



HAL
open science

Étude des altérations microcirculatoires pré-opératoire comme prédiction des complications en post-opératoire de chirurgie cardiaque

Camille Molkhou

► **To cite this version:**

Camille Molkhou. Étude des altérations microcirculatoires pré-opératoire comme prédiction des complications en post-opératoire de chirurgie cardiaque. Médecine humaine et pathologie. 2023. dumas-04103823

HAL Id: dumas-04103823

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04103823v1>

Submitted on 23 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UFR DE SANTE DE ROUEN NORMANDIE

2022-2023

N°

THESE POUR LE
DOCTORAT EN MEDECINE

(Diplôme d'État)

Par

Camille Molkhou

Née le 03/12/1990 à Paris XIV^e

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 07 AVRIL 2023

GLYcocalyx as Predictor of Organ failure after Cardiac Surgery

Étude GLYPOCS

PRESIDENT DE JURY : Professeur B. VEBER

DIRECTEUR DE THESE : Professeur E. BESNIER

MEMBRES DU JURY : Professeure F. TAMION

Docteur P. LEPRETRE

Docteur S. MIRANDA

Par délibération en date du 3 mars 1967, la faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbations.

ANNEE UNIVERSITAIRE 2022 - 2023

U.F.R. SANTÉ DE ROUEN

DOYEN : **Professeur Benoît VEBER**

ASSESEURS : **Professeur Loïc FAVENNEC**

Professeur Agnès LIARD

Professeur Guillaume SAVOYE

I - MEDECINE

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS

Mr Frédéric ANSELME	HCN	Cardiologie
Mme Gisèle APTER	Havre	Pédopsychiatrie
Mme Isabelle AUQUIT AUCKBUR	HCN	Chirurgie plastique
Mr Jean-Marc BASTE	HCN	Chirurgie Thoracique
Mr Fabrice BAUER	HCN	Cardiologie
Mme Soumeya BEKRI	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
Mr Ygal BENHAMOU	HCN	Médecine interne
Mr Jacques BENICHOU	HCN	Bio statistiques et informatique médicale
Mr Emmanuel BESNIER	HCN	Anesthésiologie - Réanimation
Mr Olivier BOYER	UFR	Immunologie
Mme Valérie BRIDOUX HUYBRECHTS	HCN	Chirurgie Digestive
Mme Sophie CANDON	HCN	Immunologie
Mr François CARON	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
Mr Philippe CHASSAGNE	HCN	Médecine interne (gériatrie)

Mr Florian CLATOT	CB	Cancérologie – Radiothérapie
Mr Moïse COEFFIER	HCN	Nutrition
Mr Vincent COMPERE	HCN	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale
Mr Jean-Nicolas CORNU	HCN	Urologie
Mr Antoine CUVELIER	HB	Pneumologie
Mr Jean-Nicolas DACHER	HCN	Radiologie et imagerie médicale
Mr Stéfan DARMONI communication	HCN	Informatique médicale et techniques de
Mr Pierre DECHELOTTE	HCN	Nutrition
Mr Stéphane DERREY	HCN	Neurochirurgie
Mr Frédéric DI FIORE	CHB	Cancérologie
Mr Fabien DOGUET (<i>disponibilité</i>)	HCN	Chirurgie Cardio Vasculaire
Mr Jean DOUCET	SJ	Thérapeutique - Médecine interne et gériatrie
Mr Bernard DUBRAY	CHB	Radiothérapie
Mr Frank DUJARDIN	HCN	Chirurgie orthopédique - Traumatologique
Mr Fabrice DUPARC traumatologique	HCN	Anatomie - Chirurgie orthopédique et
Mr Eric DURAND	HCN	Cardiologie
Mme Hélène ELTCHANINOFF	HCN	Cardiologie
Mr Manuel ETIENNE	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
Mr Jean François GEHANNO	HCN	Médecine et santé au travail
Mr Emmanuel GERARDIN	HCN	Imagerie médicale
Mme Priscille GERARDIN	HCN	Pédopsychiatrie
M. Guillaume GOURCEROL	HCN	Physiologie
Mr Dominique GUERROT	HCN	Néphrologie
Mme Julie GUEUDRY	HCN	Ophtalmologie
Mr Olivier GUILLIN	HCN	Psychiatrie Adultes
Mr Florian GUISIER	HCN	Pneumologie
Mr Claude HOUDAYER	HCN	Génétique
Mr Fabrice JARDIN	CHB	Hématologie
Mr Luc-Marie JOLY	HCN	Médecine d'urgence
Mr Pascal JOLY	HCN	Dermato – Vénérologie

