
doi: [10.1016/j.bja.2022.07.052](https://doi.org/10.1016/j.bja.2022.07.052)

Advance Access Publication Date: 15 September 2022

Thoracic Anaesthesia and Respiration

Pulmonary artery wave reflection and right ventricular function after lung resection

Adam Glass^{1,2,*}, Philip McCall^{1,3}, Alex Arthur¹, Kenneth Mangion⁴ and Ben Shelley^{1,3}

肺葉切除後の肺動脈wave reflectionと右心機能

板谷朋亮

背景

- ▶ 肺切除後の心肺機能障害の原因として、右室機能障害が考えられていた
→ 分離肺換気、PAの結紮、肺組織の切除により右室後負荷が上がるため
- ▶ しかし、肺血管抵抗(PVR)は術後も変化しないと報告された
- ▶ 右室後負荷の評価は定常流と拍動流の評価が必要
- ▶ PVRは定常流を反映し、wave reflectionは拍動流を反映
- ▶ wave reflection: 収縮期の初期から中期にかけて右室へ逆行性に流れる血流
→ 右室壁応力を増加させ、右室機能を障害する
- ▶ 肺切除後はwave reflectionが増加し、健側へ血流の再分配を起こしているのでは？

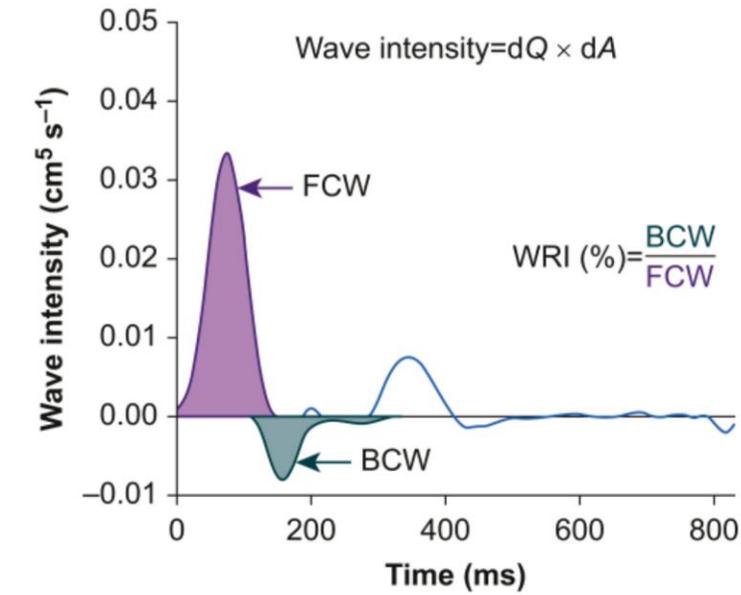
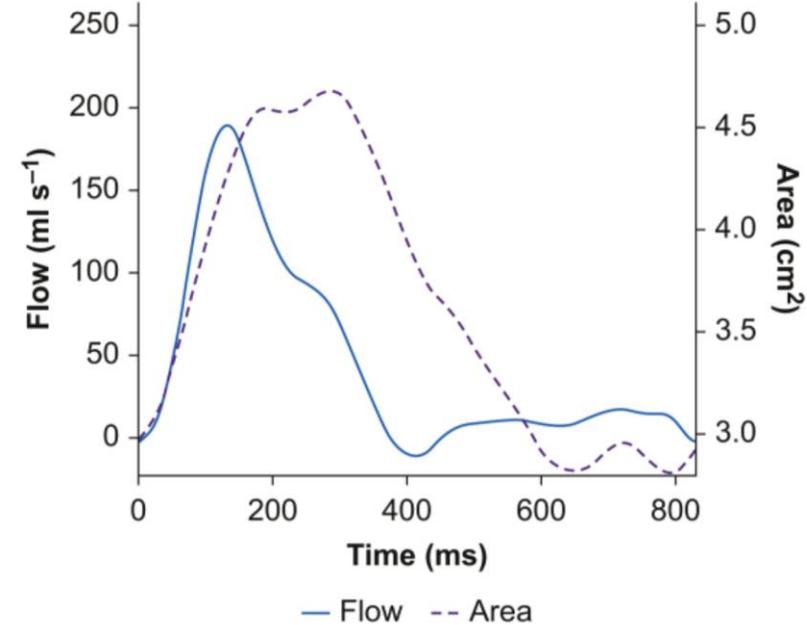
方法(デザイン)

