

Correlação Entre Medidas Hemodinâmicas Invasivas e Ecocardiográficas em Pacientes com Insuficiência Cardíaca com Fração de Ejeção Reduzida

Correlating Invasive and Echocardiographic Hemodynamic Measures in Patients with Heart Failure with Reduced Ejection Fraction

João Pedro da Rosa Barbato,¹ Fernando Luis Scolari,¹ Guilherme Pinheiro Machado,¹ André Barcellos Amon,¹ Pedro Castilhos de Freitas Crivelaro,¹ Willian R. Menegazzo,¹ Solano Vinicius Berger,¹ Gustavo Neves de Araujo,² Felipe Homem Valle,¹ Rodrigo Vugman Wainstein¹

Hospital de Clínicas de Porto Alegre,¹ Porto Alegre, RS – Brasil

Hospital da Unimed Grande Florianópolis,² Florianópolis, RS – Brasil

Resumo

Introdução: O manejo da insuficiência cardíaca (IC) com fração de ejeção reduzida (ICFER) avançou com o uso de marcadores hemodinâmicos invasivos, como a potência cardíaca (CPO) e o índice de pulsatilidade da artéria pulmonar (PAPI). Simultaneamente, cresceu o interesse em indicadores prognósticos não invasivos, especialmente a integral velocidade-tempo do trato de saída do ventrículo esquerdo (LVOT-VTI).

Objetivo: O presente estudo visou avaliar a correlação entre parâmetros invasivos e ecocardiográficos, particularmente CPO, PAPI e LVOT-VTI, em pacientes com ICFER.

Métodos: Trata-se de um estudo transversal e unicêntrico que incluiu pacientes internados e ambulatoriais com ICFER crônica estável ou agudamente descompensada. Foram excluídos aqueles com choque cardiogênico (CC). O cateterismo cardíaco direito (CCD) e o ecocardiograma foram realizados no mesmo dia. A significância estatística foi definida como um valor de p bicaudal $< 0,05$.

Resultados: Foram observadas correlações significativas entre a CPO invasiva e a CPO ecocardiográfica ($r = 0,737$, $p < 0,001$) e entre o PAPI invasivo e o PAPI ecocardiográfico ($r = 0,604$, $p < 0,05$). A LVOT-VTI apresentou correlação significativa com a CPO medida por cateter de artéria pulmonar (CAP) ($r = 0,469$, $p < 0,01$). A PAPI ecocardiográfica foi mensurável em apenas 16 pacientes. Uma análise de sensibilidade dos pacientes que receberam inotrópicos mostrou uma correlação ainda mais forte entre a CPO invasiva e a CPO ecocardiográfica ($r = 0,812$, $p = 0,005$).

Conclusão: Em pacientes com ICFER, os parâmetros ecocardiográficos e hemodinâmicos invasivos apresentaram correlações significativas, particularmente a CPO, reforçando o potencial da ecocardiografia como uma alternativa para a avaliação hemodinâmica. No entanto, a baixa viabilidade da medição não invasiva da PAPI destaca limitações importantes nessa população.

Palavras-chave: Insuficiência Cardíaca Sistólica; Monitorização Hemodinâmica; Frequência Cardíaca; Ecocardiografia.

Abstract

Background: The management of heart failure with reduced ejection fraction (HFrEF) has advanced with the use of invasive hemodynamic markers such as cardiac power output (CPO) and pulmonary artery pulsatility index (PAPI). Simultaneously, interest has grown in noninvasive prognostic indicators, especially the left ventricular outflow tract velocity-time integral (LVOT-VTI).

Objective: This study aimed to assess the correlation between invasive and echocardiographic parameters, particularly CPO, PAPI, and LVOT-VTI, in patients with HFrEF.

Methods: This cross-sectional, single-center study included inpatients and outpatients with chronic stable or acutely decompensated HFrEF. Individuals with cardiogenic shock (CS) were excluded. Right heart catheterization (RHC) and echocardiography were performed on the same day. Statistical significance was defined as a two-sided p value < 0.05 .

Correspondência: João Pedro da Rosa da Rosa Barbato •

Hospital de Clínicas de Porto Alegre. Rua Ramiro Barcelos, 2350. CEP: 90410-000. Porto Alegre, RS – Brasil

E-mail: jpdarosa94@gmail.com

Manuscrito recebido em 29/04/2026; revisado em 28/06/2026; aprovado em 13/07/2026

Editor responsável pela revisão: Marcelo Tavares

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20260059>

Results: Significant correlations were observed between invasive and echocardiographic CPO ($r = 0.737$, $p < 0.001$) and PAPI ($r = 0.604$, $p < 0.05$). LVOT-VTI showed significant correlation with CPO measured via pulmonary artery catheter (PAC) ($r = 0.469$, $p < 0.01$). Echocardiographic PAPI was measurable in only 16 patients. A sensitivity analysis of those receiving inotropes showed an even stronger correlation between invasive and echocardiographic CPO ($r = 0.812$, $p = 0.005$).

Conclusion: Echocardiographic and invasive hemodynamic parameters showed significant correlations in HFrEF, particularly CPO, supporting echocardiography as a potential alternative for hemodynamic assessment. However, the low feasibility of noninvasive PAPI measurement highlights important limitations in this population.

Keywords: Systolic Heart Failure; Hemodynamic Monitoring; Heart Rate; Echocardiography.

Full texts in English - <https://www.abcmaging.org/>

Figura Central: Correlação Entre Medidas Hemodinâmicas Invasivas e Ecocardiográficas em Pacientes com Insuficiência Cardíaca com Fração de Ejeção Reduzida

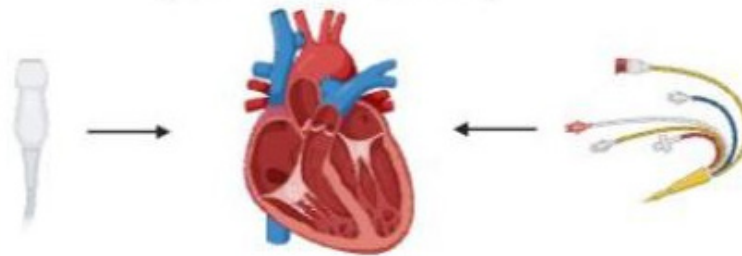


Correlação entre avaliações hemodinâmicas invasivas e não invasivas

34 pacientes com ICFER avaliados no mesmo dia
(pacientes internados e ambulatoriais)

Ecocardiografia

- eCPO
- ePAPI (viável em 50%)
- LVOT-VTI



- CPO
- PAPI

Ecocardiografia	CCD	r
eCPO	CPO	0,73
*eCPO	CPO	0,82
ePAPI	PAPI	0,60
LVOT-VTI	CPO	0,46

* Pacientes recebendo suporte inotrópico.