Mme Bouchra LAMIA	Havre	Pneumologie
Mr Vincent LAUDENBACH	HCN	Anesthésie et réanimation chirurgicale
Mr Hervé LEFEBVRE	HB	Endocrinologie et maladies métaboliques
Mr Thierry LEQUERRE	HCN	Rhumatologie
Mme Anne-Marie LEROI	HCN	Physiologie
Mr Hervé LEVESQUE	HCN	Médecine interne
Mme Agnès LIARD-ZMUDA	HCN	Chirurgie Infantile
Mr Pierre Yves LITZLER	HCN	Chirurgie cardiaque
M. David MALTETE	HCN	Neurologie
Mr Christophe MARGUET	HCN	Pédiatrie
Mme Isabelle MARIE	HCN	Médecine interne
Mr Jean-Paul MARIE	HCN	Oto-rhino-laryngologie
Mr Stéphane MARRET	HCN	Pédiatrie
Mme Véronique MERLE (<i>disponibilité</i>)	HCN	Epidémiologie
Mr Pierre MICHEL	HCN	Hépto-gastro-entérologie
M. Benoit MISSET (<i>détachement</i>)	HCN	Réanimation Médicale
Mr Marc MURAINÉ	HCN	Ophtalmologie
Mr Gaël NICOLAS	UFR	Génétique
Mr Christian PFISTER	HCN	Urologie
Mr Jean-Christophe PLANTIER	HCN	Bactériologie - Virologie
Mr Didier PLISSONNIER	HCN	Chirurgie vasculaire
Mr Gaëtan PREVOST	HCN	Endocrinologie
Mr Jean-Christophe RICHARD (<i>détachement</i>)	HCN	Réanimation médicale - Médecine d'urgence
Mr Vincent RICHARD	UFR	Pharmacologie
Mme Nathalie RIVES reproduction	HCN	Biologie du développement et de la
Mr Horace ROMAN (<i>détachement</i>)	HCN	Gynécologie - Obstétrique
Mr Jean-Christophe SABOURIN	HCN	Anatomie – Pathologie
Mr Mathieu SALAUN	HCN	Pneumologie
Mr Guillaume SAVOYE	HCN	Hépto-gastro-entérologie
Mme Céline SAVOYE-COLLET	HCN	Imagerie médicale

Mme Pascale SCHNEIDER	HCN	Pédiatrie
Mr Lilian SCHWARZ	HCN	Chirurgie Viscérale et Digestive
Mr Michel SCOTTE	HCN	Chirurgie digestive
Mme Fabienne TAMION	HCN	Réanimation médicale
Mr Luc THIBERVILLE	HCN	Pneumologie
Mr Sébastien	CB	Radiothérapie
M. Gilles TOURNEL	HCN	Médecine Légale
Mr Olivier TROST	HCN	Anatomie -Chirurgie Maxillo-Faciale
Mr Jean-Jacques TUECH	HCN	Chirurgie digestive
Mr Benoît VEBER	HCN	Anesthésiologie - Réanimation chirurgicale
Mr Pierre VERA	CHB	Biophysique et traitement de l'image
Mr Eric VERIN	Les Herbiers	Médecine Physique et de Réadaptation
Mr Eric VERSPYCK	HCN	Gynécologie obstétrique
Mr Olivier VITTECOQ	HCN	Rhumatologie
Mr David WALLON	HCN	Neurologie
Mme Marie-Laure WELTER	HCN	Physiologie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS

Mme Najate ACHAMRAH	HCN	Nutrition
Mme Elodie ALESSANDRI-GRADT	HCN	Virologie
Mr Kévin ALEXANDRE	HCN	Maladies Infectieuses et Tropicales
Mme Noëlle BARBIER-FREBOURG	HCN	Bactériologie – Virologie
Mme Carole BRASSE LAGNEL	HCN	Biochimie
Mr Gérard BUCHONNET	HCN	Hématologie
Mme Mireille CASTANET	HCN	Pédiatrie
Mr Damien COSTA	HCN	Parasitologie
Mr Pierre DECAZES	CB	Médecine Nucléaire
Mr Maxime FONTANILLES	GHH	Oncologie Médicale

