema Nacional de Transplantes (SNT): Relatório de Transplantes Realizados (Brasil) - Evolução 2001 - 2023. Brasília: SNI, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/saes/snt/estatisticas/transplantes-serie-historica/transplantes-realizados/relatorio-de-transplantes-realizados-brasil-evolucao-2001-2023/view> Acesso em: 20 nov. 2024
4. Crespo-Leiro MG, Metra M, Lund LH, Milicic D, Costanzo MR, Filippatos G, et al. Advanced heart failure: a position statement of the Heart Failure Association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Fail*. 2018 Nov 1;20(11):1505–35.

5. Anderson L, Nguyen TT, Dall CH, Burgess L, Bridges C, Taylor RS. Exercise-based cardiac rehabilitation in heart transplant recipients. Vol. 2017, Cochrane Database of Systematic Reviews. John Wiley and Sons Ltd; 2017.
6. Carvalho VO, Barni C, Teixeira-Neto IS, Guimaraes GV, Carvalho VO, Bocchi EA. Exercise capacity in early and late adult heart transplant recipients. *Cardiol J*. 2013 Apr 5;20(2).
7. Mehra MR, Kobashigawa J, Starling R, Russell S, Uber PA, Parameshwar J, et al. Listing Criteria for Heart Transplantation: International Society for Heart and Lung Transplantation Guidelines for the Care of Cardiac Transplant Candidates-2006. *Journal of Heart and Lung Transplantation*. 2006 Sep;25(9):1024–42.
8. Garry DJ, Wilson RF, Vlodayer Z. Congestive Heart Failure and Cardiac Transplantation.
9. Barnard CN. The operation. A human cardiac transplant: an interim report of a successful operation performed at Groote Schuur Hospital, Cape Town. *S Afr Med J*. 1967 Dec 30;41(48):1271–4.
10. Chambers DC, Yusen RD, Cherikh WS, Goldfarb SB, Kucheryavaya AY, Khusch K, et al. The Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: Thirty-fourth Adult Lung And Heart-Lung Transplantation Report—2017; Focus Theme: Allograft ischemic time. *Journal of Heart and Lung Transplantation*. 2017 Oct 1;36(10):1047–59.
11. White-Williams C, Jalowiec A, Grady K. Who returns to work after heart transplantation? *Journal of Heart and Lung Transplantation*. 2005 Dec;24(12):2255–61.
12. Emin A, Rogers CA, Banner NR, Hedger M, Hards R, Lincoln P, et al. Quality of life of advanced chronic heart failure: Medical care, mechanical circulatory support and transplantation. *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*. 2016 Aug 1;50(2):269–73.

13. Grady KL, Jalowiec A, White-Williams C. Improvement in quality of life in patients with heart failure who undergo transplantation. *J Heart Lung Transplant*. 1996 Aug;15(8):749–57.
14. Tucker WJ, Beaudry RI, Samuel TJ, Nelson MD, Halle M, Baggish AL, et al. Performance Limitations in Heart Transplant Recipients. *Exerc Sport Sci Rev*. 2018 Jul;46(3):144–51.
15. Pelliccia A, Sharma S, Gati S, Bäck M, Börjesson M, Caselli S, et al. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. Vol. 42, *European Heart Journal*. Oxford University Press; 2021. p. 17–96.
16. de Carvalho T, Milani M, Ferraz AS, da Silveira AD, Herdy AH, Hossri CAC, et al. Brazilian cardiovascular rehabilitation guideline – 2020. *Arq Bras Cardiol*. 2020 May 1;114(5):943–87.
17. Milaniak I, Rużyczka EW, Dębska G, Król B, Wierzbicki K, Tomaszek L, et al. Level of Life Quality in Heart and Kidney Transplant Recipients: A Multicenter Study. *Transplant Proc*. 2020 Sep 1;52(7):2081–6.
18. Haberbusch M, De Luca D, Moscato F. Changes in Resting and Exercise Hemodynamics Early After Heart Transplantation: A Simulation Perspective. *Front Physiol*. 2020 Nov 6;11.
19. Gullestad L, Myers J, Edvardsen T, Kjekshus J, Geiran O, Simonsen S. Predictors of Exercise Capacity and the Impact of Angiographic Coronary Artery Disease in Heart Transplant Recipients. Vol. 147, *Am Heart J*. 2004.
20. McArdle WD KFKVL. Transferência de Energia na Atividade Física. In: *Fisiologia do Exercício. Nutrição, Energia e Desempenho Humano*. 8th ed. 2019. 465–466 p.
21. Del Buono MG, Arena R, Borlaug BA, Carbone S, Canada JM, Kirkman DL, et al. Exercise Intolerance in Patients With Heart Failure: JACC State-of-the-Art Review. Vol. 73, *Journal of the American College of Cardiology*. Elsevier USA; 2019. p. 2209–25.

