UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉS DE MÉDECINE

ANNÉE 2019 2019 TOU3 1607

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

MÉDECINE SPÉCIALISÉE CLINIQUE

Présentée et soutenue publiquement

par

Lucas VERSET

Le 3 octobre 2019

Impact de la fonction systolique ventriculaire droite sur les capacités fonctionnelles après une transplantation cardiaque

Directrice de thèse : Dr Pauline FOURNIER

JURY

Monsieur le Professeur M. GALINIER	Président
Madame le Professeur A. BURA-RIVIERE	Assesseur
Monsieur le Professeur O. LAIREZ	Assesseur
Madame le Docteur P. FOURNIER	Assesseur
Monsieur le Docteur Y. LAVIE-BADIE	Suppléant
Madame le Docteur J. GUITARD	Membre invité

TABLEAU du PERSONNEL HU

des Facultés de Médecine de l'Université Paul Sabatier Toulouse III

au 1er septembre 2018

Professeurs Honoraires

Doyen Honoraire	M. CHAP Hugues
Doyen Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard
Doyen Honoraire	M. LAZORTHES Yves
Doyen Honoraire	M. PUEL Pierre
Doyen Honoraire	M. ROUGE Daniel
Doyen Honoraire	M. VINEL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. ABBAL Michel
Professeur Honoraire	M. ADER Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. ALBAREDE Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. ARBUS Louis
Professeur Honoraire	M. ARLET Jacques
Professeur Honoraire	M. ARLET Philippe
Professeur Honoraire	M. ARLET-SUAU Elisabeth
Professeur Honoraire	M. ARNE Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. BARRET André
Professeur Honoraire	M. BARTHE Philippe
Professeur Honoraire	M. BAYARD Francis
Professeur Honoraire	M. BOCCALON Henri
Professeur Honoraire	M. BONAFÉ Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. BONEU Bernard
Professeur Honoraire	M. BOUNHOURE Jean-Paul
Professeur Honoraire	M. BOUTAULT Franck
Professeur Honoraire	M. BUGAT Roland
Professeur Honoraire	M. CAHUZAC Jean-Philippe
Professeur Honoraire	M. CARATERO Claude
Professeur Honoraire	M. CARLES Pierre
Professeur Honoraire	M. CARRIERE Jean-Paul
Professeur Honoraire	M. CARTON Michel
Professeur Honoraire	M. CATHALA Bernard
Professeur Honoraire	M. CHABANON Gérard
Professeur Honoraire	M. CHAMONTIN Bernard
Professeur Honoraire	M. CHAP Hugues
Professeur Honoraire	M. CHAVOIN Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CLANET Michel
Professeur Honoraire	M. CONTE Jean
Professeur Honoraire	M. COSTAGLIOLA Michel
Professeur Honoraire	M. COTONAT Jean
Professeur Honoraire	M. DABERNAT Henri
Professeur Honoraire	M. DALOUS Antoine
Professeur Honoraire	M. DALY-SCHVEITZER Nicolas
Professeur Honoraire	M. DAVID Jean-Frédéric
Professeur Honoraire	M. DELSOL Georges
Professeur Honoraire	Mme DELISLE Marie-Bernadette
Professeur Honoraire	Mme DIDIER Jacqueline
Professeur Honoraire	M. DUCOS Jean
Professeur Honoraire	M. DUFFAUT Michel
Professeur Honoraire	M. DUPRE M.
Professeur Honoraire	M. DURAND Dominique
Professeur Honoraire associé	M. DUTAU Guy
Professeur Honoraire	M. ESCANDE Michel
Professeur Honoraire	M. ESCHAPASSE Henri
Professeur Honoraire	M. ESCOURROU Jean
Professeur Honoraire	M. ESQUERRE J.P.
Professeur Honoraire	M. FABIÉ Michel
Professeur Honoraire	M. FABRE Jean
Professeur Honoraire	M. FAUVEL Jean-Marie
Professeur Honoraire	M. FOURNIAL Gérard
Professeur Honoraire	M. FOURNIE Bernard
Professeur Honoraire	M. FOURTANIER Gilles
Professeur Honoraire	M. FRAYSSE Bernard
Professeur Honoraire	M. FREXINOS Jacques
Professeur Honoraire	Mme GENESTAL Michèle
Professeur Honoraire	M. GERAUD Gilles
Professeur Honoraire	M. GHISOLFI Jacques
Professeur Honoraire	M. GOUZI Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. GUIRAUD CHAUMEIL Bernard
Professeur Honoraire	M. HOFF Jean
Professeur Honoraire	M. JOFFRE Francis
Professeur Honoraire	M. LACOMME Yves
Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE Jacques
Professeur Honoraire	Mme LARENG Marie-Blanche
Professeur Honoraire	M. LARENG Louis
Professeur Honoraire	M. LAURENT Guy
Professeur Honoraire	M. LAZORTHES Franck
Professeur Honoraire	M. LAZORTHES Yves
Professeur Honoraire	M. LEOPHONTE Paul
Professeur Honoraire	M. MAGNAVAL Jean-François
Professeur Honoraire	M. MANELFE Claude
Professeur Honoraire	M. MANSAT Michel
Professeur Honoraire	M. MASSIP Patrice
Professeur Honoraire	Mme MARTY Nicole
Professeur Honoraire	M. MAZIERES Bernard
Professeur Honoraire	M. MONROZIES Xavier
Professeur Honoraire	M. MOSCOVICI Jacques
Professeur Honoraire	M. MURAT
Professeur Honoraire	M. OLIVES Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. PAGES B.
Professeur Honoraire	M. PASCAL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. PESSEY Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. PLANTE Pierre
Professeur Honoraire	M. PONTONNIER Georges
Professeur Honoraire	M. POURRAT Jacques
Professeur Honoraire	M. PRADERE Bernard
Professeur Honoraire	M. PRIS Jacques
Professeur Honoraire	Mme PUEL Jacqueline
Professeur Honoraire	M. PUEL Pierre
Professeur Honoraire	M. PUJOL Michel
Professeur Honoraire	M. QUERLEU Denis
Professeur Honoraire	M. RAILHAC Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. REGIS Henri
Professeur Honoraire	M. REGNIER Claude
Professeur Honoraire	M. REME Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. ROCHE Henri
Professeur Honoraire	M. ROCHICCIOLI Pierre
Professeur Honoraire	M. ROLLAND Michel
Professeur Honoraire	M. ROQUE-LATRILLE Christian
Professeur Honoraire	M. RUMEAU Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. SALVADOR Michel
Professeur Honoraire	M. SALVAYRE Robert
Professeur Honoraire	M. SARRAMON Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. SIMON Jacques
Professeur Honoraire	M. SUC Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. THOUVENOT Jean-Paul
Professeur Honoraire	M. TKACZUK Jean
Professeur Honoraire	M. TREMOULET Michel
Professeur Honoraire	M. VALDIGUIE Pierre
Professeur Honoraire	M. VAYSSE Philippe
Professeur Honoraire	M. VIRENQUE Christian
Professeur Honoraire	M. VOIGT Jean-Jacques

Professeurs Émérites

Professeur ADER Jean-Louis
Professeur ALBAREDE Jean-Louis
Professeur ARBUS Louis
Professeur ARLET-SUAU Elisabeth
Professeur BOCCALON Henri
Professeur BONEU Bernard
Professeur CARATERO Claude
Professeur CHAMONTIN Bernard
Professeur CHAP Hugues
Professeur CONTÉ Jean
Professeur COSTAGLIOLA Michel
Professeur DABERNAT Henri
Professeur FRAYSSE Bernard
Professeur DELISLE Marie-Bernadette
Professeur GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard
Professeur JOFFRE Francis
Professeur LARENG Louis
Professeur LAGARRIGUE Jacques
Professeur LARENG Louis
Professeur LAURENT Guy
Professeur LAZORTHES Yves
Professeur MAGNAVAL Jean-François
Professeur MANELFE Claude
Professeur MASSIP Patrice
Professeur MAZIERES Bernard
Professeur MOSCOVICI Jacques
Professeur MURAT
Professeur ROQUES-LATRILLE Christian
Professeur SALVAYRE Robert
Professeur SARRAMON Jean-Pierre
Professeur SIMON Jacques

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-PURPAN

37 allées Jules Guesde - 31000 TOULOUSE **Doyen : D. CARRIE**

P.U. - P.H. Classe Exceptionnelle et 1ère classe

M. ADOUE Daniel (C.E)	Médecine Interne, Gériatrie
M. AMAR Jacques (C.E)	Thérapeutique
M. ATTAL Michel (C.E)	Hématologie
M. AVET-LOISEAU Hervé (C.E.)	Hématologie, transfusion
Mme BEYNE-RAUZY Odile	Médecine Interne
M. BIRMES Philippe	Psychiatrie
M. BLANCHER Antoine	Immunologie (option Biologique)
M. BONNEVIALLE Paul (C.E)	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie.
M. BOSSAVY Jean-Pierre (C.E)	Chirurgie Vasculaire
M. BRASSAT David	Neurologie
M. BROUCHET Laurent	Chirurgie thoracique et cardio-vascul
M. BROUSSET Pierre (C.E)	Anatomie pathologique
M. CALVAS Patrick (C.E)	Génétique
M. CARRERE Nicolas	Chirurgie Générale
M. CARRIE Didier (C.E)	Cardiologie
M. CHAIX Yves	Pédiatrie
M. CHAUVEAU Dominique	Néphrologie
M. CHOLLET François (C.E)	Neurologie
M. DAHAN Marcel (C.E)	Chirurgie Thoracique et Cardiaque
M. DE BOISSEZON Xavier	Médecine Physique et Réadapt Fonct.
M. DEGUINE Olivier (C.E)	Oto-rhino-laryngologie
M. DUCOMMUN Bernard	Cancérologie
M. FERRIERES Jean (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique
M. FOURCADE Olivier	Anesthésiologie
M. FOURNIÉ Pierre	Ophtalmologie
M. GAME Xavier	Urologie
M. GEERAERTS Thomas	Anesthésiologie et réanimation
M. IZOPET Jacques (C.E)	Bactériologie-Virologie
Mme LAMANT Laurence (C.E)	Anatomie Pathologique
M. LANG Thierry (C.E)	Biostatistiques et Informatique Médicale
M. LANGIN Dominique (C.E)	Nutrition
M. LAUQUE Dominique (C.E)	Médecine Interne
M. LIBLAU Roland (C.E)	Immunologie
M. MALAVAUD Bernard	Urologie
M. MANSAT Pierre	Chirurgie Orthopédique
M. MARCHOU Bruno (C.E)	Maladies Infectieuses
M. MAZIERES Julien	Pneumologie
M. MOLINIER Laurent	Epidémiologie, Santé Publique
M. MONTASTRUC Jean-Louis (C.E)	Pharmacologie
Mme MOYAL Elisabeth	Cancérologie
Mme NOURHASHEMI Fatemeh (C.E)	Gériatrie
M. OSWALD Eric	Bactériologie-Virologie
M. PARANT Olivier	Gynécologie Obstétrique
M. PARIENTE Jérémie	Neurologie
M. PARINAUD Jean (C.E)	Biol. Du Dévelop. et de la Reprod.
M. PAUL Carle	Dermatologie
M. PAYOUX Pierre	Biophysique
M. PAYRASTRE Bernard (C.E)	Hématologie
M. PERON Jean-Marie	Hépato-Gastro-Entérologie
M. PERRET Bertrand (C.E)	Biochimie
M. RASCOL Olivier (C.E)	Pharmacologie
M. RECHER Christian	Hématologie
M. RISCHMANN Pascal (C.E)	Urologie
M. RIVIERE Daniel (C.E)	Physiologie
M. SALES DE GAUZY Jérôme (C.E)	Chirurgie Infantile
M. SALLES Jean-Pierre (C.E)	Pédiatrie
M. SANS Nicolas	Radiologie
Mme SELVES Janick	Anatomie et cytologie pathologiques
M. SERRE Guy (C.E)	Biologie Cellulaire
M. TELMON Norbert (C.E)	Médecine Légale
M. VINEL Jean-Pierre (C.E)	Hépato-Gastro-Entérologie

P.U. - P.H. 2ème classe

Mme BONGARD Vanina	Epidémiologie
M. BONNEVIALLE Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. BUREAU Christophe	Hépato-Gastro-Entéro
Mme CASPER Charlotte	Pédiatrie
Mme CHARPENTIER Sandrine	Médecine d'urgence
M. COGNARD Christophe	Neuroradiologie
M. LAIREZ Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
M. LAROCHE Michel	Rhumatologie
M. LEOBON Bertrand	Chirurgie Thoracique et Cardiaque
M. LOPEZ Raphael	Anatomie
M. MARTIN-BLONDEL Guillaume	Maladies infectieuses, maladies tropicales
M. MARX Mathieu	Oto-rhino-laryngologie
M. MAS Emmanuel	Pédiatrie
M. OLIVOT Jean-Marc	Neurologie
M. PORTIER Guillaume	Chirurgie Digestive
M. RONCALLI Jérôme	Cardiologie
Mme RUYSSEN-WITRAND Adeline	Rhumatologie
Mme SAVAGNER Frédérique	Biochimie et biologie moléculaire
M. SOL Jean-Christophe	Neurochirurgie
Mme TREMOLLIERES Florence	Biologie du développement
Mme VEZZOSI Delphine	Endocrinologie

P.U. Médecine générale

M. MESTHÉ Pierre
M. OUSTRIC Stéphane

Professeur Associé Médecine générale

M. ABITTEBOUL Yves
M. POUTRAIN Jean-Christophe

Professeur Associé en Neurologie

Mme PAVY-LE TRAON Anne

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-RANGUEIL

133, route de Narbonne - 31062 TOULOUSE Cedex **Doyen : E. SERRANO**

P.U. - P.H.
Classe Exceptionnelle et 1ère classe

M. ACAR Philippe	Pédiatrie
M. ACCADBLED Franck	Chirurgie Infantile
M. ALRIC Laurent (C.E)	Médecine Interne
Mme ANDRIEU Sandrine	Epidémiologie
M. ARNAL Jean-François	Physiologie
Mme BERRY Isabelle (C.E)	Biophysique
M. BUJAN Louis (C. E)	Urologie-Andrologie
Mme BURA-RIVIERE Alessandra	Médecine Vasculaire
M. BUSCAIL Louis (C.E)	Hépato-Gastro-Entérologie
M. CANTAGREL Alain (C.E)	Rhumatologie
M. CARON Philippe (C.E)	Endocrinologie
M. CHAUFOUR Xavier	Chirurgie Vasculaire
M. CHIRON Philippe (C.E)	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
M. CONSTANTIN Arnaud	Rhumatologie
M. COURBON Frédéric	Biophysique
Mme COURTADE SAIDI Monique	Histologie Embryologie
M. DAMBRIN Camille	Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire
M. DELABESSE Eric	Hématologie
M. DELORD Jean-Pierre	Cancérologie
M. DIDIER Alain (C.E)	Pneumologie
Mme DULY-BOUHANICK Béatrice	Thérapeutique
M. ELBAZ Meyer	Cardiologie
M. GALINIER Michel (C.E)	Cardiologie
M. GLOCK Yves (C.E)	Chirurgie Cardio-Vasculaire
M. GOURDY Pierre	Endocrinologie
M. GRAND Alain (C.E)	Epidémiologie. Eco. de la Santé et Prévention
M. GROLLEAU RAOUX Jean-Louis	Chirurgie plastique
Mme GUIMBAUD Rosine	Cancérologie
Mme HANAIRE Hélène (C.E)	Endocrinologie
M. KAMAR Nassim	Néphrologie
M. LARRUE Vincent	Neurologie
M. LAUWERS Frédéric	Anatomie
M. LEVADE Thierry (C.E)	Biochimie
M. MALECAZE François (C.E)	Ophtalmologie
M. MARQUE Philippe	Médecine Physique et Réadaptation
Mme MAZEREEUW Juliette	Dermatologie
M. MINVILLE Vincent	Anesthésiologie Réanimation
M. OTAL Philippe	Radiologie
M. RAYNAUD Jean-Philippe (C.E)	Psychiatrie Infantile
M. RITZ Patrick	Nutrition
M. ROLLAND Yves (C.E)	Gériatrie
M. ROUGE Daniel (C.E)	Médecine Légale
M. ROUSSEAU Hervé (C.E)	Radiologie
M. ROUX Franck-Emmanuel	Neurochirurgie
M. SAILLER Laurent	Médecine Interne
M. SCHMITT Laurent (C.E)	Psychiatrie
M. SENARD Jean-Michel (C.E)	Pharmacologie
M. SERRANO Elie (C.E)	Oto-rhino-laryngologie
M. SOULAT Jean-Marc	Médecine du Travail
M. SOULIE Michel (C.E)	Urologie
M. SUC Bertrand	Chirurgie Digestive
Mme TAUBER Marie-Thérèse (C.E)	Pédiatrie
Mme URO-COSTE Emmanuelle	Anatomie Pathologique
M. VAYSSIERE Christophe	Gynécologie Obstétrique
M. VELLAS Bruno (C.E)	Gériatrie

P.U. - P.H.
2ème classe

M. ARBUS Christophe	Psychiatrie
M. AUSSEIL Jérôme	Biochimie et biologie moléculaire
M. BERRY Antoine	Parasitologie
M. BONNEVILLE Fabrice	Radiologie
M. BOUNES Vincent	Médecine d'urgence
Mme BOURNET Barbara	Gastro-entérologie
M. CHAPUT Benoit	Chirurgie plastique et des brûlés
M. CHAYNES Patrick	Anatomie
Mme DALENC Florence	Cancérologie
M. DECRAMER Stéphane	Pédiatrie
M. DELOBEL Pierre	Maladies Infectieuses
M. FAGUER Stanislas	Néphrologie
M. FRANCHITTO Nicolas	Addictologie
M. GARRIDO-STÖWHAS Ignacio	Chirurgie Plastique
M. GATIMEL Nicolas	Médecine de la reproduction
Mme GOMEZ-BROUCHET Anne-Muriel	Anatomie Pathologique
M. HUYGHE Eric	Urologie
Mme LAPRIE Anne	Radiothérapie
M. LAURENT Camille	Anatomie Pathologique
M. MARCHEIX Bertrand	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
M. MAURY Jean-Philippe	Cardiologie
M. MEYER Nicolas	Dermatologie
M. MUSCARI Fabrice	Chirurgie Digestive
M. REINA Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. SILVA SIFONTES Stein	Réanimation
M. SOLER Vincent	Ophtalmologie
Mme SOMMET Agnès	Pharmacologie
Mme SOTO-MARTIN Maria-Eugénia	Gériatrie et biologie du vieillissement
M. TACK Ivan	Physiologie
M. VERGEZ Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
M. YSEBAERT Loic	Hématologie

P.U. Médecine générale

Mme ROUGE-BUGAT Marie-Eve

Professeur Associé de Médecine Générale

M. BOYER Pierre

M. STILLMUNKES André

Professeur Associé en Pédiatrie

Mme CLAUDET Isabelle

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE-PURPAN
37, allées Jules Guesde – 31000 Toulouse

FACULTE DE MEDECINE TOULOUSE- RANGUEIL
133, route de Narbonne - 31062 TOULOUSE cedex

M.C.U. - P.H.