M. Vianney GILARD	HCN	Neurochirurgie
Mr Serge JACQUOT	UFR	Immunologie
Mr Joël LADNER	HCN	Epidémiologie, économie de la santé
Mr Jean-Baptiste LATOUCHE	UFR	Biologie cellulaire
M. Florent MARGUET	HCN	Histologie
Mme Chloé MELCHIOR	HCN	Hépto-gastro-entérologie
M. Sébastien MIRANDA	HCN	Médecine Vasculaire
Mr Thomas MOUREZ (<i>détachement</i>)	HCN	Virologie
Mme Muriel QUILLARD	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
Mme Laëtitia ROLLIN	HCN	Médecine du Travail
Mme Pascale SAUGIER-VEBER	HCN	Génétique
M. Abdellah TEBANI	HCN	Biochimie et Biologie Moléculaire
Mme Anne-Claire TOBENAS-DUJARDIN	HCN	Anatomie
Mr Julien WILS	HCN	Pharmacologie

PROFESSEUR AGREGE OU CERTIFIE

Mme Noémie MARIE	UFR	Communication
Mr Thierry WABLE	UFR	Communication
Mme Mélanie AUVRAY-HAMEL	UFR	Anglais
Mme Cécile POTTIER-LE GUELLEC	UFR	Anglais

II - PHARMACIE

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mr Jérémy BELLIEN (PU-PH)	Pharmacologie
Mr Thierry BESSON	Chimie Thérapeutique

Mr Jean COSTENTIN (Professeur émérite)	Pharmacologie
Mme Isabelle DUBUS	Biochimie
Mr Abdelhakim EL OMRI	Pharmacognosie
Mr François ESTOUR	Chimie Organique
Mr Loïc FAVENNEC (PU-PH)	Parasitologie
Mr Jean Pierre GOULLE (Professeur émérite)	Toxicologie
Mme Christelle MONTEIL	Toxicologie
Mme Martine PESTEL-CARON (PU-PH)	Microbiologie
Mr Rémi VARIN (PU-PH)	Pharmacie clinique
Mr Jean-Marie VAUGEOIS	Pharmacologie
Mr Philippe VERITE	Chimie analytique

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme Margueritta AL ZALLOUHA	Toxicologie
Mme Cécile BARBOT	Chimie Générale et Minérale
Mr Frédéric BOUNOURE	Pharmacie Galénique
Mr Thomas CASTANHEIRO MATIAS	Chimie Organique
Mr Abdeslam CHAGRAOUI	Physiologie
Mme Camille CHARBONNIER (LE CLEZIO) (MCU-PH)	Statistiques
Mme Elizabeth CHOSSON	Botanique
Mme Marie Catherine CONCE-CHEMTOB santé	Législation pharmaceutique et économie de la
Mme Cécile CORBIERE	Biochimie
Mme Sandrine DAHYOT	Bactériologie
Mme Nathalie DOURMAP	Pharmacologie
Mme Isabelle DUBUC	Pharmacologie
Mr Gilles GARGALA (MCU-PH)	Parasitologie
Mme Nejla EL GHARBI-HAMZA	Chimie analytique
Mr Chervin HASSEL	Virologie
Mme Maryline LECOINTRE	Physiologie
Mme Hong LU	Biologie

Mme Marine MALLETER	Biologie Cellulaire
M. Jérémie MARTINET (MCU-PH)	Immunologie
M. Romy RAZAKANDRAINIBÉ	Parasitologie
Mme Tiphaine ROGEZ-FLORENT	Chimie analytique
Mr Mohamed SKIBA	Pharmacie galénique
Mme Malika SKIBA	Pharmacie galénique

PROFESSEURS ASSOCIES

Mme Cécile GUERARD-DETUNCQ	Pharmacie officinale
Mme Caroline BERTOUX	Pharmacie officinale
M. Damien SALAUZE	Pharmacie industrielle

PAU-PH

M. Mikaël DAOUPHARS	Pharmacie
M. Pierre BOHN	Radiopharmacie

PROFESSEUR CERTIFIE

Mme Mathilde GUERIN	Anglais
----------------------------	---------

ASSISTANTS HOSPITALO-UNIVERSITAIRES

M. Eric BARAT	Pharmacie
M. Guillaume FEUGRAY	Biochimie Générale
M. Henri GONDÉ	Pharmacie
M. Paul BILLOIR	Hématologie
M. Romain LEGUILLON	Pharmacie
M. Thomas DUFLOT	Pharmacologie
Mme Alice MOISAN	Virologie