22. Schmidt T, Bjarnason-Wehrens B, Predel HG, Reiss N. Exercise after Heart Transplantation: Typical Alterations, Diagnostics and Interventions. Vol. 42, International Journal of Sports Medicine. Georg Thieme Verlag; 2021. p. 103–11.
23. Arena R, Myers J. ARTIGO DE REVISÃO The clinical importance of cardiopulmonary exercise testing and aerobic training in patients with heart failure A importância clínica de testes de exercícios cardiopulmonares e treinamento aeróbico em pacientes com insuficiência cardíaca. Rev Bras Fisioter. 12(2):75–87.
24. Bielecka-Dabrowa A, Ebner N, dos Santos MR, Ishida J, Hasenfuss G, von Haehling S. Cachexia, muscle wasting, and frailty in cardiovascular disease. Eur J Heart Fail. 2020 Dec 1;22(12):2314–26.
25. Piepoli MF, Coats AJS. The “skeletal muscle hypothesis in heart failure” revised. Vol. 34, European Heart Journal. 2013. p. 486–8.
26. LIMA JB de, FERRARI F, STEIN R. REABILITAÇÃO NOS PACIENTES SUBMETIDOS A TRANSPLANTE CARDÍACO – PARTE III: RECOMENDAÇÕES PARA TREINAMENTO PÓS-TRANSPLANTE CARDÍACO. Revista do DERC. 2019 Aug 26;25(2):38–44.
27. Braith RW, Edwards DG. Exercise following heart transplantation. J Heart Lung Transplant. 2001;20(6):631-634.
28. Kao AC, Van Trigt III P, Shaeffer-McCail GS, Shaw JP, Kuzil BB, Page RD, et al. Central and Peripheral Limitations to Upright Exercise in Untrained Cardiac Transplant Recipients [Internet]. Available from: <http://ahajournals.org>
29. Awad M, Czer LSC, Hou M, Golshani SS, Goltche M, De Robertis M, et al. Early denervation and later reinnervation of the heart following cardiac transplantation: A review. Vol. 5, Journal of the American Heart Association. John Wiley and Sons Inc.; 2016.



30. Anderson L, Nguyen TT, Dall CH, Burgess L, Bridges C, Taylor RS. Exercise-based cardiac rehabilitation in heart transplant recipients. Vol. 2017, Cochrane Database of Systematic Reviews. John Wiley and Sons Ltd; 2017.
31. Haykowsky M, Taylor D, Kim D, Tymchak W. Exercise training improves aerobic capacity and skeletal muscle function in heart transplant recipients. *American Journal of Transplantation*. 2009 Apr;9(4):734–9.

## ORIGINAL ARTICLE

# Impact of Early Cardiac Rehabilitation with Emphasis on Physical Training on Functional Capacity in Heart Transplant Recipients: A Retrospective Comparative Study

### Authors and affiliations:

Gabriel Carvalho<sup>1,2</sup>, Leandro Tolfo Franzoni<sup>1,2</sup>, Anderson Donelli da Silveira,<sup>1,2,3</sup>  
Ricardo Stein<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup> Graduate Program in Cardiology and Cardiovascular Sciences, School of Medicine, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil

<sup>2</sup> Exercise Cardiology Research Group (Cárie), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, RS, Brazil

<sup>3</sup> Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Internal Medicine Department, Porto Alegre, RS, Brazil

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Internal Medicine Department, Porto Alegre, RS, Brazil

### Corresponding Author:

Professor Ricardo Stein, MD, ScD

Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Largo Eduardo Zaccaro Faraco, Rua Ramiro Barcelos 2350 – Serviço de Fisiatria – Térreo. ZIP Code: 90035-903, Porto Alegre, RS – Brazil.

Email: rstein@cardiol.br

## ABSTRACT

**Introduction:** Heart transplantation (TxC) is an intervention indicated for patients with advanced heart failure or end-stage heart disease, aimed at restoring cardiac contractile function and, thus, improving the patient's functional capacity and quality of life. Cardiac rehabilitation, in turn, can be a relevant strategy for improving functional capacity, as assessed through cardiopulmonary exercise testing (CPET) after TxC.

**Objective:** To investigate the effectiveness of an early cardiac rehabilitation (CR) program on functional capacity in recently transplanted patients.

**Methods:** A retrospective comparative study was conducted involving post-TxC patients allocated into two groups: (1) CR group, with a 16-week combined training program, conducted twice a week, and (2) control group (CG), with no intervention. No specific inclusion interval was defined for the patients. CPET was performed at three different time points: pre-TxC (Time 01), early post-TxC (Time 02), and post-CR or post-follow-up for the CG (Time 03). For statistical analysis, Generalized Estimating Equations were used, considering the effects of Group, Time, and the Group\*Time interaction. The significance level was set at  $\alpha \leq 0.05$ . Main results are presented as mean  $\pm$  standard error with 95% confidence intervals (CI).

**Results:** A total of 29 participants were included, with a mean age of  $47 \pm 17$  years for the CR group (n=18) and  $49 \pm 14$  years for the CG (n=11) ( $P = 0.81$ ). No differences between groups were found regarding sex (missing male/female distribution). The average time to start CR was 45 days (IQR 28-91) days. After 16 weeks of intervention, there was a more pronounced increase in peak oxygen consumption ( $VO_{2peak}$ ) for the ECR group (mean difference (MD):  $5.54 \pm 0.84$ ; 95% CI: 3.53 to 7.56  $mL.kg^{-1}min^{-1}$ ;  $P < 0.01$ ). However, after TxC (from Time 01 to Time 02), the CG showed significant improvement with a mean difference of  $4.07 \pm 1.46$ ; 95% CI: 0.57 to 7.57  $mL.kg^{-1}min^{-1}$  ( $P = 0.01$ ). However, there was a significant difference in the comparison between Time 01 and Time 03 (pre-TxC and post-CR or follow-up) for the CR group (MD:  $7.34 \pm 1.13$ ; 95% CI: 4.62 to 10.06  $mL.kg^{-1}.min^{-1}$ ;  $P < 0.01$ ). Additionally, a moderate, negative, and significant correlation was found between the time to start rehabilitation (in days) and the increase in  $VO_{2peak}$  ( $R = -0.57$ ;  $P = 0.01$ ).