M. ABBO Olivier	Chirurgie infantile
M. APOIL Pol Andre	Immunologie
Mme ARNAUD Catherine	Epidémiologie
Mme BERTOLI Sarah	Hématologie, transfusion
M. BIETH Eric	Génétique
Mme CASPAR BAUGUIL Sylvie	Nutrition
Mme CASSAGNE Myriam	Ophtalmologie
Mme CASSAING Sophie	Parasitologie
M. CAVAIGNAC Etienne	Chirurgie orthopédique et traumatologie
Mme CHANTALAT Elodie	Anatomie
M. CONGY Nicolas	Immunologie
Mme COURBON Christine	Pharmacologie
Mme DAMASE Christine	Pharmacologie
Mme de GLISEZENSKY Isabelle	Physiologie
Mme DE MAS Véronique	Hématologie
M. DUBOIS Damien	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme FILLAUX Judith	Parasitologie
M. GANTET Pierre	Biophysique
Mme GENNERO Isabelle	Biochimie
Mme GENOUX Annelise	Biochimie et biologie moléculaire
M. HAMDI Safouane	Biochimie
Mme HITZEL Anne	Biophysique
M. IRIART Xavier	Parasitologie et mycologie
Mme JONCA Nathalie	Biologie cellulaire
M. KIRZIN Sylvain	Chirurgie générale
Mme LAPEYRE-MESTRE Maryse	Pharmacologie
M. LHERMUSIER Thibault	Cardiologie
M. LHOMME Sébastien	Bactériologie-virologie
Mme MONTASTIER Emilie	Nutrition
Mme MOREAU Marion	Physiologie
Mme NOGUEIRA M.L.	Biologie Cellulaire
M. PILLARD Fabien	Physiologie
Mme PUISSANT Bénédicte	Immunologie
Mme RAYMOND Stéphanie	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme SABOURDY Frédérique	Biochimie
Mme SAUNE Karine	Bactériologie Virologie
M. TAFANI Jean-André	Biophysique
M. TREINER Emmanuel	Immunologie
Mme VAYSSE Charlotte	Cancérologie
M. VIDAL Fabien	Gynécologie obstétrique

M.C.U. Médecine générale

M. BRILLAC Thierry	
Mme DUPOUY Julie	

M.C.U. - P.H

Mme ABRAVANEL Florence	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme BASSET Céline	Cytologie et histologie
Mme CAMARE Caroline	Biochimie et biologie moléculaire
M. CAMBUS Jean-Pierre	Hématologie
Mme CANTERO Anne-Valérie	Biochimie
Mme CARFAGNA Luana	Pédiatrie
Mme CASSOL Emmanuelle	Biophysique
Mme CAUSSE Elizabeth	Biochimie
M. CHASSAING Nicolas	Génétique
M. CLAVEL Cyril	Biologie Cellulaire
Mme COLOMBAT Magali	Anatomie et cytologie pathologiques
Mme CORRE Jill	Hématologie
M. DE BONNECAZE Guillaume	Anatomie
M. DEDOUIT Fabrice	Médecine Légale
M. DELPLA Pierre-André	Médecine Légale
M. DESPAS Fabien	Pharmacologie
M. EDOUARD Thomas	Pédiatrie
Mme ESQUIROL Yolande	Médecine du travail
Mme EVRARD Solène	Histologie, embryologie et cytologie
Mme GALINIER Anne	Nutrition
Mme GALLINI Adeline	Epidémiologie
Mme GARDETTE Virginie	Epidémiologie
M. GASQ David	Physiologie
M. GATIMEL Nicolas	Médecine de la reproduction
Mme GRARE Marion	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme GUILBEAU-FRUGIER Céline	Anatomie Pathologique
M. GUILLEMINAULT Laurent	Pneumologie
Mme GUYONNET Sophie	Nutrition
M. HERIN Fabrice	Médecine et santé au travail
Mme INGUENEAU Cécile	Biochimie
M. LEANDRI Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. LEPAGE Benoit	Biostatistiques et Informatique médicale
Mme MAUPAS SCHWALM Françoise	Biochimie
M. MIEUSSET Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. MOULIS Guillaume	Médecine interne
Mme NASR Nathalie	Neurologie
M. RIMAILHO Jacques	Anatomie et Chirurgie Générale
M. RONGIERES Michel	Anatomie - Chirurgie orthopédique
Mme VALLET Marion	Physiologie
M. VERGEZ François	Hématologie

M.C.U. Médecine générale

M. BISMUTH Michel	
Mme ESCOURROU Brigitte	

Maîtres de Conférences Associés de Médecine Générale

Dr BIREBENT Jordan	Dr FREYENS Anne
Dr BOURGEOIS Odile	Dr IRI-DELAHAYE Motoko
Dr CHICOULAA Bruno	Dr LATROUS Leila

DECEMBRE 2018

Monsieur le Professeur Michel GALINIER

Professeur des Universités

Praticien hospitalier

Cardiologie

Vous me faites l'honneur de présider le jury de ma thèse. Merci pour votre implication dans notre formation et pour votre disponibilité. Mon passage dans votre Unité d'insuffisance cardiaque a été tout particulièrement formateur.

Soyez assuré de mon plus profond respect.

Madame le Professeur Alessandra BURA-RIVIERE

Professeur des Universités

Praticien hospitalier

Médecine vasculaire

Médecine interne

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans ce jury. Vous m'avez permis de découvrir une spécialité à part entière lors de mon passage dans votre service. Je suis honoré de pouvoir continuer à travailler avec vous lors de ces prochaines années et je vous en remercie.

Soyez assurée de ma plus profonde considération.

Monsieur le Professeur Olivier LAIREZ

Professeur des Universités

Praticien hospitalier

Cardiologie

Médecine nucléaire

Tu me fais l'honneur de juger ma thèse. Je te suis profondément reconnaissant pour l'aide que tu as pu m'apporter pour ce travail, mais également au cours de mon apprentissage professionnel durant ces quatre dernières années. Ton dévouement et ta passion pour la cardiologie n'ont d'égal que ton savoir.

Sois assuré de mon plus profond respect.

Madame le Docteur Pauline FOURNIER

Praticien hospitalier

Cardiologie

Merci d'avoir accepté de travailler avec moi sur ce projet de thèse. Ton soutien au cours de ces derniers mois a été des plus importants. Ta constante gentillesse, ton énergie et ton implication professionnelle sont un exemple pour moi.

Je ne saurais te remercier assez pour l'aide que tu m'as apporté.

Tu représentes le cardiologue que j'aimerais devenir.

Sois assurée de ma plus profonde gratitude.

Monsieur le Dr Yoan LAVIE-BADIE

Praticien hospitalier

Cardiologie

Médecine nucléaire

C’est un honneur de t’avoir dans mon jury. Merci infiniment pour ta disponibilité et ton aide sur ce travail, qui ont été très précieuses. Ta rigueur et ton savoir font force dans ta pratique et m’ont permis de m’enrichir à tes cotés.

Sois assuré de ma plus grande considération.

Madame le Docteur Joëlle GUITARD

Praticien hospitalier

Néphrologie

Je te remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury. Merci pour ta sympathie, ta disponibilité au quotidien et ta dévotion à la prise en charge des patients transplantés. Sois assurée de mon profond respect.

A toi, qui guides mes pas depuis déjà tant d'années, je ne sais pas par où commencer en repensant à tout ce chemin parcouru…

Ce projet mais surtout l'ensemble de ces années d'études n'auraient pu aboutir sans ton soutien infaillible.

Tu es ma boussole depuis douze ans, tu as été présente pour me guider à chaque étape importante de ma vie, et pour tout cela je ne saurais te remercier assez.

Tu m'as fait entendre le plus beau des oui pendant cet internat. Merci de l'amour que tu me portes au quotidien.

Ne change rien, tu es parfaite. Vraiment parfaite.

Je t'aime ma **Cécilia**. Pour toujours.

A ma famille

A mes parents **Heike** et **Eric**, qui m'ont soutenu pendant toutes ces années, et bien plus encore, sans qui tout cela n'aurait pu arriver. J'espère avoir réussi à vous rendre fier. Ces mots seront insuffisants pour vous montrer à quel point je vous aime. Merci.

A ma sœur **Mona**, merci pour tes pensées qui m'ont toujours accompagné au cours de ces années. Je suis très heureux que tu aies trouvé ta voie avec brillo. Je n'arrive pas souvent à l'exprimer, mais n'oublies jamais que je t'aime.

A **Cédric**, merci de ton soutien depuis toutes ces années déjà. Je suis très content de t'appeler beau daddy.

A **Martine**, tu as toujours le sourire et tu m'encourages depuis bien longtemps déjà. Merci de prendre soin de mon papa comme tu le fais.

A **Mamie**, tu as toujours été présente dans ma vie et m'a toujours soutenu. Cela a beaucoup compté pour moi. Merci pour ton amour et ta générosité. Je t'aime très fort.

A **Oma**, pour que tes yeux continuent de briller lorsque ton regard croise le mien, j'espère que tu es fier de ton Docteur. A **Opa**, qui continue de veiller sur moi, ce travail est pour toi. Merci pour tout l'amour que vous avez toujours su me donner. Je vous aime très fort.

A mes oncles et tantes : **Birte** et **Fred**, **Rosie** et **Jo**, **Jurgen** et **Sabina**, **Urte** et **Thomas**, **Christine** et **Jacques**, **Michel** et **Nicole**. L'Allemagne et la France réunies, mes deux parties indissociables qui m'ont encouragé depuis le début. Un grand merci.

A mes cousins : A **Nico** « t'es mon meilleur cousin », **Marcel** et **Claire**, **Nicolas** et **Alexandra**, même si l'on ne se voit que rarement on ne s'oublie pas, **Florian** et **Virginie** qui me donnent la chance d'être le parrain de **Nathan**, et **Romain**. Merci à vous tous.

A mes nouveaux frères et sœurs, **Sébastien** et **Laetitia**, **Tony** et **Angélique**, **Luca**, **Cloe**, et **Manon**. Merci à tous.

A **Annick** et **Guy**, merci de m'avoir si simplement accepté dans votre belle famille. Votre soutien compte beaucoup pour moi. La générosité dont vous faites preuve dans tous les domaines depuis tant d'années est exceptionnelle.

A **Mariette** et **JP**, je me souviens encore de notre première soirée au Trivial Pursuit. Que de chemin parcouru depuis ce temps là pour vous deux, professionnellement comme personnellement. Vous formez une très belle famille. Je suis très heureux que vous fassiez partie de ma vie.

A **Romain** et **Jessica**, pour votre accueil toujours généreux et convivial, votre sens de l'hospitalité est un réel plaisir. Merci de nous permettre de profiter de ces moments-là. La détermination dont vous faites preuve au jour le jour est impressionnante. Merci à vous deux.

A **Flo** et **Isabella**, vous formez un très joli couple, peu commun mais c'est ce qui fait votre force. C'est toujours un plaisir de vous voir.

A **Didier**, le courage dont tu fais preuve au quotidien depuis que je te connais est un exemple pour moi. Merci pour toutes ces belles discussions.

A mes neveux **Tiago**, **Diego**, **Esteban** et **Matias** dont l'évolution me rappelle à chaque instant que ces longues études passent finalement très vite. Je suis heureux de vous voir grandir.

A ma famille bis

A **Clément**, pour tous les après-midis Guitar Hero après les cours, les nuits blanches passées à jouer au Poker (Governor of Poker for ever), les soirées Zone Interdite, les Reds, le BVB, Dark souls (YOU DIED), et les Coupes du monde sur FIFA. Résumer tous les bons moments que l'on a vécu ensemble est impossible. Tu me soutiens depuis toutes ces années, ta disponibilité et ta bienveillance sont immuables. Merci d'être toujours là pour moi.

A **Sylvain**, mon plus ancien ami, que de temps a passé depuis ces récrés à jouer au Basket à Jean Jaurès. Je suis encore ému rien qu'en pensant à ton discours lors de notre mariage. Tu as toujours su être à l'écoute des autres, et je ne saurais t'en remercier assez. Merci de faire partie de ma vie.

A **Yoann**, le génie de la bande, tes capacités m'impressionneront toujours. Je te connais depuis ce fameux jour de montée de valise, et il a été rapidement évident que l'on ne se quitterait plus. Merci de ta présence depuis toutes ces années.

A **Fanny**, ma meilleure amie depuis bien longtemps déjà. Je me souviens encore de nos trajets retour de Pardailhan. Ton amitié compte énormément pour moi, et je suis vraiment très, très content que vous rentriez au pays. Merci de ton soutien sans faille.

A **Sylvain**, le pneumologue le plus sympa que je connaisse. Tu es probablement le mieux placé pour savoir ce que l'on ressent lorsqu'on écrit ces mots… Je suis heureux de pouvoir bientôt vous revoir. Merci de ta gentillesse.

A **Anouk**, ta capacité d'adaptation est étonnante! Merci de ta générosité et de ton accueil lors de nos séjours aux Pays Bas. C'est un réel plaisir d'être ton ami.

A **Nicolas**, ton courage et ta persévérance sont impressionnants. J'espère que tout continuera à bien rouler, et que l'on fêtera bien ça quand cela sera terminé pour toi. Je suis heureux de te connaitre.

A la **Moumoune**, qui nous accompagne depuis déjà 5 ans.

A mes amis

A **Cyril** et **Pauline**, les bibous qui viennent de se dire oui, c'est toujours un plaisir de partager un moment avec vous. J'espère que vous avez bien profité du Kenya, et j'attends impatiemment la prochaine soirée Mojito (on va se passer du film en 4Dx avant par contre cette fois ci). Je vous aime.

A **Marine** et **Jérémy**, que j'ai appris à connaitre ces dernières années. Je ne peux m'empêcher de repenser à cette fameuse « soirée » (qui a commencé à 15H) de finale de coupe du monde. Vivement la prochaine!

A **Marine**, ma première co-interne, ma chef de clinique avant l'heure, j'ai eu la chance de te connaitre pendant ce semestre à la 61. Tu m'as toujours aidé et soutenu dans les moments difficiles. Ta place restera toujours particulière. Merci.

A la **[TA]**, le trio infernal que j'ai eu la chance de découvrir au Médecine Football Purpan, nos vies resteront toujours liées malgré la distance qui nous a éloigné. **Guillaume**, mon 10 préféré, félicitation pour ta paternité. **Antoine**, je suis heureux que tu te sois trouvé et j'espère que tout se passe bien à Madrid. **Ludo**, ce travail est pour toi, j'aurais aimé que tu sois encore avec nous…

A la cardiologie Toulousaine

A tous les gens cools de la meilleure promo du monde : **Vivi** et **Nico** (mes futurs co-chef ☺), **Maeva** (courage bientôt la fin!), **Jéjé** (avec qui je partage ma passion pour Raphael Guerreiro), **Daniel** (unis par la 61 à jamais), **Gaëtan** (le rugbymen le plus footeux que je connaisse), **Guillaume**, **Aenora**, **Slimane** (bientôt votre tour!), et **Maya** (la pro des biopsies maintenant). Merci à vous tous.

A la promo du dessus : **Valou** et **Francky** (merci pour ce semestre très sympathique à la 13!), **Benoit** (le porte-parole), **Adrien** (merci pour cette fameuse garde aux urg aromatisée au MEOPA, quel beau cadeau d'anniversaire), **Clément** et **Steph Brun** (bravo à vous également), **Kevin** (futur grand cardio pédiatre ruthénois), **Jérémy** (Footballeur Five semi pro), et **Clémence Delon** (qui a un VO_2 max tout à fait impressionnant). Merci pour votre accueil et vos conseils.

Aux plus anciens que j'ai pu croiser pendant cet internat : **Thomas** (qui me garde la place bien au chaud), **Elisabeth**, **Carole** et **Steph Cazalbou** (merci à toutes les deux pour ce super semestre Castrais, vous étiez au top!), **Clémence**, **Thomas** et **Sylvain** (j'étais votre premier externe à la 61!), **Eve** (tu ne cesseras de m'impressionner, merci pour ton soutien), **Steph Blanco** (merci pour ta constante bienveillance), **Quentin** (le chat blanc). Merci à vous tous.

Aux nouveaux vieux : **Hugo** (une très belle collaboration pour finir mon internat, merci à toi pour ton soutien au cours de ce semestre), **Greg**, **Damien**, **Antoine** (mon poulain), **Hubert**, **Jérémy** (mon futur premier interne), **Kim**, **Robin** (ne casse pas la machine à VO_2 stp on en a encore besoin), **Fabien**. Merci à tous.

Aux plus jeunes avec qui j'ai pu travailler : **Henry**, **Clarisse**, **Laure**, **Arthur**, **Laetitia**, **Laurence**, **Maxime**, **Paul**, **Kevin**, **Nathan**, **Hélène**, **Ronan**, **Anthony**, **Thibaut**. Merci et on se revoit bientôt.

Aux chefs : **Benoit**, **Christelle**, **Joffrey** (mes premiers chefs de clinique), **Thibault, Fran**, **Nico Boudou**, **Clément**, **Caro**, **Guigui**, et **Gurbuz** (merci à tous les quatre pour ce super semestre à l'USIC), et **Fred**. Merci à vous tous.