ATTACHES TEMPORAIRES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

Mme Chaïma EZZINE	Pharmacologie
M. Abdelmounaim MOUHAJIR	Informatique Bio-informatique

M. Olivier **PERRUCHON**

Pharmacognosie

M. Maxime **GRAND**

Bactériologie

LISTE DES RESPONSABLES DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES

Mme Cécile **BARBOT**

Chimie Générale et minérale

Mr Thierry **BESSON**

Chimie thérapeutique

Mr Abdeslam **CHAGRAOUI**

Physiologie

Mme Elisabeth **CHOSSON**

Botanique

Mme Marie-Catherine **CONCE-CHEMTOB**

Législation et économie de la santé

Mme Isabelle **DUBUS**

Biochimie

Mr Abdelhakim **EL OMRI**

Pharmacognosie

Mr François **ESTOUR**

Chimie organique

Mr Loïc **FAVENNEC**

Parasitologie

Mme Christelle **MONTEIL**

Toxicologie

Mme Martine **PESTEL-CARON**

Microbiologie

Mr Mohamed **SKIBA**

Pharmacie galénique

Mr Rémi **VARIN**

Pharmacie clinique

M. Jean-Marie **VAUGEOIS**

Pharmacologie

Mr Philippe **VERITE**

Chimie analytique

III – MEDECINE GENERALE

PROFESSEUR MEDECINE GENERALE

Mr Matthieu **SCHUERS** (PU-MG) UFR Médecine générale

PROFESSEURS ASSOCIES A MI-TEMPS – MEDECINS GENERALISTE

Mr Pascal **BOULET** UFR Médecine générale

Mr Emmanuel **HAZARD** UFR Médecine Générale

Mr Emmanuel **LEFEBVRE** UFR Médecine Générale

Mme Elisabeth **MAUVIARD** UFR Médecine générale

Mme Lucille **PELLERIN** UFR Médecine Générale

Mme Yveline **SEVRIN** UFR Médecine générale

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS – MEDECINS GENERALISTES

Mr Julien **BOUDIER** UFR Médecine Générale

Mme Laëtitia **BOURDON** UFR Médecine Générale

Mme Elsa **FAGOT-GRIFFIN** UFR Médecine Générale

Mme Ségolène **GUILLEMETTE** UFR Médecine Générale

Mr Frédéric **RENOU** UFR Médecine Générale

ENSEIGNANTS MONO-APPARTENANTS

PROFESSEURS

Mr Paul MULDER (phar)	Sciences du Médicament
Mme Su RUAN (med)	Génie Informatique

MAITRES DE CONFERENCES

Mr Sahil ADRIOUCH (med)	Biochimie et biologie moléculaire (Unité Inserm 905)
Mr Jonathan BRETON (med)	Nutrition
Mme Gaëlle BOUGEARD-DENOYELLE (med)	Biochimie et biologie moléculaire (UMR 1079)
Mme Carine CLEREN (med)	Neurosciences (Néovasc)
M. Sylvain FRAINEAU (med)	Physiologie (Inserm U 1096)
Mme Pascaline GAILDRAT (med)	Génétique moléculaire humaine (UMR 1079)
Mme Rachel LETELLIER (med)	Physiologie
Mr Antoine OUVRARD-PASCAUD (med)	Physiologie (Unité Inserm 1076)
Mr Frédéric PASQUET	Sciences du langage, orthophonie
Mme Anne-Sophie PEZZINO	Orthophonie
Mme Christine RONDANINO (med)	Physiologie de la reproduction
Mr Youssan Var TAN	Immunologie
Mme Isabelle TOURNIER (med)	Biochimie (UMR 1079)

DIRECTEUR ADMINISTRATIF : M. Jean-Sébastien VALET

HCN - Hôpital Charles Nicolle

HB - Hôpital de BOIS GUILLAUME

CB - Centre Henri Becquerel

CHS - Centre Hospitalier Spécialisé du Rouvray

CRMPR - Centre Régional de Médecine Physique et de Réadaptation

SJ - Saint Julien Rouen

REMERCIEMENTS

Au Professeur Benoit Veber, je vous suis extrêmement reconnaissante de me faire l'honneur de présider mon jury de thèse et je tenais à vous remercier encore de votre soutien depuis le début de mon internat. Merci pour votre rigueur, vos conseils et votre encadrement.