- ▶ 場所: スコットランド 単一施設
- ▶ デザイン: 前向き観察コホート研究

- ▶ 対象: 開胸肺葉切除を受ける成人
- ▶ 除外基準: 妊娠、心臓MRIの禁忌、胸腔鏡手術、葉切以外の肺切除

- ▶ 手術: 1人の外科医が施行 リンパ節郭清を伴う後側方開胸術
- ▶ 麻酔: 揮発性麻酔薬、肺保護換気、胸部硬膜外麻酔にて管理

心臓MRI



- ▶ 心臓MRIは術前、術後2日、術後2か月に施行
- ▶ Wave reflectionはwave intensity analysis(WIA)により評価
右室収縮により形成される前方圧収縮波(FCW)
FCWが肺動脈に反射され形成される後方圧収縮波(BCW)
Wave reflection index(WRI)として定量化
($WRI = BCW/FCW$)
- ▶ 肺動脈(PA)血流量は心周期に合わせたFlowの面積で算出
- ▶ PA加速時間(AT)は最大流速までの時間を計測
- ▶ RVGLS、RVFWLS、RVEF、LVEFは四腔長軸像で分析

RVGLS、RVFWLS

- ▶ RVGLS: right ventricular global longitudinal strain
右室を6区域に分けたの縦方向の歪みの平均
絶対値で < 17% で右心機能障害
- ▶ RVFWLS: right ventricular free wall longitudinal strain
右心自由壁を3区域に分けた縦方向の歪みの平均
絶対値で < 23% で右心機能障害
- ▶ RVGLS, RVFWLSは初期の右室リモデリングも検出できる

統計解析

- ▶ R Studio Inc (Boston, MA, USA)を使用
- ▶ 経時的変化:一元配置分散分析 or Friedman's検定
- ▶ 事後比較:paired t 検定 or Wilcoxon signed-rank検定
- ▶ 対応のない比較:unpaired t 検定 or Wilcoxon rank-sum検定
- ▶ 被験者内での2つの連続変数の変化の関連性:患者を1つの因子として共分散分析 (e.g. WRIとRVEFの関連性)

結果(対象群)

- ▶ 28人中の1人除外(心臓MRI時の禁忌が発覚)
- ▶ 術前27人、術後2日22人(3人:心臓MRI拒否、1人:airリークが多量で心臓MRI施行できず、1人:MRIに対応していない硬膜外カテーテル挿入)、術後2か月24人(1人:研究を辞退、1人:転院、1人:心臓MRI拒否)

- ▶ 平均年齢は67歳 女性が17名(63%)
- ▶ 肺葉切除:22名、2葉切除(右中葉を含む):4名、肺全摘:1名(PA血流分布は除外)
- ▶ 右肺の手術:17名(63%)
- ▶ SpO₂(room air) 96.4%、FEV₁% 87.5%、TLCO% 66.6%
- ▶ 高血圧:9名(25.9%)、COPD:6名(22.2%)、IHD:6名(22.2%)、PVD:5名(18.5%)

結果(心機能)

Parameter	Preoperative	POD2	2 months	P-value*
Heart rate (beats min ⁻¹)	64.4 (13.0)	77.0 (11.0) [†]	69.4 (10.3) [‡]	0.002
Cardiac output (L min ⁻¹)	5.73 (1.63)	6.91 (1.62) [†]	6.12 (1.64) [‡]	0.002
RVEF (%)	50.5 (6.9)	45.6 (4.5) [†]	44.9 (7.7) [†]	0.003
RVEDV (ml)	119.1 (25.4)	125.9 (22.5)	109.4 (31.6) ^{†‡}	0.019
RVESV (ml)	59.8 (17.1)	68.6 (14.5) [†]	59.8 (17.6) [‡]	0.040
RVSV (ml)	59.3 (12.0)	57.3 (10.7)	49.6 (16.5) [†]	0.002
LVEF (%)	58.4 (7.1)	57.4 (7.3)	59.7 (9.3)	0.621
LVEDV (ml)	109.2 (19.5)	106.3 (19.2)	93.6 (28.2) ^{†‡}	0.001
LVESV (ml)	46.0 (13.2)	46.0 (14.2)	37.7 (13.1) ^{†‡}	0.019
LVSV (ml)	63.2 (11.7)	60.3 (9.0)	55.9 (18.0) [†]	0.004
RVGLS (%)	-32.7 (6.2)	-30.1 (6.3)	<u>-28.1 (7.3)[†]</u>	0.006
RVFWLS (%)	-37.3 (10.2)	-36.5 (9.1)	<u>-32.5 (10.6)[†]</u>	0.025
LVGLS (%)	-25.4 (5.0)	-26.2 (3.4)	-25.3 (4.4)	0.739
LVGCS (%)	-33.3 (6.5)	-34.7 (6.6)	-33.0 (7.7)	0.500
LVGRS (%)	70.7 (18.5)	74.0 (17.7)	69.2 (19.7)	0.524
MPA acceleration time (ms)	116 (21)	83 (19) [†]	104 (20) ^{†‡}	<0.001
Proportion of blood flow (%)				
Non-operative PA	48.10 (6.20)	<u>66.28 (9.53)[†]</u>	<u>60.84 (11.68)^{†‡}</u>	<0.001
Operative PA	51.90 (6.20)	<u>33.72 (9.53)^{††}</u>	<u>39.16 (11.68)^{†††}</u>	<0.001