**Conclusion:** The early physical training program initiated after TxC demonstrated a significant improvement in functional capacity in post-TxC patients, highlighting its relevance as a therapeutic intervention in this context.

**Keywords:** cardiac rehabilitation, heart transplantation, physical exercise, cardiopulmonary exercise testing.

## BACKGROUND

Heart transplantation (HTx) remains the gold-standard treatment for individuals with advanced, advanced heart failure.<sup>1</sup> Globally, it is estimated that between 4,000 and

5,000 HTx procedures are performed annually. In 2022, 363 transplants were conducted, while 416 individuals remained on the waiting list, according to the National Transplant System.<sup>2,3</sup>

Despite its life-saving potential, HTx does not fully restore functional capacity. Post-transplant patients often exhibit reduced cardiopulmonary functional capacity compared to age-matched healthy individuals,<sup>4,5</sup> as well as poorer quality of life.<sup>4</sup> These limitations highlight the need for complementary interventions to optimize recovery and improve long-term outcomes.

Functional capacity is primarily assessed using peak oxygen consumption ( $VO_2$ peak) during a cardiopulmonary exercise test (CPET), a gold-standard method for evaluating aerobic fitness.<sup>6,7</sup> Physical exercise-based cardiac rehabilitation is a cornerstone of post-HTx care, offering substantial benefits in both functional capacity and quality of life.<sup>8</sup> However, the majority of programs target patients starting rehabilitation more than four months after HTx,<sup>9</sup> leaving a gap in understanding the effects of early cardiac rehabilitation (ECR). Although the benefits of HTx on  $VO_2$ peak after HTx are well documented,<sup>10,11</sup>

The aim of this study was to assess the effectiveness of an ECR program on functional capacity in recently transplanted patients. By exploring changes in functional capacity over time, the study seeks to enhance our understanding of ECR strategies to optimize post-heart transplant care.

## **METHODS**

### **Study Design and Participants**

This retrospective comparative study analyzed data from patients who underwent HTx in a tertiary referral hospital (Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, Brazil) between 2014 and 2023, with data analysis conducted in November 2024. All participants provided written informed consent for the retrospective analysis and publication of their data, in accordance with the Helsinki Declaration and the National Health Council Resolution 466/12. Ethical approval for the study was obtained from the Research Ethics Committee of the Hospital de Clínicas de Porto Alegre (protocol number: 20180651).

The study included male and female patients (20 males and 9 females), aged 14 to 73 years, who underwent HTx and participated in the Phase II Academic-Assistance Cardiac Rehabilitation Program at Hospital de Clínicas de Porto Alegre during the specific period. Eligibility criteria encompassed individuals with complete data available for analysis, while patients with incomplete rehabilitation records or follow-up data were excluded.

### **Cardiopulmonary Exercise Test**

The data were collected at three distinct time points: (1) before HTx, (2) shortly after HTx (ECR 42 days [IQR, 28-91], GC 56 [IQR, 38-94]), and (3) following the ECR program (ECR 206 [IQR, 182-245], GC 301 [IQR, 245-357]) or after three months of follow-up for the control group (GC).

All CPETs were conducted in the morning at the Non-Invasive Methods Unit of HCPA (UMNI-HCPA) under controlled room temperatures (18°C-22°C). A cardiologist certified by the Department of Ergometry, Exercise, Nuclear Cardiology, and Cardiovascular Rehabilitation of the Brazilian Society of Cardiology exclusively performed the tests (ADS).

The CPET assessments were conducted on a treadmill (General Electric T-2100, GE Healthcare, Waukesha, WI, USA) using a ramp protocol established by Nery et al.<sup>13</sup> Parameters such as  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ , carbon dioxide production ( $\dot{V}CO_2$ ), minute ventilation (VE), and respiratory quotient were measured breath by breath using the Cortex Metalyzer 3B System (Cortex Medical, Leipzig, Germany), designed for precise pulmonary gas exchange analysis. All tests achieved an  $r \geq 1.10$ .

Participants underwent continuous 12-lead electrocardiographic monitoring (Nihon Kohden Corporation, Tokyo, Japan) adapted from the Mason-Likar protocol.<sup>41</sup> Blood pressure was measured using a sphygmomanometer (P.A. MED PA 2001, Brazil). Tests were classified as maximal when the respiratory quotient reached or exceeded 1.10.

To ensure safety, strict termination criteria were applied. Tests were stopped in the presence of exercise intolerance (e.g., chest pain or discomfort, pronounced dyspnea, dizziness, confusion, ataxia, pallor, excessive sweating, cyanosis, claudication, or cramps), abnormal cardiovascular responses (e.g., atypical blood pressure or heart rate changes), or at the participant's request.

### **Intervention and Control**

The intervention was a 16-week, twice-weekly (~ 45-60 minutes per session), supervised ECR program that followed a structured training protocol combining aerobic and strength exercises. Each session began with aerobic training, followed by strength exercises.