Chère Professeure Fabienne Tamion, merci pour votre accueil chaleureux en réanimation médicale. Je vous remercie également pour votre gentillesse, votre disponibilité et d'avoir accepté de participer à l'évaluation de mon travail de thèse.

Au Professeur Emmanuel Besnier, merci pour ton aide au cours de ces mois de mesures innombrables, de questionnements incessants. Tu m'as fait découvrir la chirurgie cardiaque et participé à développer mon sens scientifique, même s'il n'en est qu'à ses balbutiements. Nous n'aurons plus l'occasion de partager des tisanes en garde mais j'espère que nous pourrions continuer à travailler ensemble, ou côte à côte à défaut.

Cher Docteur Perrine Leprêtre, merci pour ta patience et ta douceur, pour nos gardes de MAR en MIR ponctuées de pauses méritées, de remises en question et surtout merci de me faire la joie d'avoir accepté d'évaluer mon travail ce jour.

Cher Docteur Sébastien Miranda, merci d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse et d'écouter un anesthésiste s'essayer sur la microcirculation.

Aux médecins et infirmiers de réanimation cardiaque, neurochirurgicale, chirurgicale et médicale du CHU de Rouen, je tenais à adresser mes plus sincères remerciements pour ces années passées à vos côtés, pour tout ce que vous m'avez enseigné et la passion que vous m'avez communiquée.

A l'ensemble de l'équipe d'anesthésie du CHU de Rouen, ce fameux DREAM, tous mes remerciements pour l'ensemble de l'encadrement que vous m'avez prodigué pendant ces années, en espérant continuer à évoluer à vos côtés.

A ma famille, même si nous ne comprenons pas toujours les tenants et aboutissants de nos passions respectives, merci pour votre présence et votre amour. C'est un réel bonheur de pouvoir devenir docteur en médecine après toutes ces années à me soutenir dans mes différentes pérégrinations, je n'en serai pas là sans vous.

Yoann, les mots semblent futiles pour te remercier de ta présence et de tout ce que nous construisons ensemble.

A mes amies « Sézane », Sarah, Audrey et Juliette, je n'y serai pas arrivée sans vos encouragements parfois pluriquotidiens et votre patience sans faille face à mes fréquents désespoirs. J'espère que nous continuerons nos vacances, nos diners au champagne et nos sessions unboxing. Ma Sarah, j'espère toujours qu'un jour, on y ira...

A Eva et Manon, mes scientifiques préférées, c'est avec énormément de bonheur que je repense à notre fine équipe, constituée pendant notre master 2 au laboratoire. Les pauses shopping à l'artério me manquent mais je suis heureuse de voir nos projets prendre forme.

A Tiphaine et Domitille, pour nos vacances passées et futures, nos douces soirées au septième et nos envolées gastronomiques.

A mes pharmaciennes préférées, Isabelle, Anne-Laure et Justine, merci de m'avoir suivi toutes ces années.

A Jérphine pour ta lumineuse présence, ta spontanéité et toute l'amitié dont tu me couvres depuis le milieu de l'externat.

A Marie, toi qui mènes tout avec passion et compassion, quelle joie de partager ensemble la fin de notre très long parcours. Je te souhaite beaucoup de courage pour ta future thèse et je sais que tu seras un excellent docteur.

A Gioia, Léa, Vincent et Barbara, mes soutiens bienveillants, merci pour tout ce que vous m'avez appris, pour votre patience à mon égard et votre amitié.

A toute l'équipe d'internes de Réanimation Médicale, Clara, Hélène, Julie, Hortense, Emeline-Sacha, Emily, Manon, Victor, Joseph, Antoine, Théo, N-Guyen, quel bonheur de vous avoir rencontré. Nos pauses dans le cagibi de garde resteront dans les mémoires !