A l'équipe de médecine vasculaire

A **Arthur**, **FX**, **Wassim**, **Julie**, **Thomas**, **Christophe**, **Géraud**, **Gab**, **Morgane**, **La Carc**, et **Captain Corvet**, je vous remercie pour ce superbe semestre passé à vos côtés, et je vous remercie de m'accueillir pour ces 2 prochaines années.

A l'équipe de rééducation cardiovasculaire :

A **Jean Paul** (grand artiste), **Eric**, **Monique**, **Cristina**, et **Julia**, merci pour ce semestre très sympathique.

A **Marc**, j'ai eu la chance de travailler avec toi pendant 6 mois qui furent extrêmement enrichissants, tant au plan théorique que pratique. Tu es impressionnant.

A la cardiologie d'Occitanie

A l'équipe du CH de Montauban : A **Elisabeth**, **Noureddine**, **Mehrzad**, et **Rabah**, vous m'avez connu bébé, et m'avez enseigné tant en seulement 6 mois. Merci à vous.

A l'équipe du CHIC : A **Pierre**, **Pascal**, **Christophe**, **Ahmed**, et **Marion**, merci de votre accueil, vous avez une très belle équipe. **Philippe**, merci pour tout, tu auras marqué mon internat par ta gentillesse et ton altruisme. Merci à vous tous.

Enfin, à toutes les personnes que j'ai pu oublier, et j'en suis désolé, merci du fond du cœur.

Table des matières

ABREVIATIONS 19

INTRODUCTION 20

MATERIEL ET METHODES 22

POPULATION 22
DESIGN DE L'ETUDE 22
ÉCHOCARDIOGRAPHIE TRANSTHORACIQUE 22
IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE 23
EPREUVE D'EFFORT CARDIO-PULMONAIRE 23
TEST DE MARCHE DE SIX MINUTES 24
CRITERE DE JUGEMENT 24
ANALYSES STATISTIQUES 24

RESULTATS 25

DONNEES INITIALES 25
PARAMETRES D'IMAGERIE 25
PARAMETRES FONCTIONNELS 30
IMPACT DE LA FONCTION VENTRICULAIRE DROITE SUR LES CAPACITES FONCTIONNELLES 32

DISCUSSION 35

PARAMETRES DE LA FONCTION VENTRICULAIRE DROITE 35
IMPACT DES PARAMETRES DE LA FONCTION VENTRICULAIRE DROITE SUR LES CAPACITES FONCTIONNELLES 36
FONCTION VENTRICULAIRE DROITE GLOBALE 37
LIMITES DE L'ETUDE 38

CONCLUSION 39

REFERENCES 40

ANNEXES 42

ANNEXE 1. ARTICLE SOUMIS POUR PUBLICATION 42
ANNEXE 2. SERMENT D'HIPPOCRATE 68

ABREVIATIONS

CPET : Épreuve d'effort cardiopulmonaire

ETT : Échocardiographie Transthoracique

FEVD : Fraction d'éjection du ventricule droit

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

IT Vmax : Vitesse maximale du flux d'insuffisance tricuspide

NYHA : New York Health Association

PAPS : Pression Artérielle Pulmonaire Systolique

PSVtdi : Pic de vitesse systolique de l'onde S' à l'anneau tricuspide

SLPLVD : Strain longitudinal de la paroi libre du ventricule droit

TAPSE : Excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide

TDI : Tissue Doppler Imaging

TM6 : Test de marche de six minutes

VD : Ventricule droit

VO_2max : Volume maximal consommé d'oxygène

INTRODUCTION

L'insuffisance cardiaque est une maladie fréquente, touchant 5,7 millions de personnes aux Etats-Unis [1], avec une morbidité et un taux de mortalité élevé. En effet, environ la moitié des patients qui développent une insuffisance cardiaque congestive seront morts à 5 ans du diagnostic [1]. Elle a provoqué plus de 23 000 décès en France en 2010, et dans les pays développés sa prévalence est d'environ 1 à 2 % de la population adulte [2]. La transplantation cardiaque est le traitement de référence de l'insuffisance cardiaque terminale chez une population de patients sélectionnés, présentant peu de comorbidités. Cette chirurgie permet une augmentation significative de la survie, de la capacité d'exercice et une amélioration de la qualité de vie [3], mais elle n'est réservée qu'à des patients sélectionnés car elle garde un risque élevé de complications post-opératoires et de décès.

Bien qu'un des objectifs de la transplantation cardiaque soit d'améliorer les symptômes et les capacités physiques fonctionnelles, ces dernières demeurent altérées chez les patients après une transplantation cardiaque. Leurs valeurs de consommation maximale en oxygène (VO_2 max) ne dépassent pas 60% des valeurs de patients témoins : le ventricule gauche est connu pour avoir un rôle sur cette limitation du fait de la dénervation cardiaque résultant de la chirurgie de transplantation d'un greffon isolé de son innervation extrinsèque, et de la dysfonction ventriculaire gauche [4].

Le ventricule droit (VD) joue un rôle sur les capacités fonctionnelles du patient atteint d'insuffisance cardiaque droite [5], mais l'impact de la fonction systolique du VD sur les capacités fonctionnelles après un succès de transplantation cardiaque n'a été que peu étudié. En raison de sa forme anatomique spécifique qui le rend plus difficile à évaluer que le ventricule gauche, l'examen de référence pour évaluer la fonction ventriculaire droite demeure l'imagerie par résonance magnétique (IRM) cardiaque. Cependant, l'évaluation globale du VD est généralement réalisée par échocardiographie transthoracique (ETT) via de nombreux paramètres qui permettent une estimation de sa fonction, comme la mesure de sa taille (diamètres et surfaces en bidimensionnel), de sa fonction systolique [excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide (TAPSE) et le pic de vitesse systolique de l'onde S' à l'anneau tricuspide en doppler tissulaire (PSVtdi)], et de la pression artérielle pulmonaire systolique (PAPS) [6]. Il est communément admis que certains paramètres d'évaluation

systoliques ventriculaires droits sont diminués sur le long terme chez les greffés cardiaques, mais leur impact réel sur les capacités fonctionnelles de ces patients est inconnu.

L'objectif de cette étude était d'explorer l'impact de la fonction systolique ventriculaire droite évaluée de façon multimodale sur les capacités fonctionnelles après une transplantation cardiaque.

MATERIEL ET METHODES

Population

Quatre-vingt-deux patients âgés de plus de 18 ans ayant bénéficié d'une transplantation cardiaque au CHU de Rangueil, Toulouse, France, entre janvier 2015 et décembre 2017, ont été inclus rétrospectivement dans cette étude. L'étude est conforme aux principes énoncés dans la Déclaration d'Helsinki, et a été approuvée par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés. Tous les patients ont été informés à l'admission que leurs données cliniques pouvaient être utilisées à des fins de recherche.

Design de l'étude

Tous les patients ont été référés au CHU de Rangueil pour leur suivi de routine à 1 et 2 ans après la transplantation cardiaque. Toutes les données comprenant l'examen clinique, l'ETT, l'IRM, l'épreuve d'effort cardiorespiratoire (CPET) et le test de marche de 6 minutes (TM6) ont été recueillies pendant la même période d'hospitalisation.

Échocardiographie transthoracique

L'ETT a été réalisée à l'aide d'équipements échocardiographiques disponibles dans le commerce (Vivid E95 ; GE Vingmed Ultrasounds AS, Horten, Norvège) en utilisant une sonde bidimensionnelle 1,5-4,6 MHz. Des coupes standardisées ont été réalisées, notamment la coupe parasternale court axe et long axe, apicale 4-cavités, apicale 2-cavités, apicale 3-cavités, et la coupe sous costale. Toutes ces données ont été analysées rétrospectivement selon les recommandations échocardiographiques actuelles [7] par un seul opérateur expérimenté à l'aide d'un logiciel médical de post traitement (GE EchoPAC PC Software).

Pour le ventricule gauche, les volumes télédiastoliques et télésystoliques ventriculaires gauches ont été mesurés à partir des vues apicales 4- et 2-cavités. La fraction d'éjection du ventricule gauche a été calculée selon la méthode biplan de Simpson. L'évaluation de la déformation (strain longitudinal global) du ventricule gauche a été réalisée à l'aide de l'analyse du *speckle tracking*.

Pour le ventricule droit, le TAPSE a été mesuré en mode Temps-Mouvement à partir d'une vue apicale 4-cavités en plaçant le volume d'échantillonnage sur la portion latérale de l'anneau tricuspide. Le PSVtdi a été mesuré en mode doppler tissulaire à partir d'un volume

d'échantillon placé sur l'anneau tricuspide latéral en vue apicale 4-cavités. La mesure des diamètres télédiastolique basal, médian et longitudinal à partir de la vue apicale 4-cavités a été effectuée manuellement. Le strain longitudinal de la paroi libre du ventricule droit (SLPLVD) a été mesuré sur une vue apicale 4-cavités en utilisant l'analyse du *speckle tracking*. Le contour endocardique a été tracé manuellement et la région d'intérêt a été générée automatiquement pour inclure tout le myocarde du VD après ajustement de la position et de la largeur si nécessaire. La paroi latérale ventriculaire droite a été divisée en segments basal, médian et apical. Le SLPLVD a été calculé comme la moyenne de ces 3 segments. La vitesse maximale de l'insuffisance tricuspide (IT Vmax) a été mesurée à partir du profil spectral de la fuite tricuspide en vue apicale 4-cavités, ou si elle n'était pas disponible en vue parasternale grand axe modifiée centrée sur le VD. La vitesse trans-tricuspide la plus élevée a été utilisée pour le calcul de la pression systolique ventriculaire droite. La pression systolique de l'artère pulmonaire (PAPS) a été calculée en ajoutant la pression auriculaire droite estimée par l'indice respiratoire de la veine cave inférieure au gradient trans-tricuspide systolique.

Imagerie par résonance magnétique

Une IRM Avanto de 1,5 Tesla (Siemens, Erlangen, Allemagne) équipée d'une bobine à réseau phasé, pour valider l'évaluation ventriculaire droite, a été utilisée. De multiples coupes en court axe, d'une épaisseur de 8 mm et sans distance entre les coupes, couvrant toute la longueur du ventricule droit et du ventricule gauche, ont été obtenues à partir de la base du cœur jusqu'à l'apex. Les boucles cinés ont été examinées à l'aide d'un logiciel semi-automatisé (Argus, Siemens, Erlangen, Allemagne) sur un poste de travail. La mesure des volumes télédiastoliques et télésystoliques du ventricule gauche, des volumes télédiastoliques et télésystoliques du ventricule droit, ainsi que des fractions d'éjection ventriculaire gauche et droite (FEVD) a été effectuée sur chaque séquence ciné court axe, conformément aux recommandations [8].

Epreuve d'effort cardio-pulmonaire

Les CPET ont été réalisées sur une bicyclette ergométrique disponible dans le commerce (Vyntus CPX, Adhesia-The Surgical company, Allemagne) quand la condition physique du patient le permettait. Les patients étaient informés de la nécessité de pédaler à une vitesse constante de 60 tours/minute. Une phase d'échauffement de 3 minutes a été réalisée avec

une charge de travail de 20 W. Ensuite, un protocole d'incrémentation standard a été utilisé à partir de 30 W avec une charge de travail croissante de 10 W/minute jusqu'à ce que la charge maximale tolérée soit atteinte. L'analyse des échanges des gaz respiratoires a été réalisée à l'aide d'un masque paramétré. Le VO_2max a été défini comme étant le VO_2 observé à l'acmé de l'effort, moyenné sur les trente dernières secondes. La valeur absolue et le pourcentage de la valeur théorique du VO_2max ont été recueillis et analysés rétrospectivement par un opérateur unique et expérimenté.

Test de marche de six minutes

Tous les tests de marche de six minutes (TM6) ont été réalisés en intérieur, par des kinésithérapeutes expérimentés selon le protocole standard [9].

Critère de jugement

Le paramètre d'évaluation principal était le résultat des examens fonctionnels comprenant la distance du TM6 (valeur absolue et pourcentage de la théorique) et la mesure du VO_2max (valeur absolue et pourcentage de la théorique) lors du suivi à 1 et 2 ans.

Analyses statistiques

Les variables continues étaient principalement exprimées sous forme de moyenne ± écart-type ou de valeur médiane et d'écart interquartile pour les données non distribuées normalement. Les valeurs nominales ont été exprimées en nombre et en pourcentages. L'association entre les variables continues a été étudiée par l'analyse de corrélation de Spearman et exprimée par le coefficient r, car ces variables n'étaient pas normalement distribuées. L'association entre deux valeurs nominales a été réalisée par un test non paramétrique et exprimée par la valeur du chi carré de Pearson. Les différences ont été jugées statistiquement significatives pour les valeurs $p < 0,05$. Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide d'un logiciel disponible sur le marché (SPSS, version 20, SPSS Inc., Chicago, Illinois, États-Unis).

RESULTATS

Données initiales

Quatre-vingt-deux patients ont bénéficié d'une transplantation cardiaque et ont été inclus rétrospectivement. Les principales caractéristiques de la population sont présentées dans le Tableau 1. L'âge moyen au moment de la transplantation était de 54 ± 14 ans et 60 patients (73 %) étaient des hommes. Parmi les 82 patients, 48 (59 %) ont bénéficié d'une transplantation cardiaque sans dispositif d'assistance cardiaque avant la chirurgie. Le temps d'ischémie froide moyen était de 222 ± 45 minutes et les résistances vasculaires pulmonaires moyennes avant la chirurgie étaient de 1,8 unités Wood. La cardiopathie initiale est représentée dans la Figure 1. Les principales étiologies étaient la cardiopathie ischémique (n=29, 35 %) et la cardiomyopathie dilatée primitive (n=24, 29 %). Les principales caractéristiques des donneurs sont représentées dans le Tableau 2. L'âge moyen du donneur était de 41 ± 16 ans et 59 (72 %) étaient des hommes. Le principal facteur de risque cardiovasculaire des donneurs était le tabagisme chez 40 (49 %) d'entre eux. Le flux de patient est présenté dans la Figure 2.

Paramètres d'imagerie

L'évaluation cardiaque par ETT est présentée dans le Tableau 3. Pour certains patients, nous n'avons pas pu collecter toutes les données échographiques à 1 et 2 ans en raison de la mauvaise fenêtre échographique, et trois patients n'ont pas encore réalisé leur suivi à 2 ans. Le TAPSE moyen était de 15 ± 3 mm à 1 an et également à 2 ans post transplantation. Le PSVtdi moyen était respectivement de 10 ± 3 et 10 ± 2 cm/s à 1 et 2 ans post greffe. De la même manière, le SLPLVD moyen était respectivement à -19 ± 4% et -20 ± 5 % à 1 et 2 ans. L'IT Vmax et la PAPS étaient en moyenne mesurées respectivement à 2,4 ± 0,4 m/s et 29 ± 7 mmHg à 1 an, et 2 ± 0,3 m/s et 30 ± 5 mmHg à 2 ans. Il n'y avait pas de différences significatives entre les valeurs des paramètres ventriculaires droits échographiques à 1 et 2 ans.

L'évaluation cardiaque par IRM est représentée dans le Tableau 4. Vingt-deux patients n'ont pas pu réaliser cet examen en raison de contre-indications médicales telles que l'insuffisance rénale ou la claustrophobie.

A 1 an de suivi, 1 (4%) patient de sexe masculin avait un VD dilaté ainsi qu'une FEVD altérée, tandis que 3 (23%) patients de sexe féminin avaient une FEVD altérée. La moyenne

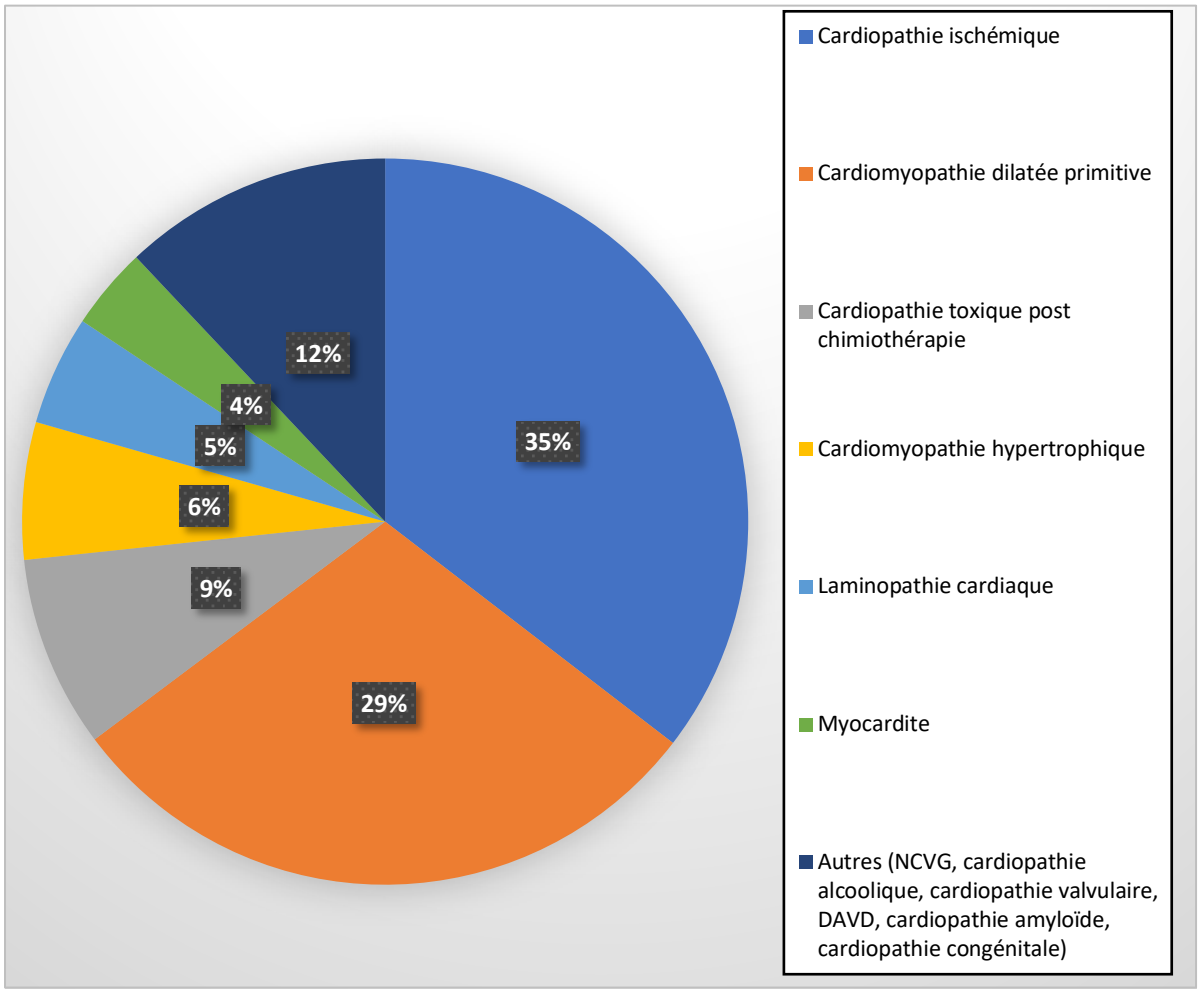
globale de la population était de 130 ± 41 mL pour le volume télédiastolique ventriculaire droit et de 70 ± 18 mL pour le volume télésystolique ventriculaire droit. La FEVD moyenne était de 54 ± 9 %.