Aerobic training was prescribed based on CPET results, and the modified Borg scale (ranging from 0 to 10) was used to assess exertion levels. The protocol consisted of treadmill walking sessions divided into two phases. During sessions 1-12, participants walked for 20 to 40 minutes at a heart rate corresponding to 65% to 85% of heart rate reserve or a perceived exertion level of 1-6 on the Borg scale (“very slight” to “severe”). In sessions 13-32, the intensity was adjusted to 45% to 90% of heart rate reserve, with an exertion level on the Borg scale of 2-7 (“slight” to “very severe”), while maintaining the same duration of 20 to 40 minutes per session. All sessions were documented with a wrist-worn heart rate monitor.

Strength training included both multi-joint and single-joint exercises (sit-to-stand, seated row, shoulder press, plantar flexion, bench press, and hip thrust) using dumbbells, resistance bands, and bodyweight exercises. During sessions 1-12, participants performed 1-2 sets of 8-15 repetitions (~ 10-15 minutes), at an intensity level of 1-6 on the modified Borg scale. In sessions 13-32, the training progressed to 2-3 sets of 8-15 repetitions (~ 15-20 minutes), with an intensity level of 2-7 on the Borg scale (“slight” to “very severe”). All the periodization of aerobic and strength training is available in the supplementary material.

The patients in the CG did not receive any formal exercise prescription and were instructed to continue their current activity practices throughout the study.

## **Outcomes**

The primary outcome was to compare functional capacity between the intervention and control groups at three different time points: pre-transplant, post-recent transplant, and post-early rehabilitation (or follow-up).

A secondary outcome was to correlate the change in peak VO<sub>2</sub> with the timing of rehabilitation initiation.

### **Statistical Analysis**

In the descriptive analysis, variables with a normal distribution were expressed as means and standard deviations, while non-normally distributed variables were described as medians and interquartile ranges. For the outcomes, means and standard errors were reported, and non-normal data were presented as medians along with their minimum and maximum values.

Group comparisons were performed using the Student's t-test for independent samples for normally distributed continuous variables. Frequencies were compared using the chi-square test, and differences in non-normally distributed variables were assessed using the Mann-Whitney U test. Changes over time and between groups were analyzed using Generalized Estimating Equations.

The significance level was set at  $\alpha \leq 0.05$ . Mean differences and 95% confidence intervals were calculated to provide precision and variability estimates. Data analysis was conducted using SPSS software, version 20.0 (IBM, United States).

## **RESULTS**

A total of 29 participants were included with a mean age of  $47.36 \pm 15.62$  for ECR group (n=18), and  $48.66 \pm 12.56$  years for GC (n=11) (P = 0.81). No differences



were found between the groups regarding sex. The majority of participants were male (79%). Patients in the ECR group began the exercise training program at an average of  $62 \pm 10$  days post-transplant (range: 21 to 147 days). Medians for the timing of the second and third CPET assessments, as well as participants' body mass index and body mass, are summarized in **Table 1**.

**Table 2** presents the results of a comparison between an early cardiac rehabilitation group and a control group in heart transplant recipients at three different time points: pre-transplant, post-transplant, and post early rehabilitation. The primary outcome measured was peak  $\text{VO}_2$ , which is a measure of cardiorespiratory fitness. The data is presented as mean  $\pm$  standard error (95% confidence interval). A p value of 0.039 indicates a significant interaction between group and time, suggesting that the two groups experienced different changes in peak  $\text{VO}_2$  over time.

**Figure 1** presents the interactions between group and time factors for functional capacity. After the exercise training program, there was a more pronounced increase in  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  for ECR group (mean difference (MD):  $5.54 \pm 0.84$ ; 95% CI: 3.53 to 7.56  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $P < 0.01$ ). However, after HTx (time 01 to time 02), the CG showed a significant improvement with a mean difference of  $4.07 \pm 1.46$ ; 95% CI: 0.57 to 7.57  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $P = 0.01$ ). It is important to note that this behavior was not observed for the ECR group. Nevertheless, there was a difference in the comparison between time 01 and time 03 (pre-HTx and after the rehabilitation follow-up) for the ECR group (MD:  $7.34 \pm 1.13$ ; 95% CI: 4.62 to 10.06  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $P < 0.01$ ). Additionally, it is important to note the difference between the groups for time 03 (post-rehabilitation/post-follow-up), with a MD of  $5.16 \pm 1.95$ ; 95% CI: 1.33 to 8.99  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $P < 0.01$ ).

**Figure 2** demonstrates a significant, moderate, negative correlation between the time to start rehabilitation (in days) and the increase in peak VO<sub>2</sub> ( $R = -0.579$ ,  $p = 0.01$ ). Approximately 18.3% of the variability in the increase of peak VO<sub>2</sub> can be explained by the time to start rehabilitation ( $r^2=0.183$ ).

## DISCUSSION

This retrospective comparative study demonstrated that post-HTx patients who participated in a structured ECR program focused on physical exercise experienced significant improvements in functional capacity, as evidenced by increased VO<sub>2peak</sub>. These findings may have implications for public health guidelines, emphasizing the importance of an early, exercise-centered approach to improving the functional capacity of patients undergoing HTx.