Forte correlação entre CPO invasiva e ecocardiográfica

Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2026; 39(3):e20260059

CCD: cateterismo cardíaco direito; CPO: potência cardíaca; eCPO: potência cardíaca derivada da ecocardiografia; ePAPI: índice de pulsatilidade da artéria pulmonar derivado da ecocardiografia; LVOT-VTI: integral velocidade-tempo do trato de saída do ventrículo esquerdo; PAPI: índice de pulsatilidade da artéria pulmonar.

Introdução

A insuficiência cardíaca (IC) é um problema de saúde global crescente, afetando cerca de 60 milhões de pessoas em todo o mundo. Avanços no tratamento cardíaco e a maior sobrevivência dos pacientes contribuíram para o aumento da prevalência dessa síndrome.¹ O uso de cateter de artéria pulmonar (CAP) para avaliação hemodinâmica permanece um pilar no manejo da IC. Essas medidas invasivas são essenciais para o diagnóstico e a otimização de estratégias terapêuticas tanto na IC crônica quanto na descompensada, fornecendo informações sobre a progressão da doença e a resposta ao tratamento.^{2,3} O

uso de CAP aumentou nos últimos anos, orientado por uma abordagem sistemática que prioriza parâmetros com maior impacto prognóstico, como a potência cardíaca (CPO, do inglês *cardiac power output*) e o índice de pulsatilidade da artéria pulmonar (PAPI). Esses parâmetros hemodinâmicos tornaram-se ferramentas essenciais para determinar a necessidade de suporte circulatório mecânico em pacientes com choque cardiogênico (CC).⁴ Embora inicialmente estudados em pacientes com CC, a CPO e o PAPI também apresentam valor prognóstico significativo na insuficiência cardíaca com fração de ejeção reduzida (ICFER) crônica e agudamente descompensada.⁵⁻⁷

Artigo Original

Pesquisas sobre medidas não invasivas com valor prognóstico em pacientes com cardiopatia também se expandiram, visando reduzir o tempo de avaliação e melhorar a segurança. Entre os parâmetros ecocardiográficos, a integral velocidade-tempo do trato de saída do ventrículo esquerdo (LVOT-VTI) demonstrou bom valor prognóstico em estudos observacionais.^{8,9} A LVOT-VTI é uma medida ecocardiográfica derivada do Doppler que quantifica a distância percorrida pelo sangue pelo trato de saída do ventrículo esquerdo durante a sístole, servindo como um parâmetro fundamental na avaliação do volume sistólico, do débito cardíaco (DC) e do estado hemodinâmico global.^{10,11}

A correlação entre medidas invasivas e não invasivas em pacientes com CC associado à IC descompensada aguda tem sido investigada recentemente, revelando associações entre CPO e PAPI medidos via CAP e ecocardiografia.¹² Da mesma forma, a relação entre parâmetros derivados do CAP e ecocardiográficos foi explorada em pacientes com IC crônica;^{13,14} no entanto, esses estudos não focaram em parâmetros como CPO, PAPI e LVOT-VTI.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a correlação entre medidas invasivas e não invasivas em pacientes internados e ambulatoriais com ICFER crônica estável ou descompensada, com ênfase em CPO, PAPI e LVOT-VTI. Os principais achados estão resumidos na Figura Central.

Métodos

Trata-se de um estudo transversal e unicêntrico realizado em um hospital universitário na Região Sul do Brasil. Os participantes com indicação de avaliação de rotina pela equipe de IC foram recrutados mediante busca ativa em listas de pacientes ambulatoriais e internados. O recrutamento ocorreu entre maio de 2023 e junho de 2024, utilizando-se contatos telefônicos e abordagem direta a pacientes hospitalizados. Todos os pacientes foram convidados a realizar ecocardiografia antes ou depois do cateterismo cardíaco direito (CCD). O protocolo de pesquisa foi aprovado pelo comitê de ética institucional, e foi obtido o consentimento livre e esclarecido por escrito de todos os participantes.

O estudo incluiu pacientes com 18 anos ou mais e diagnóstico de ICFER (fração de ejeção do ventrículo esquerdo < 40%). Foram excluídos pacientes que apresentaram dificuldades técnicas na obtenção de medidas ecocardiográficas ou nos quais não foi possível realizar as medidas do CCD. Também foram excluídos pacientes com CC, infecção ativa, em ventilação mecânica ou em hemodiálise. Pacientes que receberam diuréticos ou vasodilatadores entre os dois métodos de avaliação também foram excluídos.

O protocolo do estudo envolveu a realização de uma avaliação ecocardiográfica abrangente por dois ecocardiografistas experientes (SVB e WRM) no menor intervalo de tempo possível antes ou depois da avaliação hemodinâmica invasiva com CAP. Todas as avaliações ocorreram dentro de um intervalo de 6 horas entre os dois métodos de exame.

CCD

A avaliação hemodinâmica invasiva foi realizada por meio de CCD com CAP inserido pela técnica de micropunção da

veia basilíca direita ou da veia jugular interna direita. O nível de referência zero foi estabelecido na linha axilar média, e as medidas foram registradas ao final da expiração. O operador responsável pelo CCD não tinha conhecimento das medidas ecocardiográficas.

O DC foi avaliado pela técnica de termodiluição. A pressão venosa central (PVC), as pressões pulmonares e a pressão de oclusão da artéria pulmonar (POAP) foram determinadas como os valores médios de 8 ciclos cardíacos. A CPO foi calculada utilizando a pressão arterial média (PAM), conforme a fórmula: $CPO = DC \times PAM / 451$. O PAPI foi calculado como: $PAPI = PSAP - PDAP / PVC$, em que PSAP e PDAP indicam a pressão sistólica e a pressão diastólica da artéria pulmonar, respectivamente. Os demais parâmetros hemodinâmicos derivados foram calculados por meio das fórmulas descritas na Tabela 1.