Tableau 1. Caractéristiques de la population

	Population totale (n=82)	Valeur
Générales		
Age, années	82	54±14
Indice de Masse Corporelle, kg/m²	82	24.6±4
Hommes, n (%)	82	60 (73)
Femmes, n (%)	82	22 (27)
Surface corporelle, m²	82	1.9±0,2
Cathétérisme cardiaque droit		
PAPS, mmHg	76	40±15
PAPD, mmHg	76	20±8
PAPM, mmHg	77	27±10
PCP, mmHg	77	20±10
Résistances pulmonaires totales, UW	76	1.8±1.1
Gradient transpulmonaire, mmHg	77	6.6±3.6
Débit cardiaque, L/min	76	3.9±1.3
Index cardiaque, L/min/m²	76	2.1±0.6
Chirurgie		
Temps d'ischémie froide, min	82	222±45
Temps de circulation extracorporelle, min	82	54±14
Temps de clampage aortique, min	82	111±27
ECMO post opératoire, n (%)	82	19 (23)
Liste de greffe lors de la chirurgie, n (%)		
Super Urgence type 1	81	48 (59)
Super Urgence type 2	81	10 (12)
Liste interrégionale	81	17 (21)
Liste standard	81	6 (8)
Facteurs de risques cardiovasculaires, n (%)		
Hypertension artérielle	82	13 (16)
Diabète	82	10 (12)
Tabagisme	82	46 (56)
Dyslipidémie	82	18 (22)
Hérédité	82	7 (9)
Alcool	82	8 (10)
Assistance cardiaque avant la chirurgie, n (%)		
Aucune	82	48 (59)
LVAD	82	14 (17)
ECMO	82	19 (23)
BiVAD	82	1 (1)
Biopsie myocardique à 1 mois, n (%)		
Grade 0*	71	26 (37)
Grade 1R*	71	39 (55)
Grade 2R*	71	5 (7)
Rejet humoral	71	1 (1)

BiVAD, dispositif d'assistance biventriculaire; ECMO, membrane d'oxygénation extracorporelle; LVAD, dispositif d'assistance monoventriculaire gauche; PAPD, pression artérielle pulmonaire diastolique; PAPM, pression artérielle pulmonaire moyenne; PAPS, pression artérielle pulmonaire systolique; PCP, pression capillaire pulmonaire.
* Classification de l' International Society of Heart and Lung Transplantation

Figure 1. Cardiopathie initiale



NCVG, non compaction ventriculaire gauche, DAVD, dysplasie arythmogène du ventricule droit

Tableau 2. Caractéristiques principales des donneurs

	Effectif	Valeur
Age, années	82	41±16
Indice de masse corporelle, kg/m²	82	25 ±4.1
Hommes, n (%)	82	59 (72)
Femmes, n (%)	82	23 (28)
Hypertension artérielle, n (%)	82	14 (17)
Diabètes, n (%)	82	3 (4)
Tabagisme, n (%)	82	40 (49)
Dyslipidémie, n (%)	82	1 (1)
Hérédité, n (%)	82	3 (4)
Alcool, n (%)	82	14 (17)

Figure 2. Diagramme de flux de la population

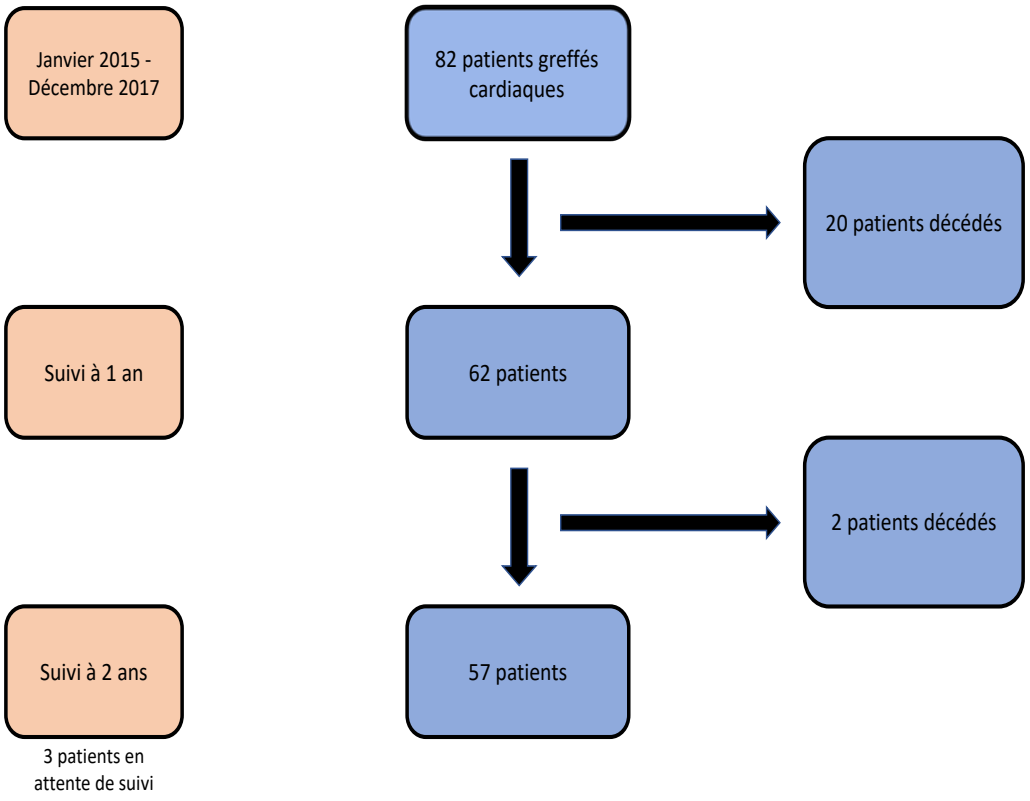


Tableau 3. Paramètres échocardiographiques à 1 et 2 ans

		1 an		2 ans			
Ventricule		Effecti	Valeur	Effectif	Valeur	p value	Seuil d'anormalité*
Ventricule gauche							
	VTDVG, mL	61	98±29	50	96±31	0.925	Inconnu
	VTDVGi, mL/m^2	61	52±13	50	52±15	0.948	<75
	FEVG, %	61	60±7.5	50	61±6	0.285	>55
	SLGVG, %	54	-15±4	43	-16±2	0.09	< -18
Ventricule droit							
	TAPSE, mm	60	15±3	48	15±3	0.142	≥ 16
	PSVtdi, cm/s	56	10± 3	48	10±2	0.541	≥ 10
	Diamètre basal, mm	59	40± 7	48	38±8	0.384	< 42
	Diamètre médian, mm	59	27± 6	48	27±7	0.564	< 35
	Diamètre longitudinal, mm	59	65± 7	48	63±7	0.051	< 86
	SLPLVD, %	48	-19± 4	37	-20±5	0.82	< -20
	IT Vmax, m/sec	42	2.4± 0.4	28	2±0.3	0.643	< 2.8
	PAPS, mmHg	42	29± 7	28	30±5	0.432	< 35

VTDVGi, volumetélédiastolique ventriculaire gauche indexé; VTDVG, volume télédiastolique ventriculaire gauche; FEVG, fraction d'éjection ventriculaire gauche; VG, ventricule gauche; SLG, strain longitudinal global; PSVtdi, pic de vitesse systolique de l'onde S' à l'anneau tricuspide; PAPS, pression artérielle pulmonaire systolique; SLPLVD, strain longitudinal de la paroi libre du ventricule droit ; ITVmax, vitesse maximale du flux d'insuffisance tricuspide; TAPSE, tricuspid annular plan systolic excursion.
* Seuils établis par Rudski *et al.*

Tableau 4. Paramètres évalués en IRM à 1 an et comparaison aux valeurs de normalité selon le genre

		Population totale	Hommes			Femmes		
Ventricule	**Paramètre**	**40 patients**	**27 patients**	**valeurs normales***	**n (%) zone anormale**	**13 patients**	**valeurs normales***	**n (%) zone anormale**
Ventricule gauche	VTDVG, mL	120±35	134±32	109-218	0 (0)	89±17	88-161	0
	VTDVGi, mL/m²	64±16	69±17	60-110	1 (4)	55±10	54-94	0
	VTSVG, mL	49±25	57±25	39-97	1 (4)	34±16	31-68	1 (8)
	VTSVGi, mL/m²	27±13	29±14	21-49	1 (4)	21±11	19-40	1 (8)
	FEVG, %	59±10	58±9	48-69	1 (4)	62±12	51-70	1 (8)
Ventricule droit	VTDVD, mL	130±41	146±39	124-248	0 (0)	97±20	85-168	0
	VTDVDi, mL/m²	70±18	75±19	68-125	1 (4)	60±11	53-99	0
	VTSVD, mL	59±22	66±23	47-123	1 (4)	44±7	27-77	0
	VTDVDi, mL/m²	32±11	34±12	25-63	1 (4)	27±6	17-46	0
	FEVD, %	54±9	54±8	45-65	1 (4)	53±11	47-68	3 (23)

VTDVGi, volume télédiastolique ventriculaire gauche indexé; VTDVG, volume télédiastolique ventriculaire gauche; FEVG, fraction d'éjection ventriculaire gauche; VTSVG, volume télésystolique ventriculaire gauche; VTSVGi, volume télésystolique ventriculaire gauche indexé; VTDVD, volume télédiastolique ventriculaire droit; VTDVDi, volume télédiastolique ventriculaire droit indexé; VTSVD, volume télésystolique ventriculaire droit; VTSVDi, volume télésystolique ventriculaire droit indexé, FEVD, fraction d'éjection ventriculaire droite.
* Seuils établis par Petersen *et al.*

Paramètres fonctionnels

L'analyse des paramètres fonctionnels est représentée dans le Tableau 5. La majorité des patients étaient asymptomatiques soit en stade 1 de la classification de la New York Health Association (NYHA). Nous avons constaté une amélioration du stade NYHA avec le temps, avec plus de patients au stade 1 à 2 ans qu'à 1 an (p=0,0001) de suivi post greffe. 22 (35%) et 29 (47%) patients n'ont pu réaliser respectivement la CPET et le TM6 à 1 an de suivi, principalement en raison du déconditionnement physique et de l'altération sensitivomotrice séquellaire des suites de réanimation de la période post chirurgicale. A 2 ans de suivi, ces chiffres étaient respectivement de 23 (40%) et 33 (57%) patients. Trois patients n'ont pas encore atteint leur suivi à 2 ans à ce jour.

Les paramètres de CPET étaient meilleurs à 2 ans de suivi, avec une augmentation significative du pourcentage de la théorique du VO_2max (p=0,03), du pic de fréquence cardiaque (p=0,002), du pourcentage de la fréquence cardiaque maximale théorique (p=0,001) et du pourcentage du VO_2 au premier seuil ventilatoire (p=0,024). La valeur absolue

moyenne du VO_2max n'était pas différente significativement à 2 ans comparée à 1 an (17 ± 5 contre 16 ± 5 mL/min/kg, p=0,252).

Une amélioration significative a été observée concernant la distance parcourue lors du TM6 réalisé à 2 ans par rapport à 1 an de suivi, avec une distance moyenne respective de 514 ± 115 mètres contre 465 ± 130 mètres (p=0,038).

Tableau 5. Paramètres fonctionnels évalués à 1 et 2 ans

	1 an		2 ans		
Paramètre	**Effectif**	**Valeur**	**Effectif**	**Valeur**	**p value**
Stade NYHA, n (%)	62		50		
1		38 (61)		41 (82)	0.0001
2		21 (34)		8 (16)	0.0001
3		3 (5)		1 (2)	1
4		0 (0)		0 (0)	
Test de marche de 6 minutes	33		24		
Distance, m		465± 130		514± 115	0.038
Pourcentage de la distance maximale théorique, %		65± 16		71± 15	0.043
Epreuve d'effort cardiopulmonaire	40		34		
VO_2max, mL/min/kg		16± 5		16.7± 4.9	0.252
Pourcentage du VO_2max théorique, %		54± 17		58± 18	0.03
FMT, bpm		117± 20.5		121± 22.7	0.002
Pourcentage FMT, %		68± 12.5		71± 15	0.001
Charge maximale, Watt		96± 30		101± 35	0.084
Pourcentage de la charge maximal théorique, %		62± 22		68± 25	0.084
Seuil aérobie, mL/min/kg		9.7± 3		10.5± 2.7	0.173
Pourcentage de la théorique du premier seuil ventilatoire, %		33± 11		36± 10	0.024
Pente VE/VCO_2, %		37.4± 6.3		36.1± 5.8	0.4
QR		1.23± 0.13		1.16± 0.15	0.162
Pouls d'O_2, mL		10.1± 3.5		10.4± 3.2	0.336
Pourcentage du pouls d'O_2 maximal théorique, %		77.5± 19		80.5± 17	0.499

NYHA, New York Health Association; FMT, fréquence cardiaque maximale théorique; QR, quotient respiratoire; VO2, volume d'O2 consommé.

Impact de la fonction ventriculaire droite sur les capacités fonctionnelles

L'analyse de l'impact de la fonction ventriculaire droite sur les capacités fonctionnelles est présentée dans le Tableau 6.

Il y avait une corrélation significative entre le PSVtdi et la distance absolue du TM6 à 1 an post transplantation (r=0,426, p=0,017 ; Figure 3). Il y avait également une corrélation entre la FEVD mesurée par IRM cardiaque et le pourcentage de la théorique du TM6 (r=0,410, p=0,027 ; Figure 4) à 1 an.

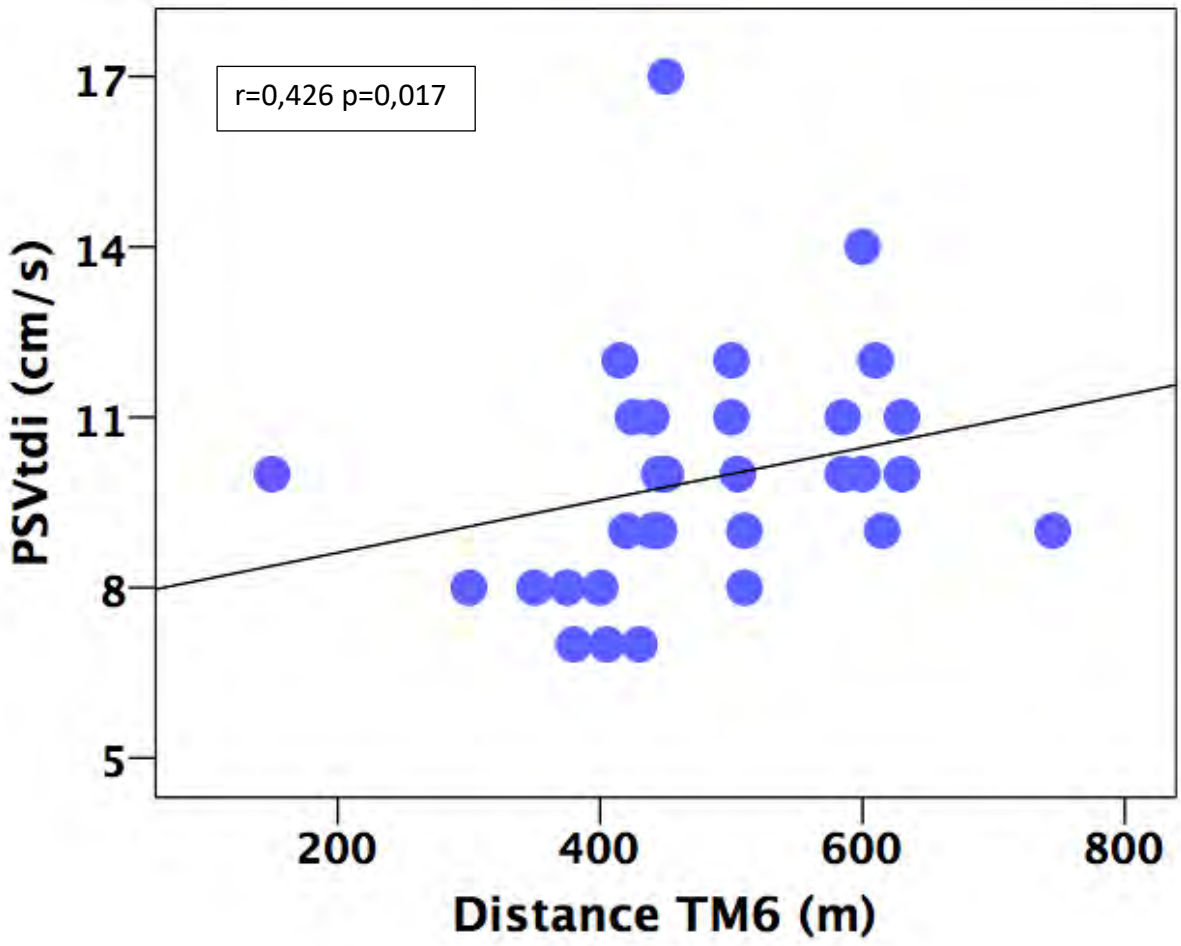
Aucune autre corrélation significative entre le TM6, le VO_2max et les paramètres VD n'a été retrouvée lors des suivis à 1 et 2 ans.