有意差なし

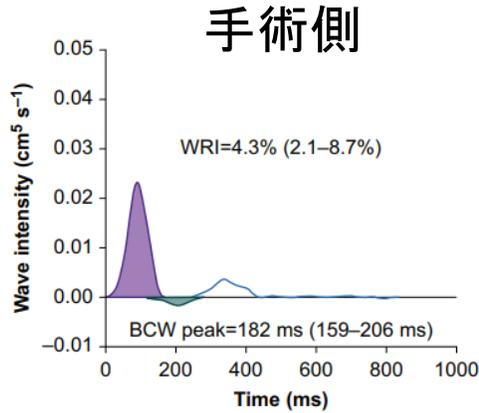
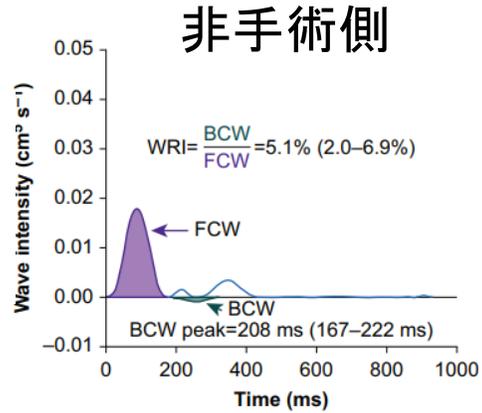
術後2か月でRVGLS、RVFWLSは有意に低下(術後2日では有意差なし)

LV機能に有意差なし

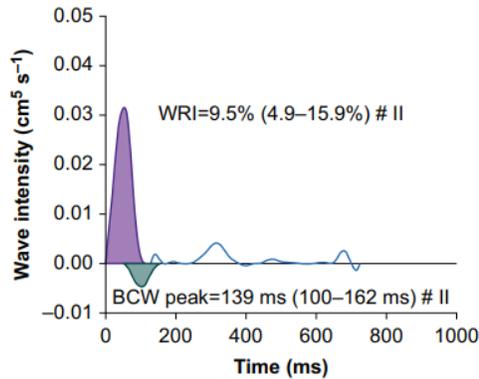
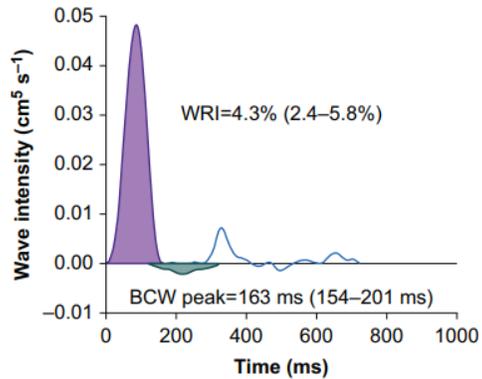
術側のPAと比較して非術側のPAを通過する血流は有意に増加

結果 (WRI)

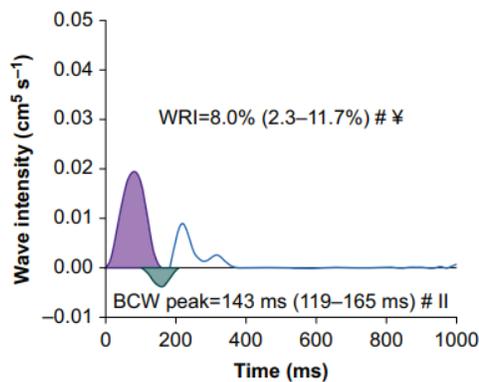
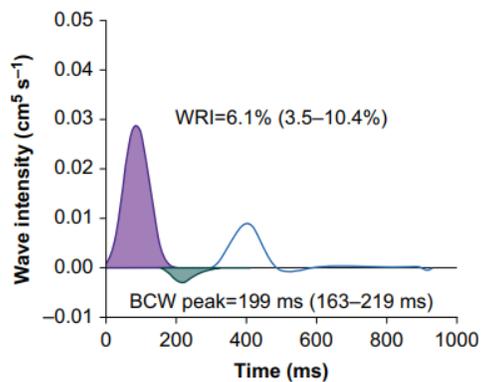
手術前