Ecocardiografia

A ecocardiografia transtorácica foi realizada por dois examinadores experientes (Berger SV e Menegazzo WR), que desconheciam os resultados das medições do CCD. Todos os exames foram realizados em um sistema Philips Epiq CVx. Para avaliar a variabilidade interobservador, foi realizado um estudo preliminar com um subgrupo de 10 pacientes, os quais não foram incluídos na amostra de 34 pacientes do estudo. A avaliação foi realizada pelos dois ecocardiografistas. A ecocardiografia foi realizada no mesmo dia do CCD, com o menor intervalo possível entre os dois exames, e os pacientes permaneceram em repouso durante pelo menos 10 minutos antes do procedimento. As medições obtidas por ecocardiografia seguiram as diretrizes estabelecidas pela American Society of Echocardiography.¹⁰

O DC foi calculado usando a fórmula: $DC = LVOT-VTI \times \text{área do trato de saída do ventrículo esquerdo} \times \text{frequência cardíaca}$. A CPO foi derivada utilizando a fórmula: $CPO = DC \times PAM / 451$, e o PAPI foi calculado utilizando a fórmula: $PAPI = (PSAP - PDAP) / eRAP$ [pressão atrial direita estimada], em que eRAP indica a pressão atrial direita estimada. A PVC foi estimada com base no diâmetro máximo da veia cava inferior (maior ou menor que 2,1 cm) e em sua variabilidade durante a inspiração (maior ou menor que 50%). A fração de ejeção foi avaliada pelo

Tabela 1 – Parâmetros derivados do CAP

Parâmetro	Fórmula
CPO	$DC \times PAM / 451$
PAPI	$(PSAP - PDAP) / PVC$
GTP	$PMAP - POAP$
RVP	GTP / DC

CPO: potência cardíaca; DC: débito cardíaco; GTP: gradiente transpulmonar; PAM: pressão arterial média; PAPI: índice de pulsatilidade da artéria pulmonar; PDAP: pressão diastólica da artéria pulmonar; PMAP: pressão média da artéria pulmonar; POAP: pressão de oclusão da artéria pulmonar; PVC: pressão venosa central; RVP: resistência vascular pulmonar.

método de Simpson. A PSAP, a PDAP, a pressão média da artéria pulmonar (PMAP) e outras fórmulas derivadas estão descritas na Tabela 2.

Análise estatística

A normalidade das variáveis contínuas foi avaliada por meio de histogramas e do teste de Shapiro-Wilk. Todas as variáveis contínuas apresentaram distribuição normal e, portanto, foram expressas como média $\pm$ desvio-padrão. As variáveis categóricas foram expressas em frequências absolutas e relativas (n, %). As comparações entre os grupos foram realizadas utilizando o teste t de Student para amostras independentes. Para a análise de correlação entre as medidas hemodinâmicas invasivas e ecocardiográficas, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson, visto que todas as variáveis contínuas apresentavam distribuição normal. A concordância interobservador foi avaliada por meio da análise do coeficiente de correlação intraclass, com base em um modelo de efeitos aleatórios de dois fatores, avaliando a consistência e as medidas médias. Adotou-se um nível de significância estatística de 5% ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SPSS Statistics for Windows, versão 26.0 (IBM Corp., Armonk, New York, Estados Unidos).

Calculou-se a necessidade de uma amostra de 27 pacientes com base na correlação entre o LVOT-VTI e o volume sistólico medido por PAC de $r = 0,52$ (95%, $p < 0,01$) observada em um estudo anterior,¹⁵ assumindo um valor alfa de 0,05 e um poder estatístico de 80% para identificar uma correlação semelhante em nossa amostra. A correlação entre o LVOT-VTI e a CPO avaliada via PAC não foi utilizada no cálculo do tamanho amostral, pois tais dados não estavam disponíveis na literatura publicada à época do delineamento do estudo.

Resultados

Entre maio de 2023 e junho de 2024, foram incluídos 34 pacientes no estudo. A idade média foi de $50,8 \pm 6,2$ anos, 61,7% eram do sexo masculino e 82,4% dos pacientes apresentavam IC não isquêmica. A fração de

ejeção do ventrículo esquerdo média foi de $21,1\% \pm 6,6\%$. A maior parte da amostra consistia em pacientes internados (67,4%), enquanto 26,5% recebiam suporte inotrópico no momento dos exames. A Tabela 3 apresenta um panorama das características basais dos pacientes e das terapias em curso.

Todos os pacientes que recebiam suporte inotrópico foram classificados como portadores de IC com perfil INTERMACS III, uma vez que o lactato sérico médio era de $1,4 \pm 0,2$ mmol/L e nenhum deles recebia suporte vasopressor (características clínicas na Tabela Suplementar S1).

Quanto às características clínicas revisadas retrospectivamente nos prontuários, 24 dos 34 pacientes foram submetidos a teste cardiopulmonar de exercício, e o consumo de oxigênio de pico médio foi de $15,9 \pm 5,3$ mL/kg/min; 9 pacientes (26,4%) foram submetidos a transplante cardíaco ortotópico e 5 (14%) faleceram.

Parâmetros derivados do CAP

As medidas obtidas pelo CAP demonstraram pressões pulmonares elevadas e comprometimento dos parâmetros hemodinâmicos dos ventrículos esquerdo e direito. As medidas hemodinâmicas invasivas detalhadas estão apresentadas na Tabela 4.

Parâmetros ecocardiográficos

A ecocardiografia demonstrou dilatação acentuada do ventrículo esquerdo e discreto aumento do ventrículo direito, acompanhados de disfunção sistólica biventricular grave. A elevação das pressões da artéria pulmonar foi consistente com o perfil de IC avançada da população do estudo. Os parâmetros ecocardiográficos estruturais, funcionais e hemodinâmicos detalhados estão apresentados na Tabela 5.