A Yves, Sarah, Poupou, Marine, Rachna, Bastien, Diane pour ces souvenirs lumineux sur le port du havre. A Steffi, Sarah (toujours !) et Thibault, l'équipe de choc de la Réanimation du cœur. A Maxime, Thibault, Alice, Kaouthar et Ali pour le trimestre de réa des cerveaux. A Léa, Mathilde, Pierre, Tamtam, Simon, Corentin, Benjamin, Marie pour ces quelques mois de Réanimation chirurgicale. A Domitille qui m'a fait découvrir les adultes miniatures.

A ma nouvelle promo comme à l'ancienne pour ces belles rencontres.

Au Dr Demailly, je te souhaite énormément de courage pour la suite et de conserver cette vitalité qui t'anime.

Au Docteur Gilles Gargala qui a eu la patience de m'encadrer pour une première thèse, il y a maintenant 9 ans.

Et enfin, à tous ceux que je ne peux citer ici mais qui m'ont accompagnée, un grand merci.

Table des matières

<i>Liste des abréviations</i>	17
<i>Liste des figures, tableaux et annexes</i>	18
I. Introduction	19
I.1. Généralités de physiologie vasculaire	19
I.2. L'endothélium et le glycocalyx	19
I.3. Dispositifs d'étude du glycocalyx	21
I.4. Altérations du glycocalyx	23
I.4.1. Altérations septiques.....	23
I.4.2. Altérations associées à la chirurgie cardiaque	24
I.4.3. Altérations chroniques du glycocalyx.....	25
I.5. Objectifs de l'étude	25
II. Matériel et méthodes	26
II.1. Matériel	26
II.2. Objectifs	26
II.3. Design de l'étude, méthodologie des interventions et observations	28
II.4. Analyse statistique	29
III. Résultats	30
III.1. Statistiques démographiques de notre population	30
III.2. Critère de jugement principal	32

III.3. Critère de jugement secondaire	33
III.4. Complications postopératoires précoces et analyses en sous-groupes.....	34
III.5. Complications tardives et analyses en sous-groupes	36
<i>IV. Discussion</i>	38
<i>V. Bibliographie</i>	43
<i>VI. Annexe</i>	48

Liste des abréviations

Accident vasculaire cérébral : AVC

Circulation extra-corporelle : CEC

Écart type : SD (standard deviation)

Globules rouges : GR

Indice de masse corporelle : IMC

Insuffisance rénale aiguë : IRA

Monoxyde d'azote : NO

Oxygène : O₂

Peripheral boundary region : PBR

Tissue plasminogen activator : t-PA

Ventricule gauche : VG

Volume d'éjection systolique : VES

Liste des figures, tableaux et annexes

Figure 1 : visualisation directe du glycocalyx endothélial au niveau de coupes de capillaires myocardiques de rats en microscopie électronique.

Figure 2 : visualisation de la microcirculation sublinguale via l'application du dispositif Glycocheck ®.

Figure 3 : représentation schématique du PBR en situation physiologique (à gauche) et en situation d'altération du glycocalyx (à droite) avec majoration du PBR, selon Martens.

Figure 4 : PBR moyens des patients présentant des complications au bout de 48 heures postopératoires et des patients indemnes de toutes complications (moyenne \pm SD).

Figure 5 : PBR moyens des patients présentant ou non des complications au bout de 28 jours postopératoires (moyenne \pm SD).

Figure 6 : flux sanguin capillaire préopératoire des patients présentant ou non des complications postopératoires précoces (médiane).

Tableau 1 : caractéristiques de la population de l'étude.

Tableau 2 : caractéristiques préopératoires des deux groupes de notre cohorte.

Tableau 3 : fréquence des complications postopératoires précoces dans notre population.

Tableau 4 : fréquence des complications postopératoires tardives dans notre cohorte.

Annexe 1 : scores d'insuffisance rénale aiguë, adapté selon les recommandations KDIGO 2012.

I. Introduction

I.1. Généralités de physiologie vasculaire

La circulation générale permet l'apport de nutriments et d'oxygène (O₂) aux organes en échange d'éléments à éliminer. Elle est constituée de l'arbre vasculaire dans lequel circule le sang, propulsé par la pompe cardiaque. La circulation systémique comprend trois compartiments qui sont la macrocirculation artérielle, la microcirculation ainsi que le réseau veineux (1).

La macrocirculation artérielle est composée d'artères d'un diamètre supérieur à 0,2 mm. Elles transforment le flux pulsatile macrocirculatoire en un flux continu permettant la réalisation d'échanges au niveau microcirculatoire et la préservation des capillaires de lésions barotraumatiques. La microcirculation comprend l'ensemble des vaisseaux de diamètre inférieur à 200 μm et est composée d'artérioles, de capillaires et de veinules.