Our findings are consistent with a previous randomized controlled trial that reported significant improvements in VO<sub>2peak</sub> among post-HTx patients who initiated physical training early (two weeks post-transplant). In that study, six months of training resulted in a greater increase in VO<sub>2peak</sub> compared to the control group (mean difference:  $4.4 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  vs.  $1.9 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $P = 0.01$ ).<sup>13</sup> In this context, safety and efficacy have always been key considerations. In this regard, other trials have similarly demonstrated the safety and efficacy of various training modalities, including high-intensity interval training, in improving functional capacity in HTx recipients.<sup>14,15</sup>

In the present study, the mean increase of  $5.5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  in VO<sub>2peak</sub> observed in the ECR group between the second and third assessments aligns with the findings of Anderson et al.<sup>4</sup> In their meta-analysis of randomized controlled trials, they highlighted the positive, and effective impact of exercise on functional capacity in post-HTx patients. However, those studies typically included patients at least one year post-HTx, with follow-up periods of 12 weeks.<sup>4</sup> This distinction highlights the findings of our

study, which applied an exercise protocol to patients in the early post-HTx phase, with a mean start of 45 days (IQR 28-91).

The prognostic importance of  $\text{VO}_2\text{peak}$  is also supported by Kavanagh et al., who showed that a  $1 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  increase in  $\text{VO}_2\text{peak}$  could reduce mortality by up to 10% in patients with cardiovascular disease.<sup>16</sup> In this context, our results suggest that ECR may be effective and could potentially contribute to improved patient longevity.

While our study showed significant improvements in functional capacity following the intervention, we also identified a moderate, negative correlation between the time to initiate rehabilitation and the increase in peak  $\text{VO}_2$  (Figure 1). This suggests that earlier initiation of rehabilitation may be linked to a more pronounced improvement in peak  $\text{VO}_2$ . Future research should investigate the optimal timing for starting rehabilitation in order to maximize these benefits.

### **Strengths and Limitations**

This study adds to the growing body of literature on cardiac rehabilitation in HTx recipients by exploring the effects of early intervention on functional capacity, as assessed by CPET. These findings help address a gap in the literature, suggesting that ECR may play a role in improving post-HTx outcomes and highlighting the potential benefits of exercise training as part of the recovery process. While current research provides limited evidence on the benefits of ECR for recent HTx recipients, particularly in direct comparisons between those who participate in ECR and those who do not, our results offer useful insights that may enhance understanding of the potential advantages of ECR in this patient group.

It is important to acknowledge several limitations of this study. First, it was conducted at a single center, which may limit the generalizability of the findings to other populations or clinical settings. Second, the small sample size restricts the statistical

power and robustness of the results. Third, as a retrospective comparative study, our findings are subject to potential biases inherent in this study design. To validate and further explore these results, prospective multicenter studies with larger cohorts are needed to provide more robust and generalizable insights.

## CONCLUSIONS

This study demonstrates that ECR significantly improves functional capacity in post-HTx individuals compared to a control group. These findings suggest that healthcare professionals should prioritize the inclusion of ECR programs in post-HTx care, as such interventions not only enhance recovery but also have the potential to reduce the risks associated with low exercise capacity, ultimately improving patient outcomes and long-term health.

## REFERENCES

1. Mazur M, Braksator W, Popjes E. Hypertrophic Cardiomyopathy: From Medical Treatment to Advanced Heart Failure Therapies. *Curr Cardiol Rep.* 2024;
2. Hess NR, Ziegler LA, Kaczorowski DJ. Heart Donation and Preservation: Historical Perspectives, Current Technologies, and Future Directions. *J Clin Med.* 2022 Sep 28;11(19):5762. doi: 10.3390/jcm11195762. PMID: 36233630; PMCID: PMC9571059.
3. Relatório de Transplantes Realizados (Brasil) - Evolução 2001 - 2022 (1). MINESTERIO DA SAUDE [Internet]. 2023 [citado 30 de julho de 2024]; Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/saes/snt/estatisticas/transplantes-serie-historica/transplantes-realizados/relatorio-de-transplantes-realizados-brasil-evolucao-2001-2022/view>
4. Del Buono MG, Arena R, Borlaug BA, Carbone S, Canada JM, Kirkman DL, et al. Exercise Intolerance in Patients With Heart Failure: JACC State-of-the-Art Review. Vol. 73, *Journal of the American College of Cardiology.* Elsevier USA; 2019. p. 2209–25.

5. LIMA JB de, FERRARI F, STEIN R. REABILITAÇÃO NOS PACIENTES SUBMETIDOS A TRANSPLANTE CARDÍACO – PARTE III: RECOMENDAÇÕES PARA TREINAMENTO PÓS-TRANSPLANTE CARDÍACO. Revista do DERC. 26 de agosto de 2019;25(2):38–44.
6. Guazzi M, Adams V, Conraads V, Halle M, Mezzani A, Vanhees L, et al. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. Circulation. 30 de outubro de 2012;126(18):2261–74.
7. Herdy AH, Ritt LEF, Stein R, de Araújo CGS, Milani M, Meneghelo RS, et al. Cardiopulmonary exercise test: Background, applicability and interpretation. Vol. 107, Arquivos Brasileiros de Cardiologia. Arquivos Brasileiros de Cardiologia; 2016. p. 467–81.
8. Bacal F, Marcondes-Braga FG, Rohde LEP, Xavier Júnior JL, Brito F de S, Moura LAZ, et al. 3ª Diretriz Brasileira de Transplante Cardíaco. Arq Bras Cardiol. 1º de agosto de 2018;111(2):230–89.
9. Anderson L, Nguyen TT, Dall CH, Burgess L, Bridges C, Taylor RS. Exercise-based cardiac rehabilitation in heart transplant recipients. Vol. 2017, Cochrane Database of Systematic Reviews. John Wiley and Sons Ltd; 2017.
10. Fátima Salles A, Angelini Oliveira Fº São Paulo J, -Brazil S. 85 Salles and Oliveira Fº Adaptation to exercise following cardiac transplantation Adaptation to Exercise Following Cardiac Transplantation. Vol. 75, Arq Bras Cardiol. 2000.
11. Peled Y, Varnado S, Lowes BD, Zolty R, Lyden ER, Moulton MJ, et al. Sinus tachycardia is associated with impaired exercise tolerance following heart transplantation. Clin Transplant. 1º de maio de 2017;31(5).
12. Nery RM, Zanini M, De Lima JB, Bühler RP, Da Silveira AD, Stein R. Tai Chi Chuan improves functional capacity after myocardial infarction: A randomized clinical trial. Am Heart J. 1º de junho de 2015;169(6):854–60.