O PAPI ecocardiográfico foi obtido com sucesso em 16 dos 34 pacientes incluídos, enquanto foi possível estimar a PMAP e a PDAP em 18 e 16 pacientes, respectivamente, devido à ausência de regurgitação pulmonar necessária para o cálculo.

A concordância interobservador foi excelente para CPO, LVOT-VTI, fração de ejeção do ventrículo esquerdo

Tabela 2 – Parâmetros ecocardiográficos

Parâmetro	Fórmula
DC	$LVOT-VTI \times \text{área do LVOT} \times \text{frequência cardíaca}$
CPO	$DC \times PAM / 451$
PAPI	$(PSAP - PDAP) / eRAP$
PSAP	Gradiente de pico da RT + PVC
PDAP	$4 \times (\text{velocidade de regurgitação pulmonar no final da diástole})^2 + PVC$
PMAP	$4 \times (\text{velocidade de regurgitação pulmonar protodiastólica})^2 + PVC$

CPO: potência cardíaca; DC: débito cardíaco; eRAP: pressão atrial direita estimada; LVOT: trato de saída do ventrículo esquerdo; LVOT-VTI: integral velocidade-tempo do trato de saída do ventrículo esquerdo; PAM: pressão arterial média; PAPI: índice de pulsatilidade da artéria pulmonar; PDAP: pressão diastólica da artéria pulmonar; PMAP: pressão média da artéria pulmonar; PSAP: pressão sistólica da artéria pulmonar; PVC: pressão venosa central; RT: regurgitação tricúspide.

Tabela 3 – Características basais e terapias em curso

Parâmetro	Média (DP) ou mediana (IIQ)	n (%)
Idade (anos)	50,8 ± 6,2	34 (100)
Sexo masculino (%)	61,7	34 (100)
Etiologia não isquêmica da IC (%)		28 (82,4)
Frequência cardíaca (bpm)	78,2 ± 15,2	34 (100)
Pressão arterial sistólica (mmHg)	101,6 ± 17,9	34 (100)
Pressão arterial diastólica (mmHg)	66,2 ± 13,2	34 (100)
PAM (mmHg)	73,4 ± 11,0	34 (100)
Peso (kg)	77,0 ± 18,9	34 (100)
Altura (cm)	167,6 ± 10,6	34 (100)
Uso de TRC-D (%)		3 (8,8)
ARNI (%)		10 (41,2)
IECA/BRA (%)		14 (38,2)
ARM (%)		31 (91,2)
Betabloqueadores (%)		31 (91,2)
Inibidores do cotransportador de sódio-glicose 2 (%)		22 (64,7)
Digoxina (%)		17 (50,0)
Hidralazina e nitratos (%)		6 (17,6)

ARM: antagonista do receptor mineralocorticoide; ARNI: inibidor do receptor de angiotensina-neprilisina; BRA: bloqueadores dos receptores de angiotensina II; DP: desvio-padrão; IC: insuficiência cardíaca; IECA: inibidores da enzima conversora de angiotensina; IIQ: intervalo interquartil; TRC-D: terapia de ressincronização cardíaca com desfibrilador; PAM: pressão arterial média.

Tabela 4 – Parâmetros derivados do CAP

Medida	Média (± DP)	n (%)
DC (L/min)	4,2 ± 1,2	34 (100)
Índice cardíaco (L/min/m ²)	2,2 ± 0,5	34 (100)
POAP (mmHg)	18,6 ± 6,2	34 (100)
CPO (W)	0,7 ± 0,2	34 (100)
PAPI	3,2 ± 1,5	34 (100)
ITSVD (mmHg·mL/m ²)	7,7 ± 2,9	34 (100)
PVC (mmHg)	7,7 ± 4,1	34 (100)
PSAP (mmHg)	41,2 ± 10,3	34 (100)
PMAP (mmHg)	27,8 ± 7,7	34 (100)
PDAP (mmHg)	20,8 ± 6,2	34 (100)
RVP (unidades Wood)	2,3 ± 1,5	34 (100)
Gradiente transpulmonar (mmHg)	9,3 ± 4,7	34 (100)
PVC / POAP	0,42 ± 0,2	34 (100)

CPO: potência cardíaca; DC: débito cardíaco; DP: desvio-padrão; ITSVD: índice de trabalho sistólico do ventrículo direito; PAPI: índice de pulsatilidade da artéria pulmonar; PDAP: pressão diastólica da artéria pulmonar; PMAP: pressão média da artéria pulmonar; POAP: pressão de oclusão da artéria pulmonar; PSAP: pressão sistólica da artéria pulmonar; PVC: pressão venosa central; RVP: resistência vascular pulmonar.

Tabela 5 – Medidas ecocardiográficas

Parâmetro	Média (DP)	n (%)
Diâmetro do AE (mm)	48 (± 10,7)	34 (100)
Strain de reservatório do AE	9,9 (± 7,2)	32 (94,1)
Strain de conduto do AE	-6,7 (± 4,6)	32 (94,1)
Strain contrátil do AE	-3,3 (± 4,8)	32 (94,1)
Strain do VE (%)	-6,6 (± 3,2)	34 (100)
DDVE (mm)	71,8 (± 7,7)	34 (100)
DSVE (mm)	64,8 (± 8,5)	34 (100)
VDVE (mL)	236,9 (± 69,7)	34 (100)
VSVE (mL)	189,2 (± 62,3)	34 (100)
FEVE (%)	21,1 (± 6,6)	34 (100)
DC (L/min)	3,6 (± 1,2)	34 (100)
CPO (W)	0,61 (± 0,35)	34 (100)
LVOT-VTI (cm)	12,8 (± 4,3)	34 (100)
E/e'	18,0 (± 7,8)	32 (94,1)
PAPI	4,4 (± 3,7)	16 (47)
PVC (mmHg)	7,29 (± 4,8)	34 (100)
PSAP (mmHg)	44,1 (± 14,8)	27 (79,4)
PMAP (mmHg)	28,8 (± 9,8)	18 (52,9)
PDAP (mmHg)	20,2 (± 7,7)	16 (47)
TAPSE (mm)	16,1 (± 4,1)	34 (100)
Velocidade da onda S' (cm/s)	8,8 (± 2,1)	34 (100)
Strain da parede livre do VD (%)	-14,0 (± 7,3)	33 (97)
FAC (%)	27,8 (± 9,3)	33 (97)
Diâmetro basal do VD (mm)	43,8 (± 8,4)	34 (100)