I.2. L'endothélium et le glycocalyx

L'endothélium est une monocouche de cellules endothéliales, reliées entre elles par des jonctions serrées, associée à une lame basale. L'ensemble constitue l'intima des vaisseaux sanguins et lymphatiques, en contact direct avec le sang et ses éléments figurés sur leur versant intraluminal (2). Il possède de nombreuses propriétés homéostatiques, notamment le contrôle du tonus vasculaire via la sécrétion de monoxyde d'azote (NO), la régulation de l'activation et de l'agrégation plaquettaire, une action anticoagulante et fibrinolytique en situation physiologique. L'endothélium est également un acteur majeur de la régulation de la perméabilité vasculaire en formant une barrière semi-perméable modulant le passage des macromolécules et des fluides du sang vers les tissus.

Sur le versant endovasculaire de l'endothélium est ancré le glycocalyx (Fig. 1), une couche d'une épaisseur de 0,5 à 1 μm constituée principalement de protéoglycanes (syndecans et glypicans) liées à des glycosaminoglycanes (héparane, chondroïtine, dermatane, kératane et hyaluronane sulfates) (3). En son sein sont enchâssées de nombreuses glycoprotéines, notamment de la famille des molécules d'adhésion cellulaire : sélectines (E-selectines, P-selectines), intégrines et immunoglobulines (ICAM, VCAM et PECAM), impliquées dans la signalisation cellulaire et les interactions plaquettes-cellules endothéliales et leucocytes-cellules endothéliales. Sont présentes également des molécules impliquées dans la régulation de l'hémostase (anti-thrombine III), ainsi que des molécules chargées négativement, responsables de la pérennité de la perméabilité vasculaire (orosomucoïde, albumine) par le maintien d'une pression oncotique.

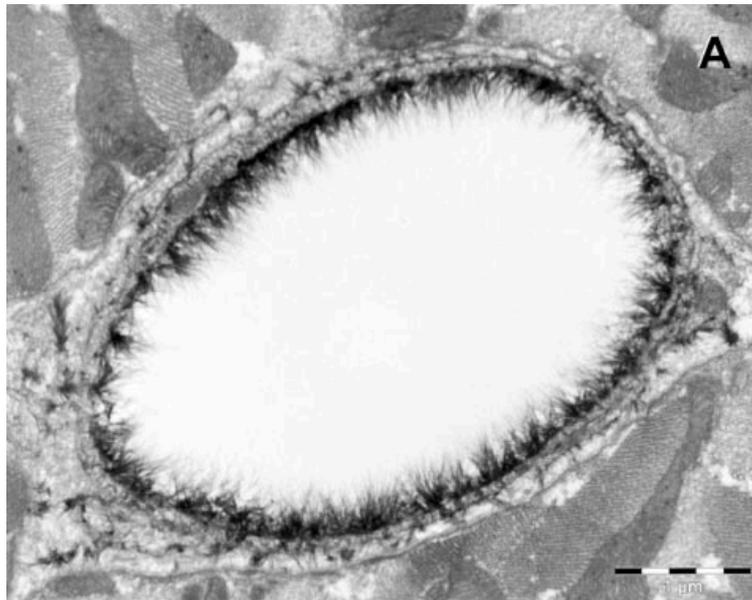


Figure 1 : visualisation directe du glycocalyx endothélial au niveau de coupes de capillaires myocardiques de rats en microscopie électronique (4).

La variété des propriétés de ses composants en fait un déterminant clé de la régulation du flux hydrique transcapillaire, de la diapédèse leucocytaire, de l'hémostase locale et de la régulation du tonus vasomoteur par modulation de la production endothéliale de NO (5).

I.3. Dispositifs d'étude du glycocalyx

Étant donné sa fragilité et ses dimensions, il est difficile de procéder à une évaluation directe du glycocalyx *in vivo*. Les premières descriptions furent réalisées dès le milieu des années 1960 par microscopie électronique à partir de biopsies vasculaires après préparation spécifique, puis par visualisation directe par microscopie intravitale chez l'animal après perfusions intravasculaires de composés fluorescents (6), non réalisables chez l'humain. Il est également possible d'estimer de façon indirecte la dégradation du glycocalyx par le dosage de certains de ses composants, notamment syndecan-1 ou héparane sulfate, mais ces procédés, onéreux, ne sont réservés qu'au domaine de la recherche.