13. Kobashigawa JA, Leaf DA, Lee N, Gleeson MP, Liu H, Hamilton MA, Moriguchi JD, Kawata N, Einhorn K, Herlihy E, Laks H. A controlled trial of exercise rehabilitation after heart transplantation. *N Engl J Med*. 1999 Jan 28;340(4):272-7. doi: 10.1056/NEJM199901283400404. Erratum in: *N Engl J Med* 1999 Mar 25;340(12):976. PMID: 9920951.
14. Dall CH, Gustafsson F, Christensen SB, Dela F, Langberg H, Prescott E. Effect of moderate- versus high-intensity exercise on vascular function, biomarkers and quality of life in heart transplant recipients: A randomized, crossover trial. *J Heart Lung Transplant*. 2015 Aug;34(8):1033-41.
15. Nytrøen K, Yardley M, Rolid K, Bjørkelund E, Karason K, Wigh JP, Dall CH, Arora S, Aakhus S, Lunde K, Solberg OG, Gustafsson F, Prescott EI, Gullestad L. Design and rationale of the HITTS randomized controlled trial: Effect of High-intensity Interval Training in de novo Heart Transplant Recipients in Scandinavia. *Am Heart J*. 2016 Feb;172:96-105.
16. Kavanagh T, Mertens DJ, Hamm LF, Beyene J, Kennedy J, Corey P, et al. Peak Oxygen Intake and Cardiac Mortality in Women Referred for Cardiac Rehabilitation. *J Am Coll Cardiol*. 17 de dezembro de 2003;42(12):2139–43.

## FIGURAS E TABELAS

Table 1: Clinical Characteristics

Clinical Characteristics	n (%)	Median (IQR)	n (%)	Median (IQR)	P-Value
Age		47.37±15.62		48.66 ±12.57	.998***
Sex (M)	14(77.78)	-----	9(81.82%)	-----	.068**
Weight		71.5 (63-75)		70 (70-70)'	.632*
BMI (kg <sup>2</sup> )		24.29 (23.14-26.4)		23.39 (23.39-23.39)'	.947*
Days to CPET 01		140(98-203)		91(56-273)	.815*
Days to CPET 02		42 (28-91)		56 (38.5-94.5)	.495*
Days to CPET 03		206.5 (182-245)		301 (245-357)	.004*
Days to Start Rehab		45.5(28-91)		-----	-----

Note: \*\*\*calculated by Student's t test \*\* p-value calculated by chi-squared test. p-value calculated by Mann-Whitney non-parametric test. QR: interquartile range; SD: standard deviation; CPET: cardiopulmonary exercise test; Days to CPET 02: days to the second test; Days to CPET 03: days to the third test; Days to start Rehab: first day of cardiac rehabilitation after heart transplant ' only 1 valid value

Table 2. Results between the two groups during the three different times in heart transplant recipients.

Outcome	Early Cardiac Rehabilitation			Control Group			P-Value Group*Time
	Pre htx	Post htx	Post ER	Pre htx	Post htx	Post follow up	
<b>VO<sub>2</sub> peak</b>	15.09±0.97aA (13.17; 17.01)	16.88±0.82aA (15.26; 18.50)	22.43±1.03bA (20.40; 24.46)	14.23±0.82aA (12.61;15.86)	18.31±1.72bA (14.92;21.69)	17.26±1.65abB (14.01;20.51)	0.039

Note: different lowercase letters represent differences between the same group at different times (P<0.05); different capital letters represent differences between groups at the same time point (P<0.05); SE: standard error; ER: early rehabilitation

FIGURE 1. Peak oxygen consumption at three different time points in heart transplant recipients.