AE: átrio esquerdo; CPO: potência cardíaca; DC: débito cardíaco; DDVE: diâmetro diastólico do ventrículo esquerdo; DP: desvio-padrão; DSVE: diâmetro sistólico do ventrículo esquerdo; E/e': relação entre a velocidade de enchimento mitral precoce (E) e a velocidade diastólica precoce do anel mitral (e'); FAC: variação da área fracionada; FEVE: fração de ejeção do ventrículo esquerdo; LVOT-VTI: integral velocidade-tempo do trato de saída do ventrículo esquerdo; PAPI: índice de pulsatilidade da artéria pulmonar; PDAP: pressão diastólica da artéria pulmonar; PMAP: pressão média da artéria pulmonar; PSAP: pressão sistólica da artéria pulmonar; PVC: pressão venosa central; S': velocidade sistólica do anel tricúspide; TAPSE: excursão sistólica do plano do anel tricúspide; VD: ventrículo direito; VDVE: volume diastólico do ventrículo esquerdo; VE: ventrículo esquerdo; VSVE: volume sistólico do ventrículo esquerdo.

e relação E/e', enquanto o PAPI e a variação da área fracionada apresentaram concordância insatisfatória (Tabela Suplementar S2).

Correlação entre medidas hemodinâmicas invasivas e não invasivas

O presente estudo demonstrou uma correlação entre a CPO invasiva e a CPO ecocardiográfica (Figura 1). A CPO medida via PAC apresentou correlação positiva com o DC obtido por ecocardiografia ($r = 0,616$; $p < 0,001$). De modo semelhante, observou-se correlação positiva entre a CPO medida via PAC e o LVOT-VTI (Figura 2). Houve também correlação positiva entre a CPO avaliada por PAC e a fração de

ejeção do ventrículo esquerdo, com coeficiente de correlação de 0,365 ($p < 0,05$).

Quanto à avaliação da função do ventrículo direito, foram observadas correlações entre o PAPI avaliado por PAC e por ecocardiografia (Figura 3). Além disso, o PAPI medido via PAC correlacionou-se com a excursão sistólica do plano do anel tricúspide (TAPSE), com $r = 0,553$ ($p < 0,01$), e com o strain da parede livre do ventrículo direito, apresentando coeficiente de correlação negativo de $r = -0,344$ ($p < 0,05$). Adicionalmente, observou-se correlação positiva entre o PAPI avaliado por PAC e a velocidade sistólica de pico no anel tricúspide (onda S'), com coeficiente de correlação de 0,356 ($p < 0,05$).

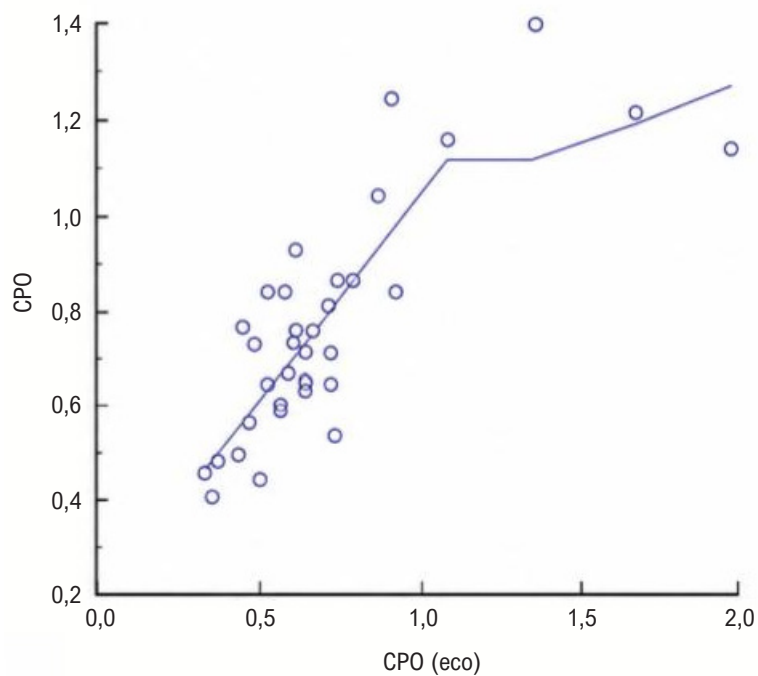


Figura 1 – Análise de correlação entre a CPO avaliada por CAP e por ecocardiografia. $r = 0,737$ ($p < 0,001$)

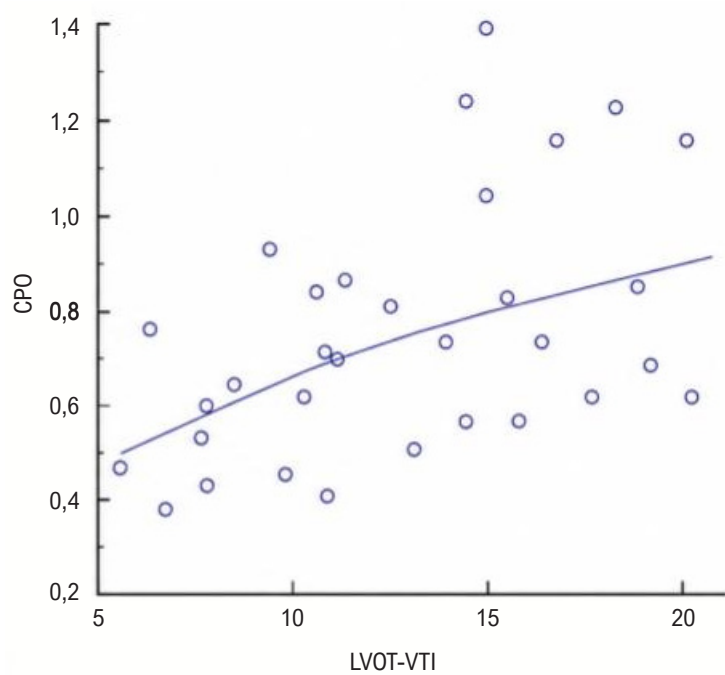


Figura 2 – Análise de correlação entre a CPO e a LVOT-VTI. $r = 0,469$ ($p < 0,01$).