術後2日後



術後2か月後



— Wave intensity — FCW — BCW

PA WIAの6回が除外(体動のアーチファクトにより)
術後2日、術後2か月で術側のWRIは有意に増加
($p = 0.001$, $p = 0.026$)

非術側ではWRIは変化なし

BCWがピークに達する時間は、手術後のPAで有意に短縮($p < 0.005$)

術後2日、術後2か月で、BCWがピークに達する時間は、術側が健側よりも優位に短縮($p = 0.040$, $p = 0.003$)

術後2日、術後2か月で、PA血流分布とWRIは中等度-高度の相関($p < 0.001$, $p = 0.010$)

術後2日、術後2か月で、PA血流分布と術側のBCWピークに達するまでの時間は、中等度-高度の相関($p = 0.002$, $p = 0.006$)

結果(右心機能)

▶ 術前と術後2日では

RVEFと健側PA血流分布・術側のWRIに中等度の相関関係あり($p = 0.028$, $p = 0.011$)

RVEFと術側でBCWのピークに達する時間は中等度の相関関係あり($p = 0.024$)

▶ 術前と術後2か月では

RVEFと健側PA血流分布は強い関連性あり($p = 0.002$)

RVGLS・RVFWLSと健側PA血流分布は中等度の相関関係あり($p = 0.042$, $p = 0.017$)

RVGLS・RVFWLSと健側のWRIは強い相関関係あり($p = 0.001$, $p < 0.001$)

RVEFと術側でBCWのピークに達する時間は中等度の相関関係あり($p = 0.026$)

➡ RV障害と術側WRIの増加・健側のPA血流再分布は関連している

結果(AT、wave reflectionの距離)

- ▶ 主肺動脈でのwave reflectionが増加するとATが減少するといわれている
- ▶ 術前と術後2日では、ATと健側PA血流分布・術側のWRI・RVEFは強い相関関係あり ($p = 0.003$, $p = 0.001$, $p = 0.004$)
- ▶ 術前と術後2か月では、ATと健側PA血流分布・術側のWRI・RVEFは相関関係なし
- ▶ 術側のWRIの増加とBCWのピークに達する時間の短縮から、術後はwave reflectionの起点は術前よりもより近位の肺動脈で起きている
- ▶ Wave reflectionの起点までの距離は、術前では6.9(5.0–9.2)cm、術後2日では2.6(2.0–4.7)cm、術後2か月では3.2(2.2–5.2)cm ($p < 0.001$)
 - 肺葉切除時のPA結紮部位とwave reflectionの起点が一致する可能性

考察①

- ▶ 拍動性の後負荷(WRI)は術後に増加し、右心機能障害と関連している
- ▶ 術側のWRIの増加と健側PA血流再分布は、右心機能障害と関連している
- ▶ RVGLS(歪み)は術後2日では保たれていたが、術後2か月で障害された

- ▶ PVRは遠位肺動脈の定常流に対する抵抗を評価しているため、術後も変化がない
- ▶ 肺葉切除での肺動脈枝の結紮は、近位肺動脈の拍動流に影響
- ▶ 拍動性の後負荷は、全体の右心後負荷の50%以上を占める

考察②

- ▶ 肺高血圧(PH)でのWRIは増加は本研究よりも大きい(PH 20-31.8% vs 術後2日 4.9-14.9%)
- ▶ 術後2日の術側WRIとRVEFには相関関係があるが、術後2か月では相関関係はない
- ▶ 健側のPA血流再分布は術後2日と術後2か月でRVEFと強い相関関係がある
 - 術側のwave reflectionの変化を健側のPA血流再分布により代償している可能性
 - 健側のPA血流再分布は右心後負荷の指標になり得る可能性
- ▶ 右心機能との相関関係は術後2か月の健側のWRIで最も大きかった
 - 健側がPA血流再分布を代償できない場合、右心機能障害が発生する可能性

リミテーション・課題

- ▶ 右心後負荷に影響するwave reflectionを評価するには、近位肺動脈での評価が必要
→本研究では主肺動脈でのWIAは体動により評価出来なかった
- ▶ 安静時は術側のwave reflectionを健側のPA血流再分布により右心機能を代償できている
→運動時や術前から右心機能不全がある場合は代償できない可能性がある
- ▶ 心臓MRIの時間分解能を上げるには体動のアーチファクトを制限する必要性
→長い時間の呼吸停止が必要であるが肺切除後の患者では厳しいのでは？
→運動負荷下での右心機能評価や、RVループの評価により可能になる

まとめ

- ▶ 拍動性の後負荷は肺葉切除後に増加
- ▶ 術側のwave reflectionの増加は健側のPA血流再分布を起こす
- ▶ 健側のPA血流再分布は右心機能障害と関連