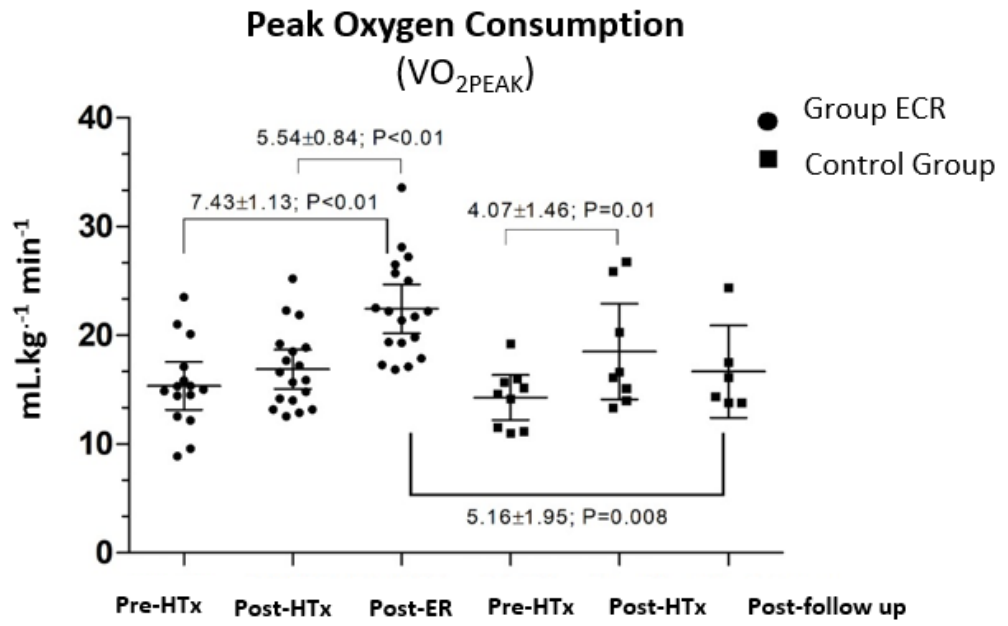
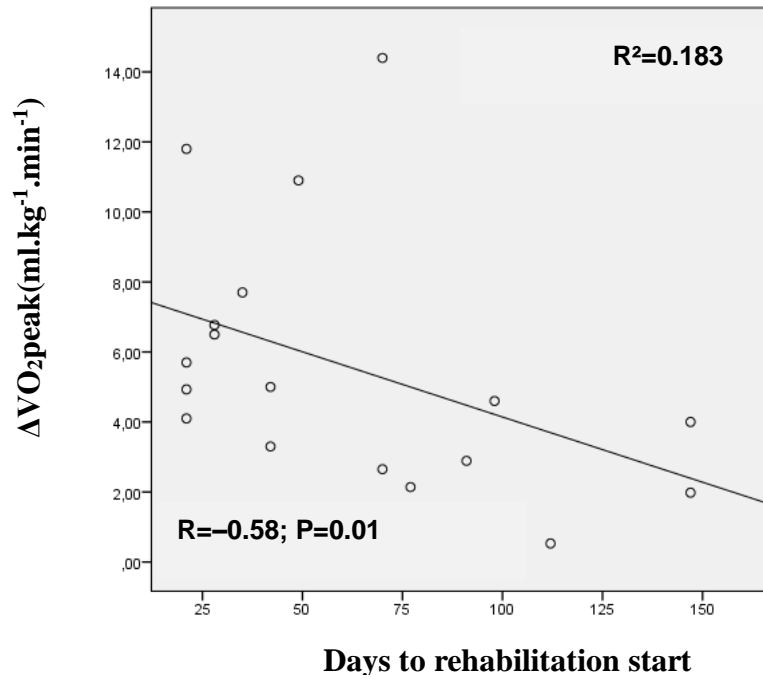




FIGURE 2. Correlation between the increase in Peak oxygen consumption and the number of days until the cardiac rehabilitation start.

**Correlation between  $\Delta VO_{2peak}$  and the timing of post-transplant rehabilitation initiation.**



## MATERIAL SUPLEMENTAR

### Anexo I - Prescrição treinamento aeróbico

<b>Sessão</b>	<b>Volume Aeróbico</b>	<b>Intensidade (%FCreserva)</b>	<b>BORG</b>
1 <sup>a</sup>	20 min	35% a 50% FCreserva	1 a 2
2 <sup>a</sup>	25 min	35% a 50% FCreserva	1 a 2
3 <sup>a</sup>	30 min	35% a 50% FCreserva	1 a 2
4 <sup>a</sup>	35 min	35% a 50% FCreserva	1 a 2
5 <sup>a</sup>	35 min	40% a 60% FCreserva	1 a 3
6 <sup>a</sup>	40 min	40% a 60% FCreserva	1 a 3
7 <sup>a</sup>	40 min	40% a 60% FCreserva	1 a 3
8 <sup>a</sup>	40 min	40% a 60% FCreserva	1 a 3
9 <sup>a</sup>	30 min	45% a 75% FCreserva	2 a 4
10 <sup>a</sup>	35 min	45% a 75% FCreserva	2 a 4
11 <sup>a</sup>	25 min	65% a 85% FCreserva	4 a 6
12 <sup>a</sup>	30 min	65% a 85% FCreserva	4 a 6
13 <sup>a</sup>	30 min	45% a 60% FCreserva	2 a 3
14 <sup>a</sup>	30 min	45% a 60% FCreserva	2 a 3
15 <sup>a</sup>	35 min	50% a 75% FCreserva	3 a 4
16 <sup>a</sup>	30 min	50% a 75% FCreserva	3 a 4
17 <sup>a</sup>	25 min	70% a 85% FCreserva	4 a 6
18 <sup>a</sup>	20 min	70% a 85% FCreserva	4 a 6
19 <sup>a</sup>	35 min	45% a 60% FCreserva	2 a 3
20 <sup>a</sup>	30 min	45% a 60% FCreserva	2 a 3
21 <sup>a</sup>	35 min	45% a 60% FCreserva	2 a 3