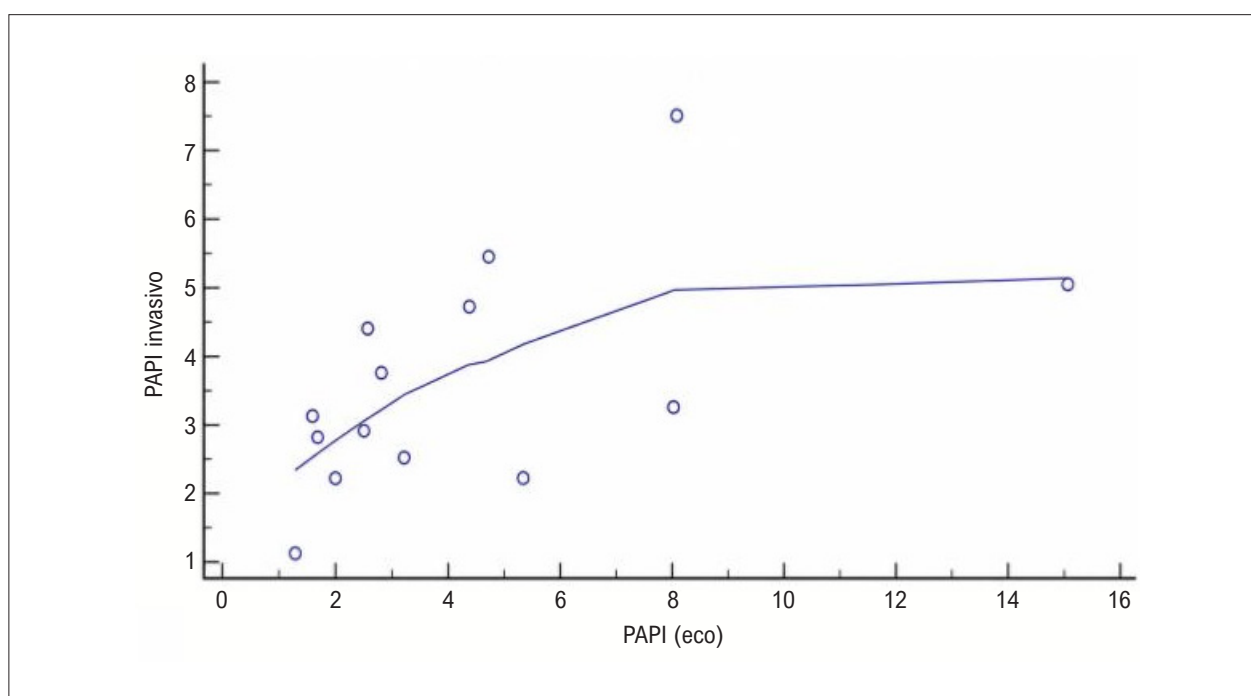


Figura 3 – Análise de correlação entre o índice de PAPI avaliado por CAP e por ecocardiografia. $r = 0,604$ ($p < 0,05$)

Em relação à LVOT-VTI, além da correlação anteriormente mencionada com a CPO derivada do PAC, foi observada uma correlação entre a LVOT-VTI e o DC medido por PAC ($r = 0,538$; $p < 0,01$), bem como com o índice cardíaco medido por PAC ($r = 0,542$, $p < 0,01$).

Análise de sensibilidade

Foi realizada uma análise de sensibilidade para avaliar a população que recebia suporte inotrópico. A correlação entre a CPO invasiva e a CPO ecocardiográfica foi maior nesse subgrupo em comparação com a população geral: $r = 0,812$ ($p = 0,008$). Também foi realizada uma análise de sensibilidade em pacientes com $CPO < 0,6$ W. Nesse subgrupo, a correlação entre a CPO invasiva e a CPO ecocardiográfica foi de $r = 0,704$ ($p = 0,005$). Em ambos os grupos, não foi possível avaliar a correlação entre o PAPI invasivo e o PAPI ecocardiográfico, uma vez que a medição não invasiva do PAPI foi viável em apenas 3 dos 9 pacientes incluídos neste subgrupo.

Discussão

A avaliação da correlação entre medidas hemodinâmicas invasivas e não invasivas visa identificar parâmetros ecocardiográficos que reflitam de forma confiável variáveis hemodinâmicas com significado prognóstico, como CPO e PAPI. Essa abordagem pretende oferecer uma estratégia diagnóstica mais prática e segura para pacientes com IC avançada, minimizando o tempo de avaliação e os riscos associados a procedimentos invasivos.

Conforme relatado por Burstein et al. em um estudo de coorte retrospectivo, a CPO não invasiva demonstrou valor

prognóstico em pacientes admitidos em unidades de terapia intensiva cardiológica. O estudo analisou cerca de 5.000 pacientes, sendo que 50% apresentavam IC descompensada. Valores de CPO abaixo de $0,89 \pm 0,37$ W associaram-se a uma maior mortalidade hospitalar.¹⁶ O PAPI ecocardiográfico também demonstrou valor prognóstico, associando-se à mortalidade em 60 dias em casos de CC relacionado à IC aguda descompensada (razão de risco 2,96; intervalo de confiança de 95% 1,23–7,17; $p = 0,02$).¹² O LVOT-VTI, conforme demonstrado por Jentzer et al. e Machado et al., também apresentou valor prognóstico significativo entre pacientes com doenças cardiovasculares, incluindo aqueles com IC e infarto agudo do miocárdio.^{9,17}

Em relação aos parâmetros de função ventricular esquerda, em nosso estudo, a CPO medida de forma invasiva e a CPO estimada por ecocardiografia apresentaram a correlação mais forte. Essa associação foi ainda mais pronunciada no subgrupo de pacientes que recebiam suporte inotrópico. Além disso, a CPO medida via CAP também demonstrou correlação com o DC avaliado por ecocardiografia, bem como com a LVOT-VTI e a fração de ejeção do ventrículo esquerdo.