Table 6. Analyse de corrélation entre les paramètres ventriculaires droits et les capacités fonctionnelles à 1 et 2 ans

	TM6, m		**Distance maximale théorique duTM6, %**		**VO2max, ml/min/kg**		**VO2max théorique, %**	
	coefficient r	p value	coefficient r	p value	coefficient r	p value	coefficient r	p value
ETT 1 an								
TAPSE, mm	0,162	0,376	0,031	0,866	0,041	0,371	0,047	0,776
PSVtdi, cm/s	0,426	0,017	0,206	0,266	0,147	0,371	0,003	0,984
SLPLVD, %	-0,093	0,652	-0,139	0,498	0,269	0,143	0,199	0,284
Diamètre basal, mm	0,103	0,582	-0,227	0,219	0,206	0,215	0,143	0,39
Diamètre médian, mm	0,228	0,216	0,077	0,679	0,243	0,142	0,1	0,552
Diamètre longitudinal, mm	-0,031	0,87	-0,141	0,45	0,168	0,314	-0,073	0,665
ETT 2 ans								
TAPSE, mm	0,162	0,448	0,319	0,129	-0,022	0,905	0,241	0,176
PSVtdi, cm/s	0,007	0,974	0,275	0,203	0,107	0,559	0,232	0,202
SLPLVD, %	-0,054	0,836	0,031	0,906	0,182	0,394	-0,073	0,735
Diamètre basal, mm	0,138	0,53	-0,048	0,829	0,225	0,216	0,196	0,281
Diamètre médian, mm	0,13	0,556	-0,024	0,912	0,315	0,079	0,189	0,301
Diamètre longitudinal, mm	0,294	0,174	0,145	0,51	0,115	0,53	0,057	0,755
IRM cardiaque 1 an								
FEVD, %	0,299	0,115	0,41	0,027	-0,106	0,577	0,131	0,49

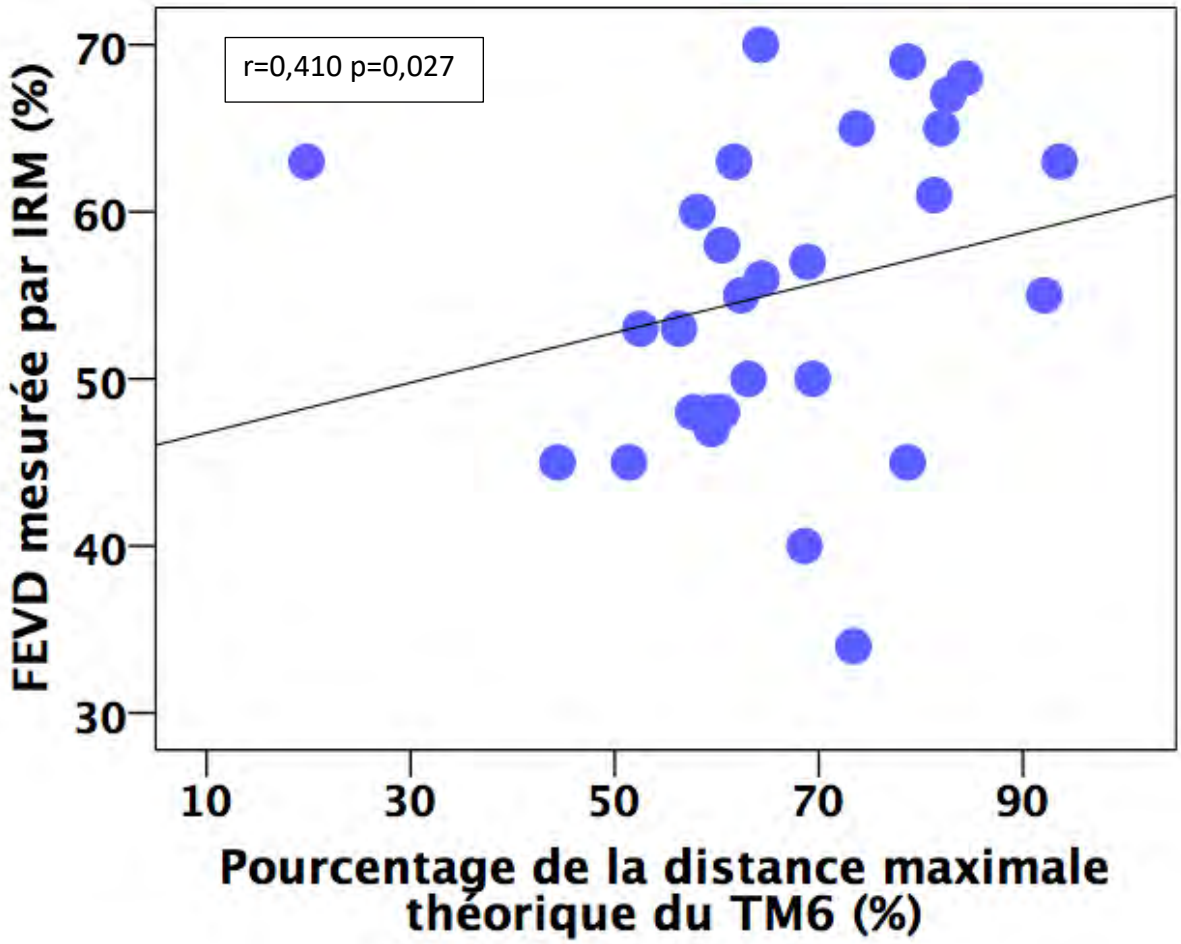
ETT, échocardiographie transthoracique ; PSVtdi, pic de vitesse systolique de l'onde S' à l'anneau tricuspide; SLPLVD, strain longitudinal de la paroi libre du ventricule droit; TAPSE, excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide; IRM, imagerie par résonance magnétique ; FEVD, fraction d'éjection ventriculaire droite

Figure 3. Courbe de corrélation entre l'onde S' à l'anneau tricuspide mesurée par ETT et la distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes à 1 an de la transplantation cardiaque



PSVtdi, pic de vitesse systolique de l'onde S' à l'anneau tricuspide ; TM6, test de marche de 6 minutes.

Figure 4. Courbe de corrélation entre la FEVD mesurée à l'IRM cardiaque et le pourcentage théorique de la distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes à 1 an de la transplantation cardiaque



FEVD, fraction d'éjection ventriculaire droite ; TM6, test de marche de 6 minutes

DISCUSSION

Cette étude montre que les paramètres longitudinaux du VD mesurés en ETT sont globalement altérés après une transplantation cardiaque, tandis que la FEVD en IRM cardiaque reste préservée. De manière simultanée, les capacités fonctionnelles des patients transplantés cardiaques sont diminuées à 1 an de la transplantation, mais ont tendance à s'améliorer avec le temps, alors que les paramètres échographiques longitudinaux ventriculaires droits demeurent altérés. L'impact du VD sur les capacités fonctionnelles des greffés est faible, mais le PSVtdi en ETT et la FEVD mesurée par IRM sont 2 paramètres corrélés avec la distance du TM6 à un an après la transplantation cardiaque et pourraient donc être à prioriser lors du suivi des patients transplantés cardiaques.

Paramètres de la fonction ventriculaire droite

La fonction systolique longitudinale ventriculaire droite était globalement altérée dans notre population de patients ayant bénéficié d'une transplantation cardiaque par rapport aux valeurs de référence [6] lors du suivi à 1 et 2 ans.

Ces résultats concordent avec ceux de l'étude d'Ingvarsson *et al*. sur les paramètres longitudinaux ventriculaires droits de 124 patients ayant bénéficié d'une transplantation cardiaque, qui retrouvait des valeurs altérées de TAPSE (15 ± 4 mm), de PSVtdi (10 ± 6 cm/s) et de SLPLVD (-17 ± 4,2%) [10] . Nous avons trouvé des résultats similaires à ceux de Simsek *et al.* qui ont décrit sur 43 patients transplantés cardiaques en 2017 une altération des paramètres longitudinaux mais une FEVD préservée quantifiée par IRM [11]. La physiopathologie de ces modifications de la fonction longitudinale du VD n'est pas encore bien établie. Chez le VD du sujet sain, la majorité de la fonction systolique se fait par contraction longitudinale [12] .

Plusieurs hypothèses concernant différents facteurs ont été testées pour expliquer l'altération des paramètres longitudinaux du transplanté cardiaque, comme le temps d'ischémie total [13] qui pourrait conduire à des lésions myocardiques notamment sur le VD et causer une dysfonction systolique longitudinale. Cependant, le dysfonctionnement longitudinal du VD est également connu chez des patients qui n'ont pas eu de transplantation cardiaque mais d'autres types de chirurgies cardiaques [14]. Une autre hypothèse était la cardioplégie, et en particulier son mode d'administration, avec l'utilisation d'une cardioplégie rétrograde qui était soupçonnée de diminuer la perfusion myocardique du VD [14]. Cependant,

il a déjà été mis en évidence une légère atteinte de la fonction ventriculaire droite longitudinale chez des patients ayant bénéficié d'une transplantation pulmonaire sans circulation extracorporelle [12], et donc sans cardioplégie. Il apparait donc peu probable que ces facteurs puissent expliquer à eux seuls cette dysfonction longitudinale. L'altération irréversible de la fonction longitudinale du VD (mesurée par le PSVtdi) semblait se produire dans les 3 premières minutes suivant l'incision péricardique chez des patients qui avaient bénéficié d'une chirurgie cardiaque à type de pontage aorto-coronarien [15]. L'explication physiopathologique envisagée est l'épaisseur moins importante de la paroi libre ventriculaire droite, qui est ainsi plus sensible à la pression transmurale. Lors de l'incision péricardique, la contrainte péricardique du VD générée par les feuillets du péricarde est abaissée, entraînant une augmentation de la pression transmurale et donc du stress de la paroi libre, causant une lésion myocardique qui pourrait modifier instantanément le comportement de contraction du VD, avec une baisse de la fonction contractile longitudinale compensée par une augmentation de sa contraction radiale.

Malgré ce dysfonctionnement longitudinal du ventricule droit évalué par ETT dans notre étude, la FEVD évaluée par IRM demeure préservée, en comparaison aux valeurs établies par Petersen *et al.* sur des patients sains [16] . Ainsi, notre étude soutient l'hypothèse de changements géométriques et de modalités de contraction plutôt que d'altérations réelles des capacités de contraction du VD après une transplantation cardiaque.

Impact des paramètres de la fonction ventriculaire droite sur les capacités fonctionnelles

L'un des objectifs principaux de la transplantation cardiaque est d'améliorer le statut fonctionnel et les capacités physiques des patients atteints d'insuffisance cardiaque. Pour les patients sans cardiopathie sous-jacente, les capacités fonctionnelles évaluées par le VO_2max ont déjà été reliées à la fonction ventriculaire droite par le SLPLVD [17]. La capacité fonctionnelle des patients transplantés cardiaques est altérée avec des valeurs de VO2max qui ne dépassent pas 60% de la valeur théorique comparé à des patients contrôles sains, après ajustement sur l'âge, et ayant un niveau d'activité similaire, à 1 an après la chirurgie [4] . Les causes évoquées sont multifactorielles, incluant des facteurs centraux (le greffon cardiaque et la capacité pulmonaire) et des facteurs périphériques (muscles). Les principaux déterminants cardiaques

de cette différence fonctionnelle sont l'incompétence chronotrope due à la dénervation du greffon et la dysfonction diastolique ventriculaire gauche [4].

Dans notre étude, les valeurs de VO_2max et la distance parcourue lors du TM6 de nos patients transplantés étaient globalement altérées à la visite de suivi à 1 et 2 ans. Malgré une amélioration globale du statut NYHA, du pourcentage de la théorique du VO_2max, et de la distance parcourue lors du TM6, nous avons montré qu'il n'y avait qu'une faible corrélation avec la fonction ventriculaire droite et les paramètres fonctionnels. En effet, hormis une association entre la distance du TM6 à 1 an avec le PSVtdi et la FEVD par IRM cardiaque, nous n'avons pas trouvé d'impact des autres paramètres ventriculaires droits à 1 et à 2 ans post-transplantation.

Très peu d'études ont évalué l'impact de la fonction du VD sur les capacités fonctionnelles des patients transplantés cardiaques. En 2013, D'Andrea *et al.* n'ont pas trouvé de corrélation entre les facteurs longitudinaux du VD et les paramètres fonctionnels évalués par le VO_2max chez 71 patients transplantés cardiaque. Cependant, la FEVD tridimensionnelle échographique dans ce travail était bien corrélée au pourcentage de la théorique du VO_2max, et était un facteur prédictif indépendant des capacités fonctionnelles après ajustement de l'analyse [18].

A tout cela s'ajoute la complexité de la définition même des capacités fonctionnelles et de son évaluation chez les greffés cardiaques. Il a été démontré qu'il n'existait pas de bonne corrélation entre les capacités fonctionnelles réelles (évaluées par le nombre d'équivalent métabolique et le temps d'exercice lors d'un test d'effort) et la sensation de bien-être et la qualité de vie globale des greffés cardiaques [19].

Fonction ventriculaire droite globale

L'évaluation de la fonction du VD par ETT chez les patients transplantés cardiaques demeure complexe. Tout d'abord, en raison de la variabilité de la fenêtre échographique dans cette population. De plus, la position antérieure du ventricule droit dans la cage thoracique ainsi que son anatomie triangulaire en coupe longitudinale ou sa forme en croissant en vue transversale rendent son évaluation plus difficile, contrairement à la forme ellipsoïdale du ventricule gauche. Une autre caractéristique importante du VD est la présence d'un réel infundibulum qui sépare les valves tricuspide et pulmonaire, rendant la mesure des volumes plus complexe en raison de la difficulté d'évaluer cette zone en deux dimensions par ETT [20].

L’échographie tridimensionnelle est plus adaptée pour une évaluation plus précise du VD, notamment après une chirurgie cardiaque [7], mais c'est une méthode plus longue, nécessitant des opérateurs expérimentés et des appareils munis des sondes d'échocardiographie plus sophistiquées et couteuses.

Tous ces éléments rendent l'évaluation du VD par ETT plus complexe chez le greffé cardiaque, et rendent difficile la définition d’intervalles de normalité et de valeurs seuils appropriées. Il est donc recommandé dans cette population de prioriser la cinétique d’évolution globale des paramètres ventriculaires droits et de les comparer entre eux au cours du suivi plutôt que de se concentrer sur leurs valeurs absolues à chaque examen. Il est donc indiqué de réaliser une ETT complète à 6 mois post transplantation pour obtenir les paramètres de base qui serviront de référence pour les comparaisons ultérieures [21].

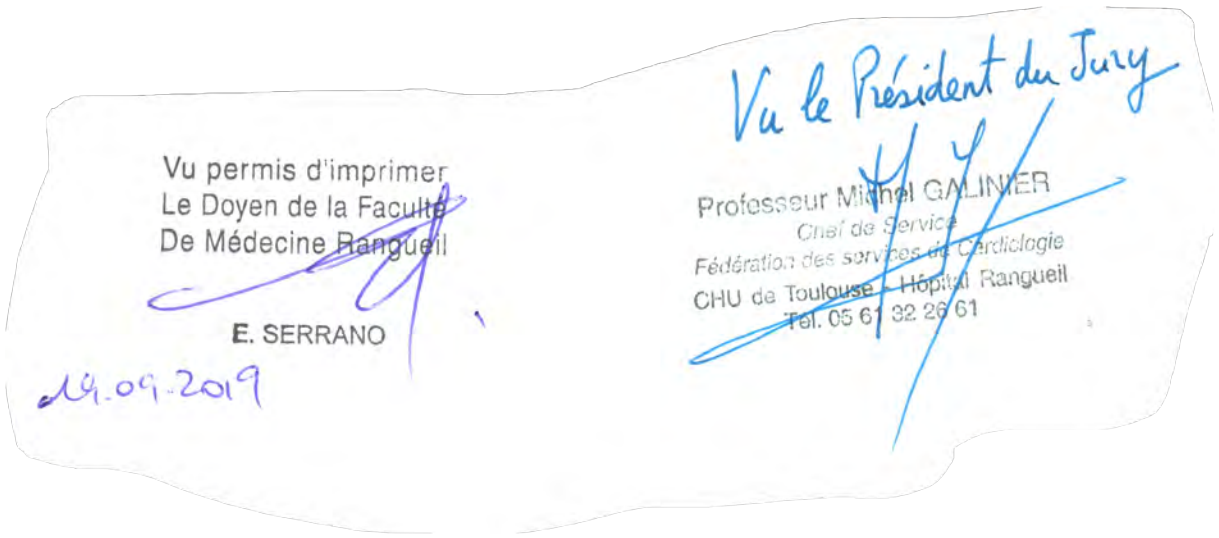
Puisque le dysfonctionnement longitudinal ventriculaire droit après une transplantation cardiaque n’a que peu d'impact sur les capacités fonctionnelles à long terme, les questions suivantes méritent d’être posées : Le dysfonctionnement longitudinal ventriculaire droit après une transplantation cardiaque est-il une réelle entité anormale ? Ne devrions-nous pas redéfinir les plages normales des paramètres bidimensionnels du ventricule droit après une transplantation cardiaque ?

Limites de l’étude

Notre étude comporte toutes les limites associées aux études rétrospectives monocentriques et menées sur un échantillon limité de patients. Un nombre important de patients n'a pas pu effectuer certains des examens composant notre critère d'évaluation au cours du suivi. En outre, les résultats de la CPET peuvent avoir été différents selon les opérateurs qui ont effectué l’examen et qui ont pu appliquer des protocoles différents. De plus, notre évaluation fonctionnelle se situait dans la première et la deuxième année suivant la transplantation cardiaque, qui peuvent être potentiellement des périodes compliquées dans cette population et ne représentent pas nécessairement une stabilité clinique. Certains d'entre eux ont eu de longues histoires de réanimation, et donc de déconditionnement physique, voire de séquelles motrices et sensitives, qui sont autant de facteurs confondants des capacités fonctionnelles. Cela pourrait expliquer le fait que certains patients n'ont pas pu effectuer un test cardio-pulmonaire maximal et que d'autres patients n’ont pas pu réaliser ces tests parce qu'ils n'étaient pas capables de les exécuter.