22 <sup>a</sup>	30 min	50% a 75% FCreserva	3 a 4
23 <sup>a</sup>	35 min	50% a 75% FCreserva	3 a 4
24 <sup>a</sup>	30 min	60% a 80% FCreserva	3 a 5
25 <sup>a</sup>	35 min	55% a 75% FCreserva	3 a 5
26 <sup>a</sup>	30 min	70% a 85% FCreserva	4 a 6
27 <sup>a</sup>	30 min	70% a 85% FCreserva	4 a 6
28 <sup>a</sup>	25 min	75% a 90% FCreserva	5 a 7
29 <sup>a</sup>	30 min	75% a 90% FCreserva	5 a 7
30 <sup>a</sup>	40 min	50% a 75% FCreserva	3 a 4
31 <sup>a</sup>	35 min	50% a 75% FCreserva	3 a 4
32 <sup>a</sup>	30 min	45% a 60% FCreserva	2 a 3

## **Anexo II – Protocolo de treinamento de força 32 sessões.**

1<sup>a</sup> sessão treino de força: BORG 1 a 2

- Agachamento (senta e levanta) – 1 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada neutra (puxar) – 1 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 1 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Supino fechado neutro (empurrar) – 1 x 8 a 15 repetições

2<sup>a</sup> sessão treino de força: BORG de 1 a 2

- Agachamento (senta e levanta) – 1 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada neutra (puxar) – 1 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 1 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Supino fechado neutro (empurrar) – 1 x 8 a 15 repetições

3<sup>a</sup> sessão treino de força: BORG de 1 a 2

- Agachamento (senta e levanta) – 1 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada neutra (puxar) – 1 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 1 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Supino fechado neutro (empurrar) – 1 x 8 a 15 repetições

4ª sessão treino de força: BORG de 1 a 2

- Agachamento (senta e levanta) – 1 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada neutra (puxar) – 1 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 1 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Supino fechado neutro (empurrar) – 1 x 8 a 15 repetições

5ª sessão treino de força: BORG de 1 a 3

- Agachamento (senta e levanta) – 1 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada neutra (puxar) – 1 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 1 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Supino fechado neutro (empurrar) – 1 x 8 a 15 repetições

6ª sessão treino de força: BORG de 1 a 3

- Agachamento (senta e levanta) – 1 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada neutra (puxar) – 1 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 1 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Supino fechado neutro (empurrar) – 1 x 8 a 15 repetições

7ª sessão treino de força: BORG de 1 a 3 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 2 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada (puxar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 2 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento fechado – 2 x 8 a 15 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Elevação de quadril – 2 x 8 a 15 repetições

8ª sessão treino de força: BORG de 1 a 3 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 2 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada (puxar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 2 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento fechado – 2 x 8 a 15 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Elevação de quadril – 2 x 8 a 15 repetições

9ª sessão treino de força: BORG de 2 a 4 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 2 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada (puxar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 2 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento fechado – 2 x 8 a 15 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Elevação de quadril – 2 x 8 a 15 repetições

10ª sessão treino de força: BORG de 2 a 4 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 2 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada (puxar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 2 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento fechado – 2 x 8 a 15 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Elevação de quadril – 2 x 8 a 15 repetições

11ª sessão treino de força: BORG de 4 a 6 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 2 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada (puxar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 2 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento fechado – 2 x 8 a 15 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Elevação de quadril – 2 x 8 a 15 repetições

12ª sessão treino de força: BORG de 4 a 6 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 2 x 8 a 15 repetições
- Remada fechada (puxar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 2 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento fechado – 2 x 8 a 15 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 2 x 8 a 15 repetições
- Elevação de quadril – 2 x 8 a 15 repetições

13ª sessão treino de força: BORG de 2 a 3 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada fechada (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

14ª sessão treino de força: BORG de 2 a 3 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada fechada (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

15ª sessão treino de força: BORG de 3 a 4 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada fechada (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições

- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

16ª sessão treino de força: BORG de 3 a 4 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada fechada (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

17ª sessão treino de força: BORG 3 a 4 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

18ª sessão treino de força: BORG 2 a 3 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)



- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

19ª sessão treino de força: BORG 2 a 3 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

20ª sessão treino de força: BORG 2 a 3 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

21ª sessão treino de força: BORG 2 a 3 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições

- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

22ª sessão treino de força: BORG 3 a 4 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

23ª sessão treino de força: BORG 3 a 4 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

24ª sessão treino de força: BORG 3 a 5 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 10 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 10 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 10 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 10 repetições

25ª sessão treino de força: BORG 3 a 5 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 10 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 10 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 10 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 10 repetições

26ª sessão treino de força: BORG 4 a 6 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 10 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 10 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 10 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 10 repetições

27ª sessão treino de força: BORG 4 a 6 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 10 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 10 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 10 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 10 repetições

28ª sessão treino de força: BORG 5 a 7 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 10 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 10 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 10 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 10 repetições

29ª sessão treino de força: BORG 5 a 7 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 10 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 10 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 10 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 10 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 10 repetições

30ª sessão treino de força: BORG 3 a 4 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

31ª sessão treino de força: BORG 3 a 4 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 12 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 12 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 12 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 12 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 12 repetições

32ª sessão treino de força: BORG 2 a 3 (intercalar os exercícios)

- Agachamento (senta e levanta) – 3 x 8 a 15 repetições
- Remada aberta (puxar) – 3 x 8 a 15 repetições
- Flexão plantar – 3 x 8 a 15 repetições (em pé ou sentado)
- Desenvolvimento aberto – 3 x 8 a 15 repetições
- Supino aberto (empurrar) – 3 x 8 a 15 repetições
- Elevação de quadril – 3 x 8 a 15 repetições