Quanto ao PAPI, os resultados revelaram uma correlação entre sua medida invasiva via CAP e sua estimativa ecocardiográfica, bem como com a TAPSE. As correlações entre o PAPI e a velocidade da onda S' e entre PAPI e o strain da parede livre do ventrículo direito foram mais fracas. Com base na revisão da literatura, este é, até onde sabemos, o primeiro estudo a avaliar as correlações entre CPO e PAPI invasivos e ecocardiográficos em pacientes com ICFER.

Stein et al. e Temporelli et al. relataram uma forte correlação entre medidas hemodinâmicas invasivas e ecocardiográficas em pacientes com IC crônica; no entanto, CPO, PAPI e LVOT-

VTI não foram incluídos entre as variáveis analisadas nesses estudos.^{13,14} Frea et al.¹² publicaram o maior estudo realizado até o momento investigando a correlação entre parâmetros hemodinâmicos invasivos e ecocardiográficos no CC.⁹ A população do estudo consistia em pacientes com CC secundário a IC descompensada. Em nossa coorte, 26,5% dos pacientes recebiam suporte inotrópico e foram classificados como portadores de IC com perfil INTERMACS III. Embora nossa população apresentasse níveis normais de lactato e não estivesse em uso de terapia vasopressora no momento da avaliação, essas duas populações podem compartilhar condições fisiopatológicas semelhantes. No estudo de Frea et al.,¹² a correlação entre os dois métodos mostrou um coeficiente de Pearson $r = 0,82$ ($p < 0,001$) para a CPO. Os resultados do nosso estudo foram consistentes com esses achados, especialmente entre os pacientes classificados como INTERMACS III, visto que a CPO medida por CAP e ecocardiografia apresentou a correlação mais forte entre os dois métodos em nossa população ($r = 0,73$; $p < 0,001$), sendo ainda mais forte nos pacientes que recebiam suporte inotrópico ($r = 0,81$; $p = 0,008$). Nosso estudo reafirma a força da correlação entre a CPO invasiva e a CPO ecocardiográfica, bem como sua reprodutibilidade, estendendo os achados observados no CC para pacientes com ICFER crônica e agudamente descompensada.

Frea et al.¹² também demonstraram uma forte correlação entre o PAPI invasivo e o PAPI ecocardiográfico. Uma diferença notável entre os dois estudos reside na reprodutibilidade do PAPI ecocardiográfico. No estudo citado, a estimativa do PAPI foi viável em 97 de 101 pacientes, enquanto em nosso estudo foi possível em apenas 16 de 34 pacientes. A regurgitação pulmonar é um achado ecocardiográfico raro em pacientes com hipertensão pulmonar, o que reduz a acurácia de métodos que avaliam medidas derivadas dela.¹⁸ Existe também uma variabilidade significativa nos pontos de corte do PAPI derivado do CAP capazes de prever desfechos adversos entre as diferentes populações estudadas. Consequentemente, os valores de corte do PAPI diferem entre CC e IC.^{19,20} Por esse motivo, a baixa sensibilidade da regurgitação pulmonar e a distinção nos limiares de PAPI entre diferentes populações podem ter contribuído para as diferenças de reprodutibilidade observadas entre os dois estudos. Portanto, com base em nossos achados, concluímos que o PAPI ecocardiográfico pode não ser um parâmetro diagnóstico confiável em pacientes com IC crônica e agudamente descompensada, devido à sua baixa reprodutibilidade.

O presente estudo apresenta algumas limitações. Em primeiro lugar, o tamanho da população analisada é um aspecto significativo a ser enfatizado, especialmente após a publicação de Frea et al.,¹² que ocorreu durante a fase final de recrutamento do nosso estudo. Além disso, a heterogeneidade da nossa coorte representa outra limitação, visto que o nosso estudo inclui indivíduos com diversas condições hemodinâmicas e diferentes necessidades de suporte terapêutico. Para reduzir a heterogeneidade da população, realizamos uma análise de sensibilidade entre os pacientes que receberam suporte inotrópico, tentando excluir aqueles com doença menos grave. A impossibilidade de obter o PAPI ecocardiográfico em parte da amostra representa outra limitação. Por fim, o intervalo prolongado entre os dois métodos de avaliação também pode ser considerado uma limitação potencial.

Conclusão

O presente estudo demonstrou correlações significativas entre medidas hemodinâmicas invasivas e não invasivas em pacientes com ICFER, particularmente para parâmetros prognósticos como CPO, PAPI e LVOT-VTI. A CPO apresentou a correlação mais forte entre os métodos, especialmente em pacientes sob suporte inotrópico. Embora o PAPI tenha apresentado correlação entre as técnicas, sua reprodutibilidade limitada na ecocardiografia reduz sua utilidade clínica nessa população.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa: Barbato JPR, Scolari FL, Berger SV, Menegazzo WR, Araujo GN, Valle FH, Wainstein RV; obtenção de dados: Barbato JPR, Berger SV, Menegazzo WR, Crivelaro PAM, Amon AB; análise e interpretação dos dados: Barbato JPR, Scolari FL, Machado GP, Berger SV, Menegazzo WR, Amon AB, Araujo GN, Valle FH, Wainstein RV; análise estatística: Barbato JPR, Scolari FL, Machado GP, Araujo GN; obtenção de financiamento: Barbato JPR; redação do manuscrito: Barbato JPR, Scolari FL, Araujo GN, Valle FH, Wainstein RV; revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Barbato JPR, Scolari FL, Machado GP, Berger SV, Menegazzo WR, Crivelaro PAM, Amon AB, Araujo GN, Valle FH e Wainstein RV.

Potencial Conflito de Interesse

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo foi financiado pelo Fundo de Incentivo à Pesquisa (FIPE).

Vinculação Acadêmica

Este artigo é parte da dissertação de Mestrado de João Pedro da Rosa Barbato pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aprovação Ética e Consentimento Informado

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, sob o número de protocolo 5920490. 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.

Uso de Inteligência Artificial

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

Disponibilidade de Dados

Os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no manuscrito.