CONCLUSION

Les patients ayant bénéficié d'une transplantation cardiaque ont une fonction systolique longitudinale ventriculaire droite altérée après la greffe, tandis que la FEVD à l'IRM cardiaque reste préservée, sans impact sur le VO2max. Il y a une faible corrélation entre le TM6 et la fonction systolique du VD évaluée par le PSVtdi et la FEVD à 1 an après la transplantation, qui n'est plus retrouvée à 2 ans. Compte tenu de ces résultats, il convient de redéfinir les seuils de normalité des paramètres ventriculaires droits évalués par ETT chez les patients transplantés cardiaques.



RÉFÉRENCES

1. Writing Group Members *et al.* Heart Disease and Stroke Statistics-2016 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation* **133**, e38-360 (2016).

2. Article - Bulletin épidémiologique hebdomadaire. Available at: http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2014/21-22/2014_21-22_3.html. (Accessed: 28th July 2019)

3. Ponikowski, P. *et al.* 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC)Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur. Heart J.* **37**, 2129–2200 (2016).

4. Marconi, C. & Marzorati, M. Exercise after heart transplantation. *European Journal of Applied Physiology* **90**, 250–259 (2003).

5. Ozdemirel, T. S. *et al.* Effects of right ventricular dysfunction on exercise capacity and quality of life and associations with serum NT-proBNP levels in COPD: an observational study. *Anadolu kardiyoloji dergisi : AKD = the Anatolian journal of cardiology* **14**, 370–377 (2014).

6. Rudski, L. G. *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* **23**, 685–713; quiz 786–788 (2010).

7. Lang, R. M. *et al.* Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography* **28**, 1-39.e14 (2015).

8. Tandri, H. *et al.* Normal reference values for the adult right ventricle by magnetic resonance imaging. *Am. J. Cardiol.* **98**, 1660–1664 (2006).

9. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **166**, 111–117 (2002).

10. Ingvarsson, A. *et al.* Normal Reference Ranges for Transthoracic Echocardiography Following Heart Transplantation. *Journal of the American Society of Echocardiography* **31**, 349–360 (2018).

11. Simsek, E. *et al.* Assessment of right ventricular systolic function in heart transplant

patients: Correlation between echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging. Investigation of the accuracy and reliability of echocardiography. *Echocardiography* **34**, 1432–1438 (2017).

12. Raina, A., Vaidya, A., Gertz, Z. M., Chambers, S. & Forfia, P. R. Marked changes in right ventricular contractile pattern after cardiothoracic surgery: Implications for post-surgical assessment of right ventricular function. *The Journal of Heart and Lung Transplantation* **32**, 777–783 (2013).

13. Ahlgren, B., Puskas, F. & Seres, T. Total ischemia time alters the longitudinal and circumferential shortening of the right ventricle in transplanted hearts. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* **15**, 163–168 (2011).

14. Garcia Gigorro, R. *et al.* Evaluation of right ventricular function after cardiac surgery: The importance of tricuspid annular plane systolic excursion and right ventricular ejection fraction. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **152**, 613–620 (2016).

15. The right ventricular annular velocity reduction caused by coronary artery bypass graft surgery occurs at the moment of pericardial incision | Elsevier Enhanced Reader. doi:10.1016/j.ahj.2009.11.013

16. Petersen, S. E. *et al.* Reference ranges for cardiac structure and function using cardiovascular magnetic resonance (CMR) in Caucasians from the UK Biobank population cohort. *J Cardiovasc Magn Reson* **19**, 18 (2017).

17. Chang, W.-T., Liu, Y.-W., Liu, P.-Y., Hsu, C.-H. & Tsai, W.-C. The association between right ventricular free wall strain and exercise capacity for health check-up subjects. *PLoS ONE* **12**, e0173307 (2017).

18. D'Andrea, A. *et al.* Right heart morphology and function in heart transplantation recipients. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)* **14**, 648–658 (2013).

19. Buendía, F. *et al.* Relationship Between Functional Capacity and Quality of Life in Heart Transplant Patients. *Transplantation Proceedings* **43**, 2251–2252 (2011).

20. Haddad François, Hunt Sharon A., Rosenthal David N. & Murphy Daniel J. Right Ventricular Function in Cardiovascular Disease, Part I. *Circulation* **117**, 1436–1448 (2008).

21. Badano, L. P. *et al.* European Association of Cardiovascular Imaging/Cardiovascular Imaging Department of the Brazilian Society of Cardiology recommendations for the use of cardiac imaging to assess and follow patients after heart transplantation. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging* **16**, 919–948 (2015).

ANNEXES

Annexe 1. Article soumis pour publication

ECHOCARDIOGRAPHY
A Journal of Cardiovascular Ultrasound and Allied Techniques

IMPACT OF RIGHT VENTRICULAR SYSTOLIC FUNCTION ON EXERCISE CAPACITY AFTER A HEART TRANSPLANTATION

Journal:	*Echocardiography*
Manuscript ID	Draft
Wiley - Manuscript type:	Original Investigation
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Verset, Lucas; Hôpital de Rangueil, Cardiology Lavie Badie, Yoan; Hopital de Rangueil, Cardiology Guitard, Joëlle; Hôpital de Rangueil, Nephrology Delmas, Clément; Hôpital de Rangueil, Cardiology Biendel-Picquet, Caroline; Hopital de Rangueil, Cardiology Cazalbou, Stéphanie; Hopital de Rangueil, Cardiology Cariou, Eve; Hopital de Rangueil, Cardiology Carrie, Didier; Hôpital de Rangueil Galinier, Michel; Hopital de Rangueil, Cardiology Lairez, Olivier; Hopital de Rangueil, Cardiology; Hopital de Rangueil, Nuclear Medicine Fournier, Pauline; Hopital de Rangueil, Cardiology
Keywords:	Heart transplantation, Right ventricle, Echocardiography, Exercise tolerance, Cardiac magnetic resonance imaging

SCHOLARONE™
Manuscripts

Editor-In-Chief *Echocardiography* Toulouse, September 21, 2019.

Dear Navin C. Nanda,

Enclosed please find your consideration our manuscript entitled "**Impact of right ventricular systolic function on exercise capacity after a heart transplantation"** as an original paper.

On behalf of my co-authors, I am submitting the enclose material for possible publication in *International Journal of Cardiology.* All authors have participated in the work and have reviewed and agree with the content of the article. None of the article contents are under consideration for publication in any other journal or have been published in any journal. No portion of the text has been copied from other material in the literature (unless in quotation marks, with citation). I am aware that it is the authors responsibility to obtain permission for any figures or tables reproduced from any prior publications, and to cover fully any costs involved. Such permission must be obtained prior to final acceptance.

The **major findings** of our study are that **right ventricular longitudinal systolic function** after a heart transplantation is **impaired**, as the exercise capacity of the heart transplant recipients. However, there is only a **weak correlation** of right ventricular systolic function on **exercise capacity** at 1 year after the heart transplantation (for the peak systolic S' wave tricuspid annular velocity measured by echocardiography and the right ventricular ejection fraction measured by cardiac magnetic resonance imaging), and there is **no correlation at 2 years**. We believe these findings may help for the heart transplant recipients **follow up.**

We are looking forward to your response.

Best regards.

Pauline Fournier, MD
Head of Toulouse University Hospital Heart Failure Department
Rangueil Hospital CHU Toulouse FRANCE

ABSTRACT

BACKGROUND

Right ventricular (RV) systolic function is commonly decreased in heart transplant recipients (HTR) but its impact on exercise capacity remains unknown. We sought to retrospectively assess the impact of RV systolic function on exercise capacity after a heart transplantation.

METHODS

Eighty-two HTR underwent multimodal imaging evaluation including transthoracic echocardiography (TTE), cardiac magnetic resonance imaging (CMR) and exercise capacity assessment by six-minute walking test (6MWT) and cardiopulmonary exercise testing (CPET) for their 1 and 2-years follow up workup.

RESULTS

TTE RV longitudinal systolic function including tricuspid annular plan systolic excursion (TAPSE), peak systolic S' wave tricuspid annular velocity (PSVtdi) and RV free wall longitudinal strain were decreased at 1 year (respectively 15±3 mm, 10±3 cm/s and -19±5 %) and 2 years (respectively 15±3mm, 10±2 cm/s and -20±5 %) with no significant difference between both evaluations, meanwhile RV ejection fraction (RVEF) was preserved (54±9%). Mean percentage of predicted peak oxygen consumption and 6MWT distance were altered, but were improving between 1 and 2 years (respectively 54±17 vs 58±18%, p=0.03 and 456±130m vs 514±115 m, p=0.038). PSVtdi was correlated with 6MWT distance (r=0.426, p=0.017) and RVEF with the predicted distance at 6MWT (r=0.410, p=0.027) at 1-year follow up.

CONCLUSIONS

Despite decrease values, RV longitudinal systolic function have a weak impact on exercise capacity of HTR. PSVtdi and RVEF are the most valuable parameters to assess the impact of RV systolic function on exercise capacity during the follow up. These results might drive to redefine normal threshold of RV systolic function in HTR.

KEY WORDS: Heart transplantation, right ventricle, echocardiography, exercise tolerance, cardiac magnetic resonance imaging

IMPACT OF RIGHT VENTRICULAR SYSTOLIC FUNCTION ON EXERCISE CAPACITY AFTER A HEART TRANSPLANTATION

Running Tittle: Right ventricle and heart transplantation

Authors and affiliations:

Lucas Verset, MD [a,b] ; Yoan Lavie-Badie, MD [a,b,c] ; Joëlle Guitard, MD [e,f] ; Clément Delmas, MD [a,d,g] ; Caroline Biendel-Picquet, MD [a,d,g] ; Stéphanie Cazalbou, MD [a,b] ; Eve Cariou, MD [a,b] ; Didier Carrié, MD, PhD[a,b,e] ; Michel Galinier, MD, PhD [a,b,d] ; Olivier Lairez, MD, PhD[a,b,c,e,] and Pauline Fournier, MD[a,b]

a - Department of Cardiology, Rangueil University Hospital, Toulouse, France

b - Cardiac Imaging Center, Toulouse University Hospital, France

c - Department of Nuclear Medicine, Rangueil University Hospital, Toulouse, France

d- Medical School of Rangueil, University Paul Sabatier, Toulouse, France

e - Medical School of Purpan, University Paul Sabatier, Toulouse, France

f - Department of Nephrology and organ transplantations, Rangueil University Hospital, France

g - Intensive Care Unit of Cardiology, Rangueil University Hospital, Toulouse, France

Corresponding author:
Pauline Fournier, MD
Department of Cardiology
Toulouse University Hospital
1, avenue Jean Poulhès,
TSA 50032,
31059 Toulouse Cedex 9
France
Email: fournier.p@chu-toulouse.fr
Phone: + 33 5 61 32 20 80
Fax: + 33 5 61 32 22 77

Disclosure of funding: This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Declarations of interest: none

ABBREVIATIONS LIST

CMR: Cardiac magnetic resonance imaging

CPET: Cardiopulmonary exercise testing

LV: Left ventricle

NYHA: New York Health Association

RVEF: Right ventricular ejection fraction

RV: Right ventricular

RVFWLS: Right ventricular free wall longitudinal strain

PSVtdi: Peak systolic tricuspid annular plane velocity

TR Vmax: Peak tricuspid regurgitation velocity

TAPSE: Tricuspid annular plane systolic excursion

TTE: Transthoracic echocardiography

VO2 peak: Peak oxygen consumption

INTRODUCTION

Heart failure is a common disease, affecting 5.7 million people in the United States, and having a high morbidity and mortality rate. About half of patients who develop heart failure die within 5 years of diagnosis [1]. In developed country, its prevalence is approximately 1 - 2 % of the adult population [2]. Heart transplantation is the gold standard treatment for end-stage heart failure for a selected population of young patients with few comorbidities. This surgery allows a significant increase in survival, exercise capacities and quality of life [2]. However, it is reserved to selected patients and presents a high risk of post-operative complications and death.

Although the goal of heart transplantation is to improve symptoms and functional morbidities, exercise capacities remains altered in heart transplanted patients. Their peak oxygen consumption (VO_2 peak) values do not exceed 60% of control patients values and the left ventricle is known to have a role on this limitation by cardiac denervation and left ventricular dysfunction [3].

The right ventricle plays an important role on the exercise capacity for patients with right heart failure [4] but interestingly the impact of the right ventricular systolic function on exercise capacity after a successful heart transplantation has barely been investigated. Because of its specific anatomical shape making it harder to evaluate than the left ventricle, the gold standard exam to assess the right ventricular function remains the cardiac magnetic resonance imaging (CMR) but global right ventricular evaluation is commonly done by transthoracic echocardiography (TTE) with numerous parameters estimating its function, such as the measurement of RV size (2 dimensional diameters and surfaces), RV longitudinal systolic function [tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) and peak systolic tricuspid annular plane velocity (PSVtdi)] and pulmonary artery systolic pressure [5]. These parameters are known to be decreased in long-term heart transplant recipients [6] but their real impact on exercise capacity are unknown.

The aim of this study was to explore the impact of right ventricular systolic function assessed by a multimodal imaging on exercise capacity after heart transplantation.

METHODS

Study Population

Eighty-two consecutive adult patients who underwent a heart transplantation at the Rangueil University Hospital, Toulouse, France, between January of 2015 and December of 2017, were retrospectively enrolled in this study. The study was approved by our institutional review board. The investigation conforms with the principles outlined in the Declaration of Helsinki. All patients were informed at the admission that their clinical data could be used for research purpose. The study was approved by the French Data Protection Authority (*Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés*).

Study design

All the patients were referred for their follow-up workup at 1 year and 2 years after heart transplantation. All data including clinical examination, TTE, CMR, cardiopulmonary exercise testing (CPET) and 6-minute walking test (6MWT) were collected during the same hospitalization time.

Transthoracic echocardiography

TTE was performed with commercially available equipment (Vivid E95; GE Vingmed Ultrasounds AS, Horten, Norway) using a 2-dimensional 1.5-4.6 MHz probe. Specific views included parasternal short axis and long axis, apical-four chamber, two-chamber and three-chamber, and subcostal view were realized. All these data were retrospectively analyzed according to the TTE recommendations for heart transplant recipients [7] by a single experimented operator using a medical software (GE EchoPAC PC Software).

For the left ventricle (LV), end-diastolic left ventricle and end-systolic left ventricle volumes were measured from apical four-chamber and two-chamber views. Left ventricle ejection fraction was calculated using Simpson's biplane method. Left ventricle global longitudinal strain was assessed using the speckle tracking analyze.

For the right ventricle, the TAPSE was obtain by M-mode tracing from apical four chamber view. The pulsed TDI of the tricuspid annular plane was collected from a sample volume placed on the lateral tricuspid annulus from apical four-chamber view. The PSVtdi and the S' wave integral time-velocity were then manually measured. Measurement of the basal, middle and

longitudinal diameters from the apical four-chamber view at end diastole were manually made. The right ventricular free wall longitudinal strain (RVFWLS) was measured in the apical four-chambers view using the speckle tracking analyze. The endocardial border was traced manually and the region of interest was generated automatically to include the entire right ventricular myocardium after adjustment of position and width if necessary. The lateral right ventricular free wall was divided into basal, middle and apical segments. RVFWLS was calculated as the average of the 3 segments. Peak tricuspid regurgitation velocity (TR Vmax) was measured from the spectral profile of the tricuspid regurgitation in the apical four-chamber view, or if not available in the parasternal long-axis view of the right ventricular inflow tract. The highest transvalvular velocity was used for calculation of right ventricular systolic pressure. Pulmonary artery systolic pressure was calculated by adding right atrial pressure as estimated by the inferior vena cava respiratory index to the systolic transtricuspid gradient.

Cardiac magnetic resonance

A 1.5 Tesla Avanto MRI (Siemens, Erlangen, Germany) equipped with a phased-array coil, to validate right ventricular assessment, was used. Multiple short-axis slices, slice thickness of 8 mm and no interslice distance, covering the entire length of the right and left ventricle were obtained starting from the base of the heart to the apex. The cine loops were reviewed using a semi-automated software (Argus, Siemens, Erlangen, Germany) in a workstation. Measurement of left ventricular end-diastolic and end-systolic volumes, left ventricular ejection fraction, right ventricular end-diastolic and end-systolic volumes, and right ventricular ejection fraction (RVEF) were made using short axis slices and following the recommendations [8].

Cardiopulmonary exercise test

Symptom-limited bicycle ergometry testing on a commercially available equipment (Vyntus CPX, Adhesia-The Surgical company, Germany) was realized as much as achievable. Patients were asked to pedal at a constant cycle speed of 60 rpm. A 3 min warm up pretest was realized at 20 W work load. Then, a standard incremental protocol was used beginning at 30 W with an increasing work-load by 10 W/minute until the maximal work tolerated. Breath-to-breath respiratory gas-exchange analysis was performed by means of a mask. VO_2 peak was

defined as the highest VO_2 observed during the exercise testing. The absolute value and the percentage of the predicted value were collected. All data were retrospectively analyzed by a single experienced operator.

Six-minute walking test

All the six-minute walking tests (6MWT) were realized indoor by experienced physiotherapists according to the standard protocol [9].

Outcome

The primary endpoint was the result of functional examinations including 6MWT distance and VO_2 peak measurement at 1- and 2-year follow up.

Statistical analysis

Continuous variables were mainly expressed as mean ± standard deviation, or as median value and interquartile range for not normally distributed data. Nominal values were expressed as numbers and percentages. Association between continuous variables was investigated by the Spearman correlation analysis and expressed by the r coefficient, because these variables were not normally distributed. Association between two nominal values was realized by non-parametric test and express by the Pearson chi square value. Differences were considered statistically significant for p-values < 0.05. All analyses were made using a commercially available software (SPSS, version 20, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA).