Referências

1. Bozkurt B, Ahmad T, Alexander KM, Baker WL, Bosak K, Brethett K, et al. Heart Failure Epidemiology and Outcomes Statistics: A Report of the Heart Failure Society of America. *J Card Fail.* 2023;29(10):1412-51. doi: 10.1016/j.cardfail.2023.07.006.
2. Grinstein J, Houston BA, Nguyen AB, Smith BA, Chinco A, Pinney SP, et al. Standardization of the Right Heart Catheterization and the Emerging Role of Advanced Hemodynamics in Heart Failure. *J Card Fail.* 2023;29(11):1543-55. doi: 10.1016/j.cardfail.2023.08.009.
3. Rajagopalan N, Borlaug BA, Bailey AL, Eckman PM, Guglin M, Hall S, et al. Practical Guidance for Hemodynamic Assessment by Right Heart Catheterization in Management of Heart Failure. *JACC Heart Fail.* 2024;12(7):1141-56. doi: 10.1016/j.jchf.2024.03.020.
4. Basir MB, Kapur NK, Patel K, Salam MA, Schreiber T, Kaki A, et al. Improved Outcomes Associated with the use of Shock Protocols: Updates from the National Cardiogenic Shock Initiative. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2019;93(7):1173-83. doi: 10.1002/ccd.28307.
5. Yildiz O, Aslan G, Demirozu ZT, Yenigun CD, Yazicioglu N. Evaluation of Resting Cardiac Power Output as a Prognostic Factor in Patients with Advanced Heart Failure. *Am J Cardiol.* 2017;120(6):973-9. doi: 10.1016/j.amjcard.2017.06.028.
6. Tan LB. Cardiac Pumping Capability and Prognosis in Heart Failure. *Lancet.* 1986;2(8520):1360-3. doi: 10.1016/s0140-6736(86)92006-4.
7. Kochav SM, Flores RJ, Truby LK, Topkara VK. Prognostic Impact of Pulmonary Artery Pulsatility Index (PAPi) in Patients with Advanced Heart Failure: Insights from the ESCAPE Trial. *J Card Fail.* 2018;24(7):453-9. doi: 10.1016/j.cardfail.2018.03.008.
8. Gentile F, Sciarrone P, Panichella G, Bazan L, Chubuchny V, Buon cristiani F, et al. Echocardiography-Derived Forward Left Ventricular Output Improves Risk Prediction in Systolic Heart Failure. *J Am Soc Echocardiogr.* 2024;37(10):937-46. doi: 10.1016/j.echo.2024.06.008.
9. Jentzer JC, Tabi M, Wiley BM, Lanspa MJ, Anavekar NS, Oh JK. Doppler-Derived Haemodynamics Performed during Admission Echocardiography Predict in-Hospital Mortality in Cardiac Intensive Care Unit Patients. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care.* 2022;11(8):640-50. doi: 10.1093/ehjacc/zuac084.
10. Mitchell C, Rahko PS, Blauwet LA, Canaday B, Finstuen JA, Foster MC, et al. Guidelines for Performing a Comprehensive Transthoracic Echocardiographic Examination in Adults: Recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2019;32(1):1-64. doi: 10.1016/j.echo.2018.06.004.
11. Parker CW, Kolimas AM, Kotini-Shah P. Velocity-Time Integral: A Bedside Echocardiography Technique Finding a Place in the Emergency Department. *J Emerg Med.* 2022;63(3):382-8. doi: 10.1016/j.jemermed.2022.04.012.
12. Frea S, Gravinese C, Boretto P, De Lio G, Bocchino PP, Angelini F, et al. Comprehensive Non-Invasive Haemodynamic Assessment in Acute Decompensated Heart Failure-Related Cardiogenic Shock: A Step Towards Echodynamics. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care.* 2024;13(9):646-55. doi: 10.1093/ehjacc/zuac087.
13. Stein JH, Neumann A, Preston LM, Costanzo MR, Parrillo JE, Johnson MR, et al. Echocardiography for Hemodynamic Assessment of Patients with Advanced Heart Failure and Potential Heart Transplant Recipients. *J Am Coll Cardiol.* 1997;30(7):1765-72. doi: 10.1016/s0735-1097(97)00384-7.
14. Temporelli PL, Scapellato F, Eleuteri E, Imparato A, Giannuzzi P. Doppler Echocardiography in Advanced Systolic Heart Failure: A Noninvasive Alternative to Swan-Ganz Catheter. *Circ Heart Fail.* 2010;3(3):387-94. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.108.809590.
15. Blancas R, Martínez-González Ó, Ballesteros D, Núñez A, Luján J, Rodríguez-Serrano D, et al. Lack of Correlation between Left Ventricular Outflow Tract Velocity Time Integral and Stroke Volume Index in Mechanically Ventilated Patients. *Med Intensiva.* 2019;43(2):73-8. doi: 10.1016/j.medint.2017.11.012.
16. Burstein B, Anand V, Ternus B, Tabi M, Anavekar NS, Borlaug BA, et al. Noninvasive Echocardiographic Cardiac Power Output Predicts Mortality in Cardiac Intensive Care Unit Patients. *Am Heart J.* 2022;245:149-59. doi: 10.1016/j.ahj.2021.12.007.
17. Machado GP, Telo GH, Araujo GN, Barbato JPR, Amon A, Martins A, et al. A Combination of Left Ventricular Outflow Tract Velocity Time Integral and Lung Ultrasound to Predict Mortality in ST Elevation Myocardial Infarction. *Intern Emerg Med.* 2024;19(8):2167-76. doi: 10.1007/s11739-024-03719-z.
18. Kadoglou NPE, Khatib E, Velidakis N, Ckougkoudi E, Myriantheis MM. The Role of Echocardiography in the Diagnosis and Prognosis of Pulmonary Hypertension. *J Pers Med.* 2024;14(5):474. doi: 10.3390/jpm14050474.
19. Lim HS, Gustafsson F. Pulmonary Artery Pulsatility Index: Physiological Basis and Clinical Application. *Eur J Heart Fail.* 2020;22(1):32-38. doi: 10.1002/ejhf.1679.
20. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography Endorsed by the European Association of Echocardiography, a Registered Branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2010;23(7):685-713. doi: 10.1016/j.echo.2010.05.010.

*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