RESULTS

Baseline characteristics

A total of 82 heart transplanted patients were retrospectively included. The main characteristics of the population are reported in Table 1. The average age at transplantation was 54 ± 14 years and 60 (73%) patients were men. Among the 82 patients, 48 (59%) received heart transplantation without cardiac assist device before the surgery. Mean cold ischemic time was 222 ± 44 minutes and mean pulmonary vascular resistances were 1.8 UW before surgery. The initial cardiac disease is represented in Figure 1. Main etiologies were ischemic cardiopathy (35%) and primitive dilated cardiomyopathy (29%). Mean age of the donor was 41 ± 16 years and 59 (72%) were men. The main cardiovascular risk factor of donors was smoking for 49% of them.

Imaging parameters

Transthoracic echocardiography assessment of right ventricular systolic function is shown in Table 2. We could not collect all the RV parameters for each patient at 1 and 2 years because of the bad echographic view, and three patients did not achieve their 2-year follow up yet. Mean TAPSE was 15 ± 3 and 15 ± 3 mm at 1-year and 2-year follow up, respectively. Mean PSVtdi was 10 ± 3 and 10 ± 2 cm/s at 1-year and 2-year follow up, respectively. In the same way, mean RVFWLS was respectively to -19 ± 5 % and -20 ± 5%, and mean RVGLS was -17 ± 4% and -18 ± 4%. TR Vmax and pulmonary artery systolic pressure values 2.4 ± 0.4 m/s and 29 ± 7 mmHg at 1 year, and 2 ± 0.3 m/s and 30 ± 5 mmHg at 2 years, respectively. There was no significant difference between the 1-year and 2-years TTE values of RV parameters.

Cardiac magnetic resonance assessment of right ventricular function is represented in Table 3. Twenty-two patients did not perform this examination because of medical contraindication as renal failure or claustrophobia. We could not perform analyze of the right ventricular function by CMR at 2-year follow up because of the lack of data (only 6 patients had a CMR at 2 years). At 1-year follow up, one (4%) male patient had dilated right ventricle and impaired RVEF, whereas 3 (23%) female had altered RVEF. Global mean was 130 ± 41 mL for right ventricular end-diastolic volume and 70 ± 18 mL for right ventricular end-systolic volume. Mean RVEF was 54 ± 9%.

Exercise capacity parameters

They are listed in Table 4. Majority of patients were asymptomatic (NYHA stage 1). There was a significant improvement of the NYHA status between the 1- and 2-year follow up. Twenty-two (35%) and 29 (47%) patients could not perform CPET and 6MWT, respectively, at 1-year follow up, mainly because of physical deconditioning and motricity or sensitivity aftereffects of reanimation period after the surgery. At 2-year follow up it was respectively 23 (40%) and 33 (57%) patients. Three of them did not achieve their 2-year follow up at the moment.

CPET factors were better at 2-year follow up, with an increase on the percentage of maximal predicted VO2 peak, the cardiac frequency peak, the percentage of maximal predicted cardiac frequency and the percentage of maximal predicted ventilatory threshold 1. Mean absolute VO2 peak was not significantly different at 2 years as compared to 1 years (17 ± 5 versus 16 ± 5 mL/min/kg, p=0.252).

There was a significant improvement of 6MWT at 2- compared to 1-year follow up, with a mean distance of 514 ± 115 versus 464 ± 130 meters, respectively (p=0.038).

Impact of RV function on exercise capacity

The impact of RV function on exercise capacity is presented in Table 5. There was a correlation between the PSVtdi and the 6MWT distance at 1-year follow up (r=0.426, p=0.017; Figure 2). There was a correlation between RVEF measured by CMR and percentage of predicted 6MWT distance at 1-year follow up (r=0.410, p=0.027; Figure 3). There was no other correlation between 6MWT, VO_2 peak and RV parameters at 1- and 2-year follow up.

DISCUSSION

The present study shows that TTE longitudinal parameters of right ventricle are globally low after a heart transplantation, meanwhile the RVEF measured by CMR remains preserved. Concomitantly, exercise capacity of heart transplant recipients is decreased at 1 year after heart transplantation but trend to improve over time whereas longitudinal RV TTE parameters remains constantly low. The impact of the right ventricle over exercise capacity is weak, but PSVtdi measured by TTE and RVEF measured by CMR are 2 factors correlated with 6MWT distance at 1 year after heart transplantation. These 2 factors could be prioritized during the follow up of heart transplanted people.

Right ventricular function parameters

RV longitudinal systolic function was globally impaired in our population of heart transplanted patients at 1- and 2-year follow up compared to normal range [5] .

These results are consistent with the results of Ingvarsson *et al.* investigating RV longitudinal systolic function of 124 heart transplanted patients and showing impaired values of TAPSE (15±4 mm), PSVtdi (10±6 cm/s) and RVFWLS (-17±4%) [6]. Similar findings have been reported by Simsek *et al.* among 43 heart transplanted patients with an impairment of RV longitudinal systolic function whereas RFEV quantified by CMR was preserved [10], as found in our study. The physiopathology of these changes in longitudinal systolic function of the right ventricle is unclear. In the normal right ventricle, majority of RV systolic function is done by longitudinal contraction [11].

Few hypothesis of different factors have been tested to explain the impairment of the longitudinal systolic function, as the total ischemic time [12] which could lead to RV myocardial injuries. However, the longitudinal dysfunction has also been described for different population who had performed another type of cardiac surgery [13]. Another hypothesis focuses on the cardioplegia and especially the delivery method, with retrograde cardioplegia, which has been suspected to decrease the myocardial perfusion of the RV [13]. However, mild impairment of RV longitudinal systolic function has been reported on patients who had sustained a lung transplantation without extracorporeal circulation [11].

The loss of longitudinal function (measured by PSVtdi) occurred precisely within the first 3 minutes after pericardial incision on patients who underwent coronary artery bypass graft

surgery [14]. One possible explanation would come from the thin right ventricular free wall, which is more sensitive to transmural pressure. During the pericardial incision, the pericardial constraint of right ventricle is lost, resulting in an increase of transmural pressure and so in the free wall stress, leading to myocardial injury, which could change instantly the contraction behavior of the right ventricle, by decreasing longitudinal and increasing radial contraction.

In our study, despite this RV longitudinal systolic dysfunction assessed by TTE, RVEF assessed by CMR was preserved, on the basis of normal ranges established by Petersen *et al.* on healthy patients without heart failure [15].

Impact of right ventricular function on exercise capacity

One of the objectives of heart transplantation is to improve functional status and exercise capacity of heart failure patients. For free cardiac-disease patients, exercise capacity assessed by VO2peak have been linked to the right ventricular function assessed by RVFWS [16].
Among heart transplants recipients, VO2peak values do not exceed 60% of the value for healthy aged-matched non-transplanted controls with similar activity level 1 year after the surgery [3]. Multifactorial causes of decreased exercise capacity have been reported including central (heart graft and lungs) and peripheral (muscles) factors [3]. Chronotropic incompetence, mainly due to the denervation, and LV diastolic dysfunction have been reported as major cardiac determinants of this functional difference between transplants recipients and healthy non-transplanted controls [3].

In our study, transplant recipients had impaired VO2 peak values and 6MWT distance at 1- and 2-year follow up. However, we show that only PSVtdi and RVEF measured by CMR are slightly correlated to 6MWT distance at 1-year follow up. We did not find impact of the other RV parameters on exercise capacity at 1 year follow up and there was no impact of any of them at 2 years after the transplantation despite a global improvement of NYHA status, predicted percentage VO2 peak and 6MWT distance between 1- and 2-year follow up.

There are few studies exploring the impact of RV systolic function on exercise capacity of transplanted heart patients. D'Andrea *et al.* did not find correlation between 2-dimensional RV longitudinal systolic function and exercise capacity parameters on 71 heart transplant patients [17]. However, in their study, 3-dimensional RVEF was an independent predictive factor of functional capacities assessed by the maximal predicted peak consumption[17].

All these results add to the complexity to define and explore exercise capacity among heart transplant recipients. Furthermore, it has been shown that there is not a good correlation between the real exercise capacity (assessed by the metabolic equivalent unit and the time of exercise during an effort test) and the feeling of well-being and global quality of life in heart transplant recipients [18].

Global right ventricular systolic function

Assessing RV systolic function by TTE remains a challenge in heart transplant recipients. First, the acoustic window is random in this population. Second, the anterior position of the right ventricle in the thorax, as well as its particular pyramidal anatomy, make it very complex to explore, unlike the LV and its ellipsoidal shape. Another important characteristic of the right ventricle is the presence of the infundibulum separating the tricuspid and pulmonary valves, making volumes measurement more complex in two-dimensional TTE [19]. Three-dimensional TTE is better to explore the RV after a heart surgery [7], but is time-consuming, needs experimented operators and more complex echocardiographic systems with special probe.

All of the elements make RV assessment by TTE harder, particularly for heart transplanted patients, and makes it difficult to define “normal” range settings and appropriate cut-off values. Consequently, in this population, it is recommended to prioritize the evolution of all the RV parameters during the follow up rather than focus on the absolute value at each parameter. This justifies to indicate a comprehensive TTE at 6-month follow up to obtain baseline parameters for subsequent comparisons [20].

Since impaired RV longitudinal systolic function after a heart transplantation only have a weak impact on long-term exercise capacity, the remaining questions are: is right ventricular longitudinal systolic dysfunction after a heart transplantation a real abnormal entity? Should we not redefine the normal ranges for TTE right ventricular two-dimensional parameters after a heart transplantation?

Limitations

Our study has all the limitations associated with retrospective, single-site and limited sample studies. Significant number of patients could not perform some of the examinations composing our endpoint during the follow up. Furthermore, CPET results may have differed between operators leading the test and applying different protocols. Moreover, our exercise

capacity assessment was in the first and the second year after the heart transplantation, which may remain periods of care in this population and do not necessarily represent clinical stability. Indeed, some of them had long stories of reanimation and consequently physical deconditioning, or even motricity and sensitivity after effects, which are limiting factors for functional capacity. This could explain that few patients did not perform maximal cardiopulmonary test and that some other patients were not able to perform the test at all.

CONCLUSION

Heart transplanted patients have altered RV longitudinal systolic function after heart transplantation, meanwhile RVEF is preserved, without impact on VO2 peak. There is a slight correlation between 6MWT and RV systolic function assessed by PSVtdi and RVEF at 1 year after transplantation, which no longer persists at 2 years. Holding these results, normal thresholds for RV parameters assessed by TTE for heart transplanted patients need to be redefined.

REFERENCES

1. Writing Group Members *et al.* Heart Disease and Stroke Statistics-2016 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation* **133**, e38-360 (2016).

2. Ponikowski, P. *et al.* 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC)Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur. Heart J.* **37**, 2129–2200 (2016).

3. Marconi, C. & Marzorati, M. Exercise after heart transplantation. *European Journal of Applied Physiology* **90**, 250–259 (2003).

4. Ozdemirel, T. S. *et al.* Effects of right ventricular dysfunction on exercise capacity and quality of life and associations with serum NT-proBNP levels in COPD: an observational study. *Anadolu kardiyoloji dergisi : AKD = the Anatolian journal of cardiology* **14**, 370–377 (2014).

5. Rudski, L. G. *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* **23**, 685–713; quiz 786–788 (2010).

6. Ingvarsson, A. *et al.* Normal Reference Ranges for Transthoracic Echocardiography Following Heart Transplantation. *Journal of the American Society of Echocardiography* **31**, 349–360 (2018).

7. Lang, R. M. *et al.* Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography* **28**, 1-39.e14 (2015).

8. Tandri, H. *et al.* Normal reference values for the adult right ventricle by magnetic resonance imaging. *Am. J. Cardiol.* **98**, 1660–1664 (2006).

9. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **166**, 111–117 (2002).

10. Simsek, E. *et al.* Assessment of right ventricular systolic function in heart transplant patients: Correlation between echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging. Investigation of the accuracy and reliability of echocardiography. *Echocardiography* **34**, 1432–1438 (2017).

11. Raina, A., Vaidya, A., Gertz, Z. M., Chambers, S. & Forfia, P. R. Marked changes in right

ventricular contractile pattern after cardiothoracic surgery: Implications for post-surgical assessment of right ventricular function. *The Journal of Heart and Lung Transplantation* **32**, 777–783 (2013).

12. Ahlgren, B., Puskas, F. & Seres, T. Total ischemia time alters the longitudinal and circumferential shortening of the right ventricle in transplanted hearts. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* **15**, 163–168 (2011).

13. Garcia Gigorro, R. *et al.* Evaluation of right ventricular function after cardiac surgery: The importance of tricuspid annular plane systolic excursion and right ventricular ejection fraction. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **152**, 613–620 (2016).

14. The right ventricular annular velocity reduction caused by coronary artery bypass graft surgery occurs at the moment of pericardial incision | Elsevier Enhanced Reader. doi:10.1016/j.ahj.2009.11.013

15. Petersen, S. E. *et al.* Reference ranges for cardiac structure and function using cardiovascular magnetic resonance (CMR) in Caucasians from the UK Biobank population cohort. *J Cardiovasc Magn Reson* **19**, 18 (2017).

16. Chang, W.-T., Liu, Y.-W., Liu, P.-Y., Hsu, C.-H. & Tsai, W.-C. The association between right ventricular free wall strain and exercise capacity for health check-up subjects. *PLoS ONE* **12**, e0173307 (2017).

17. D'Andrea, A. *et al.* Right heart morphology and function in heart transplantation recipients. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)* **14**, 648–658 (2013).

18. Buendía, F. *et al.* Relationship Between Functional Capacity and Quality of Life in Heart Transplant Patients. *Transplantation Proceedings* **43**, 2251–2252 (2011).

19. Haddad François, Hunt Sharon A., Rosenthal David N. & Murphy Daniel J. Right Ventricular Function in Cardiovascular Disease, Part I. *Circulation* **117**, 1436–1448 (2008).

20. Badano, L. P. *et al.* European Association of Cardiovascular Imaging/Cardiovascular Imaging Department of the Brazilian Society of Cardiology recommendations for the use of cardiac imaging to assess and follow patients after heart transplantation. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging* **16**, 919–948 (2015).

TABLES

Table 1. Baseline characteristics of heart transplanted patients

	Whole population (n=82)	Value
General		
Age, y	82	54±14
Body mass index, kg/m^2	82	24.6±3,7
Male, n (%)	82	60 (73)
Body surface area, m^2	82	1.9±0,2
Right heart catheterization		
PASP, mmHg	76	40±15
PADP, mmHg	76	20±8
PAMP, mmHg	77	27±10
PCP, mmHg	77	20±10
Pulmonary vascular resistances, Woods Units	76	1.8±1.1
Transpulmonary gradient, mmHg	77	6.6±3.6
Cardiac output, L/min	76	3.9±1.3
Cardiac index, L/min/m2	76	2.1±0.6
Surgery		
Cold ischemia time, min	82	222±45
Extracorporeal circulation time, min	82	54±14
Aortic clamp time, min	82	111±27
Post operative ECMO, n (%)	82	19 (23)
Cardiovascular risk factors, n (%)		
High blood pressure	82	13 (16)
Diabetes	82	10 (12)
Smokers	82	46 (56)
Dyslipemia	82	18 (22)
Alcohol	82	8 (10)
Cardiac assistance before surgery, n (%)		
None	82	48 (59)
LVAD	82	14 (17)
ECMO	82	19 (23)
BiVAD	82	1 (1)
1 month endomyocardial biopsy, n (%)		
0 grade*	71	26 (37)
1R grade*	71	39 (55)
2R grade*	71	5 (7)
Humoral rejection	71	1 (1)

BiVAD, biventricular assist device; ECMO, extracorporeal membrane oxygenation; LVAD, Left ventricular assist device; PADP, pulmonary artery diastolic pressure; PAMP, pulmonary artery mean pressure; PASP, pulmonary artery mean pressure; PCP, pulmonary capillary wedge pressure;
*International Society of Heart and Lung Transplantation classification

Table 2. Echocardiographic parameters at 1- and 2- year follow up

		1 year		2 years		
Ventricle		Effective	Value	Effective	Value	p Value
Left ventricle						
	LVEDV, mL	61	98±29	50	96±31	0.925
	LVEDi, mL/m2	61	52±13	50	52±15	0.948
	LVEF, %	61	60±7.5	50	61±6	0.285
	LVGLS, %	54	-15±3.5	43	-16±2	0.09
Right ventricle						
	TAPSE, mm	60	15±3	48	15±3	0.142
	PSVtdi, cm/s	56	10±3	48	10±2	0.541
	RV basal diameter, mm	59	40±7	48	38±8	0.384
	RV middle diameter, mm	59	27±6	48	27±7	0.564
	RV longitudinal diameter, mm	59	65±7	48	63±7	0.051
	RVFWLS, %	48	-19±4	37	-20±5	0.82
	TR Vmax, m/sec	42	2.4±0.4	28	2±0.3	0.643
	PASP, mmHg	42	29±7	28	30±5	0.432

LVEDi, left ventricular end-diastolic volume index; LVEDV, left ventricular end-diastolic volume; LVEF, left ventricular ejection fraction; LVGLS, left ventricular global longitudinal strain, PSVtdi, peak systolic tricuspid annular velocity; PASP, pulmonary artery systolic pressure; RVFWLS, right ventricular free wall longitudinal strain, TRVmax, tricuspid regurgitation maximal velocity; TAPSE, tricuspid annular plan systolic excursion

Table 3. Cardiac magnetic resonance parameters at 1 year follow up

		Whole population	Male	Female
Ventricle	**Parameter**	**40 patients**	**27 patients**	**13 patients**
Left ventricle	LVEDV, mL	120±35	134±32	89±17
	LVEDVi, mL/m2	64±16	69±17	55±10
	LVESV, mL	49±25	57±25	34±16
	LVESVi, mL/m2	27±13	29±14	21±11
	LVEF, %	59±10	58±9	62±12
Right ventricle	RVEDV, mL	130±41	146±39	97±20
	RVEDVi, mL/m2	70±18	75±19	60±11
	RVESV, mL	59±22	66±23	44±7
	RVESVi, mL/m2	32±11	34±12	27±6
	RVEF, %	54±9	54±8	53±11

LVEDi, left ventricular end-diastolic volume index; LVEDV, left ventricular end-diastolic volume; LVEF, left ventricular ejection fraction; LVESV, left ventricular end systolic volume; LVESVi, left ventricular end systolic volume index; RVEDV, right ventricular end-diastolic volume; RVEDVi, right ventricular end-diastolic volume index; RVESV, right ventricular end-systolic volume; RVESVi, right ventricular end-systolic volume index, RVEF, right ventricular ejection fraction.

Table 4. Exercise capacity parameters assessed at 1- and 2-year follow up

	1 year		2 years		
Parameter	**Population**	**Value**	**Population**	**Value**	**p value**
NYHA stage, n (%)	62		50		
1		38 (61)		41 (82)	0.0001
2		21 (34)		8 (16)	0.0001
3		3 (5)		1 (2)	1
4		0 (0)		0 (0)	
Six-minute walking test	33		24		
Distance, m		465± 130		514± 115	0.038
Percentage maximal predicted, %		65± 16		71± 15	0.043
Cardiopulmonary exercise testing	40		34		
VO_2 peak, mL/min/kg		16±5		17±5	0.252
Percentage of maximal predicted VO_2 peak,%		54±17		58±18	0.03
Peak heart rate, bpm		117±21		121±23	0.002
Percentage of maximal predicted heart rate, %		68±13		71±15	0.001
Work-load, Watt		96±30		101±35	0.084
Percentage of maximal predicted work-load, %		62±22		68±25	0.084
VT1, mL/min/kg		10±3		11±3	0.173
Percentage of maximal predicted VT1, %		33±11		36±10	0.024
VE/VCO_2 slop, %		37±6		36±6	0.4
RER		1.2±0.1		1.1±0 .2	0.162
O_2/HR, mL		10±4		11±3	0.336
Percentage of maximal predicted O_2/CF, %		76± 19		81± 17	0.499

NYHA; New York health association; HR, heart rate; RER, respiratory exchange ratio; VO_2, consumed dioxygen volume; VT1: first ventilatory threshold

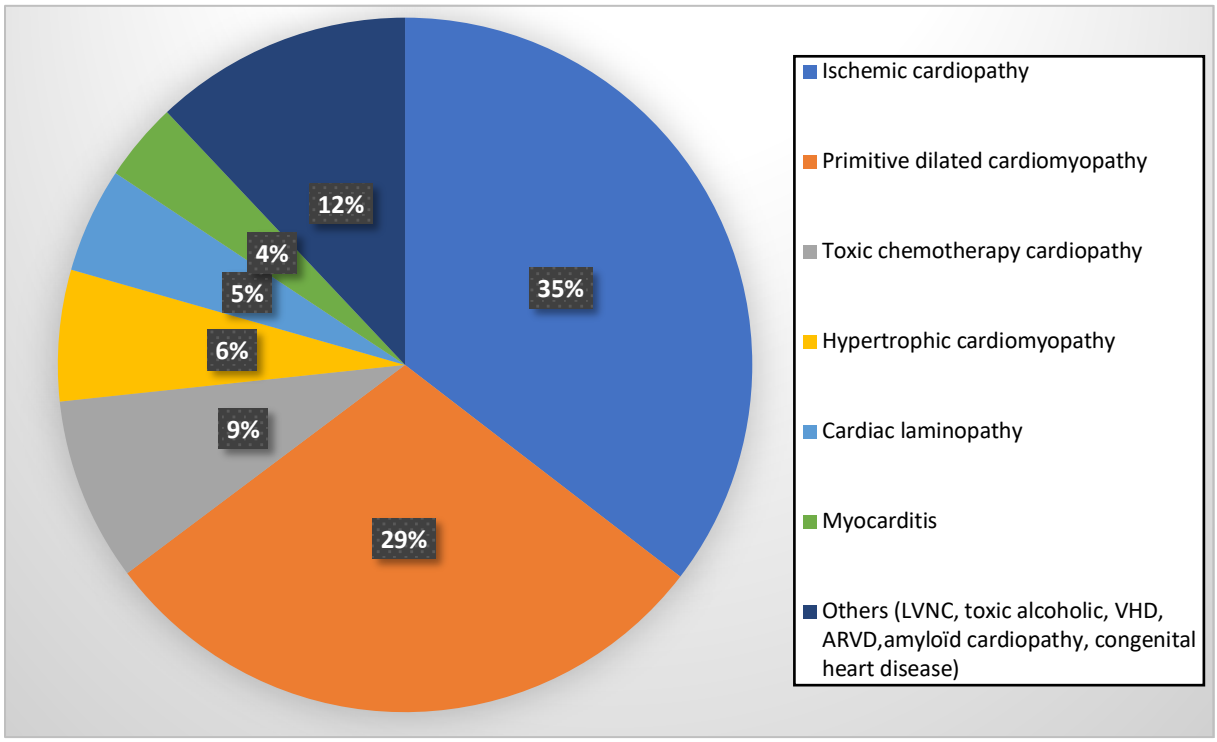
Table 5. Correlation analysis between right ventricular parameters and exercise capacity

	6MWT, m		Maximal predicted 6MWT, %		VO2 peak, ml/min/kg		Maximal predicted VO_2 peak, %	
	r coefficient	p value	r coefficient	p value	r coefficient	p value	r coefficient	p value
1-year follow up TTE								
TAPSE, mm	0.162	0.376	0.031	0.866	0.041	0.371	0.047	0.776
PSVtdi, cm/s	0.426	0.017	0.206	0.266	0.147	0.371	0,003	0.984
RVFWLS, %	-0.093	0.652	-0.139	0.498	0.269	0.143	0.199	0.284
RV basal diameter, mm	0.103	0.582	-0.227	0.219	0.206	0.215	0.143	0.390
RV middle diameter, mm	0.228	0.216	0.077	0.679	0.243	0.142	0.1	0.552
RV longitudinal diameter, mm	-0.031	0.870	-0.141	0.45	0.168	0.314	-0.073	0.665
2 year-follow up TTE								
TAPSE, mm	0.162	0.448	0.319	0.129	-0.022	0.905	0.241	0.176
PSVtdi, cm/s	0.007	0.974	0.275	0.203	0.107	0.559	0.232	0.202
RVFWLS, %	-0.054	0.836	0.031	0.906	0.182	0.394	-0.073	0.735
RV basal diameter, mm	0.138	0.530	-0.048	0.829	0.225	0.216	0.196	0.281
RV middle diameter, mm	0.130	0.556	-0.024	0.912	0.315	0.079	0.189	0.301
RV longitudinal diameter, mm	0.294	0.174	0.145	0.510	0.115	0.530	0.057	0.755
1-year follow up cardiac MRI								
RVEF, %	0,299	0,115	0.410	0.027	-0.106	0.577	0.131	0.490

PSVtdi, peak systolic tricuspid annular velocity; RVFWLS, right ventricular free wall longitudinal strain, TAPSE, tricuspid annular plan systolic excursion; RVEF, right ventricular ejection fraction; MRI, magnetic resonance imaging.

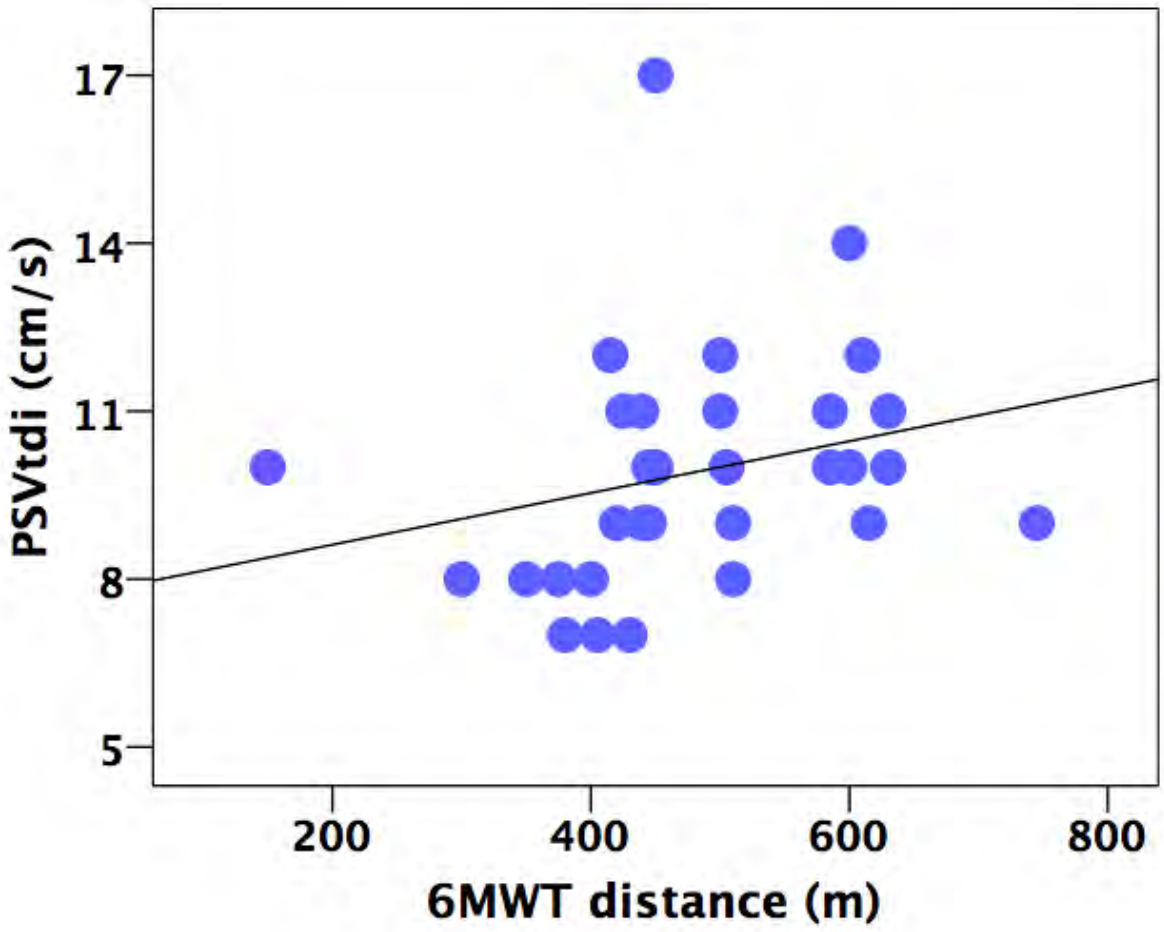
FIGURES

Figure 1. Initial cardiac disease



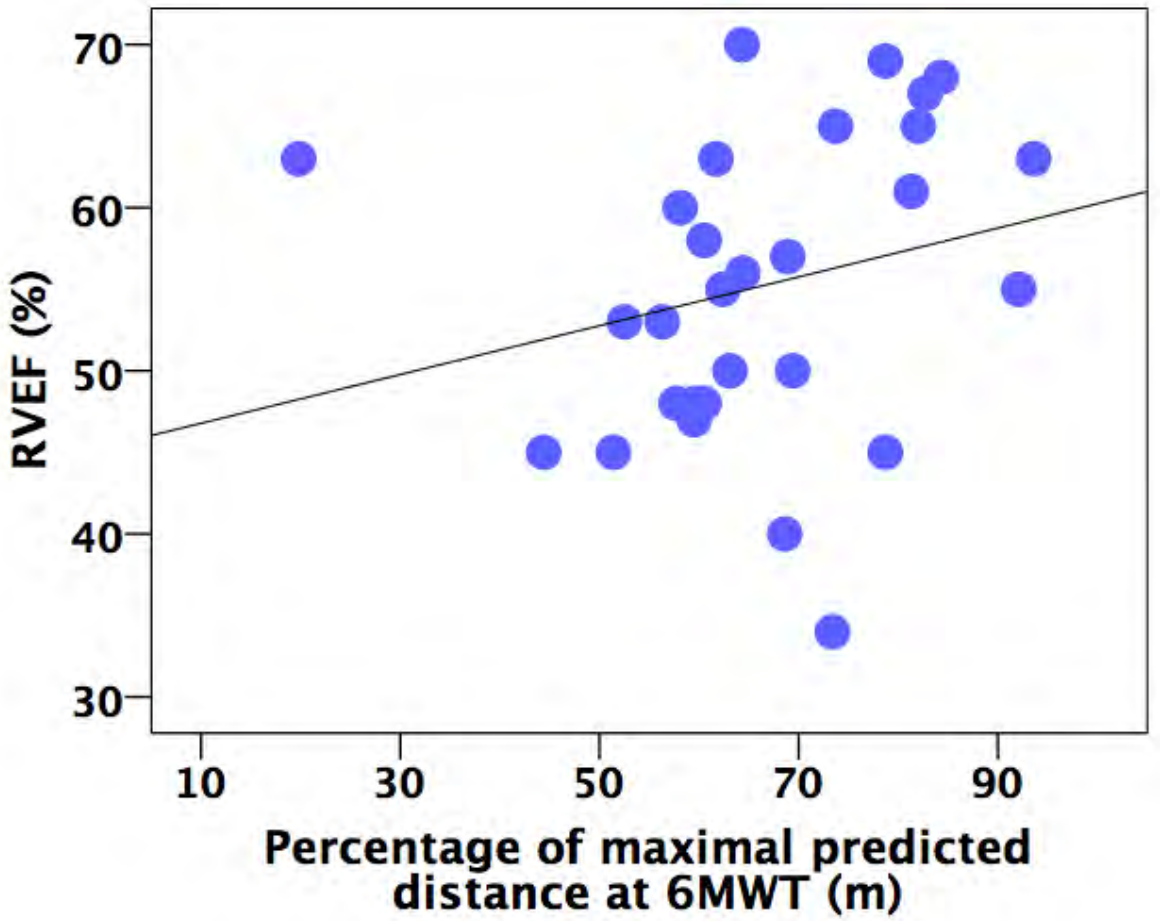
ARVD, arrhythmogenic right ventricular dysplasia; LVNC, left ventricle noncompaction; VHD, valvular heart disease

Figure 2. Correlation between the peak systolic tricuspid annular plane velocity measured by TTE and the 6-minute walking test distance at 1 year follow up



6MWT, 6-minute walking test; PSVtdi, peak systolic tricuspid annular plane velocity; TTE, transthoracic echocardiography.

Figure 3. Correlation between the RVEF measured by CMR and the percentage of maximal predicted 6MWT distance at 1-year follow up



6MWT, 6-minute walking test; RVEF, right ventricular ejection fraction; CMR, cardiac magnetic resonance imaging

Annexe 2. Serment d'Hippocrate

Le Serment d'Hippocrate

Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans discrimination.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance.

Je donnerai mes soins à l'indigent et je n'exigerai pas un salaire au dessus de mon travail.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement la vie ni ne provoquerai délibérément la mort.

Je préserverai l'indépendance nécessaire et je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je perfectionnerai mes connaissances pour assurer au mieux ma mission.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé si j'y manque.

VERSET Lucas 2019 TOU3 1607

Impact de la fonction systolique ventriculaire droite sur les capacités fonctionnelles après une transplantation cardiaque

RESUME EN FRANÇAIS :

Introduction : La fonction systolique du ventricule droit (VD) est généralement diminuée chez les patients transplantés cardiaque, mais son impact sur les capacités fonctionnelles n'est pas connu. Nous avons cherché à évaluer rétrospectivement l'impact de la fonction systolique du VD sur les capacités fonctionnelles des patients après une transplantation cardiaque.

Méthodes : Quatre-vingt-deux patients ayant bénéficié d'une transplantation cardiaque ont eu une évaluation d'imagerie multimodale comprenant une échocardiographie transthoracique (ETT), une imagerie par résonance magnétique (IRM) cardiaque et une évaluation des capacités fonctionnelles par un test de marche de six minutes (TM6) et une épreuve d'effort cardiopulmonaire (CPET) à l'occasion de leur suivi médical à 1 et 2 ans post transplantation.

Résultats : Les paramètres systoliques longitudinaux du VD mesurés à l'ETT incluant l'excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide (TAPSE), le pic de vitesse systolique de l'onde S' à l'anneau tricuspide (PSVtdi) et le strain longitudinal de la paroi libre du VD (SLPLVD) étaient abaissés à 1 an (respectivement 15±3 mm, 10±3 cm/s et -19±5 %) et 2 ans (respectivement 15±3 mm, 10±2 cm/s et -20±5 %) sans différence significative entre les valeurs à 1 et 2 ans, tandis que la fraction d'éjection ventriculaire droite (FEVD) mesurée à l'IRM était préservée (54±9%). Le pourcentage de la valeur maximale théorique de la consommation maximale d'oxygène (VO2max) et la distance parcourue lors du TM6 étaient altérés, mais leurs valeurs s'amélioraient significativement entre 1 et 2 ans (respectivement 54±17 contre 58±18%, p=0.03 et 456±130m contre 514±115m, p=0.038). Le PSVtdi était corrélé avec la distance parcourue au TM6 (r=0,426, p=0,017) et la FEVD avec le pourcentage de la distance maximale théorique du TM6 (r=0,410, p=0,027) à 1 an. Il n'y avait pas d'autre corrélation entre la fonction ventriculaire droite et les paramètres fonctionnels.

Conclusion : Malgré des valeurs altérées, la fonction systolique longitudinale du VD n'a qu'un faible impact sur les capacités fonctionnelles des patients transplantés cardiaques. Le PSVtdi et la FEVD sont les paramètres les plus intéressants pour évaluer l'impact de la fonction systolique du VD sur les capacités fonctionnelles au cours du suivi des patients transplantés cardiaques. Ces résultats pourraient conduire à redéfinir les valeurs seuils de normalité de la fonction systolique du VD après une transplantation cardiaque.

TITRE EN ANGLAIS: Impact of right ventricular systolic function on exercise capacity after a heart transplantation

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Médecine spécialisée clinique - Cardiologie et maladies vasculaires

MOTS-CLÉS : Transplantation cardiaque, ventricule droit, échocardiographie, capacités fonctionnelles, imagerie par résonance magnétique cardiaque

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :
Université Toulouse III-Paul Sabatier
Faculté de médecine Toulouse-Purpan,
37 Allées Jules Guesde 31000 Toulouse

Directrice de thèse : Dr Pauline FOURNIER