Ont enfin été développées des techniques de visualisation indirectes *in vivo* depuis la fin des années 1990 (7), comme la microscopie orthogonale par polarisation spectrale (OPS), dont dérive la technique qui nous intéresse, la sidestream dark-field imaging (SDF), utilisée par notre dispositif d'étude, le Glycocheck®. Une caméra à grossissement X 5 est associée à un anneau concentrique de diodes électroluminescentes. Elles émettent une lumière verte d'une longueur d'onde de 530 nm tout en permettant une acquisition haute définition des images via le couplage à un ordinateur avec logiciel d'enregistrement vidéo. Cette longueur d'onde étant absorbée par l'hémoglobine, les globules rouges (GR) apparaissent sombres (Fig. 2) et permettent la visualisation des vaisseaux les contenant, de façon dynamique (8). L'application se fait préférentiellement au niveau sublingual étant donné sa facilité d'accès, mais d'autres sites sont envisageables. Il existe également d'autres méthodes que nous ne détaillerons pas ici, dont l'imagerie de contraste speckle laser.

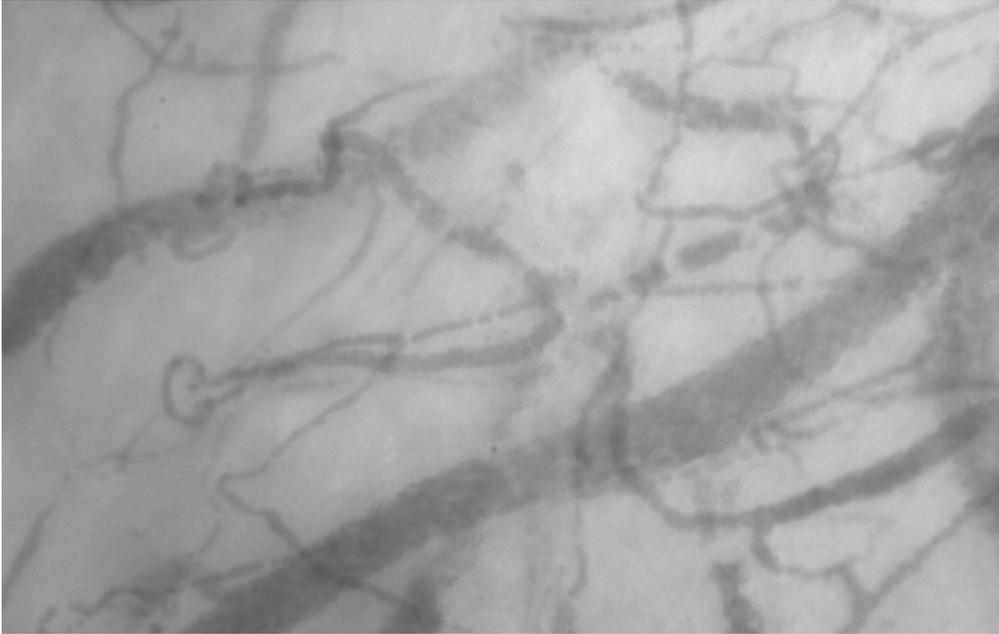


Figure 2 : visualisation de la microcirculation sublinguale via l'application du dispositif Glycocheck ®.

Cette technologie permet l'obtention de plusieurs paramètres, en particulier la densité capillaire, le flux sanguin capillaire et la peripheral boundary region (PBR), permettant une estimation de l'épaisseur du glycocalyx endothélial. En conditions physiologiques, il protège l'endothélium du contact direct avec les cellules circulantes et induit un flux de GR linéaire dans la région centrale des vaisseaux. Le PBR correspond à la partie du glycocalyx perméable aux cellules sanguines (Fig. 3). En cas de perte d'intégrité du glycocalyx, les GR peuvent alors pénétrer plus profondément vers l'endothélium, ce qui se traduit par une augmentation du PBR (9). Il a été montré qu'une majoration du PBR, correspondant à une faible épaisseur de glycocalyx, était associée à une altération de la perfusion microcirculatoire (10), comme décrit dans de nombreuses pathologies chroniques et aiguës.

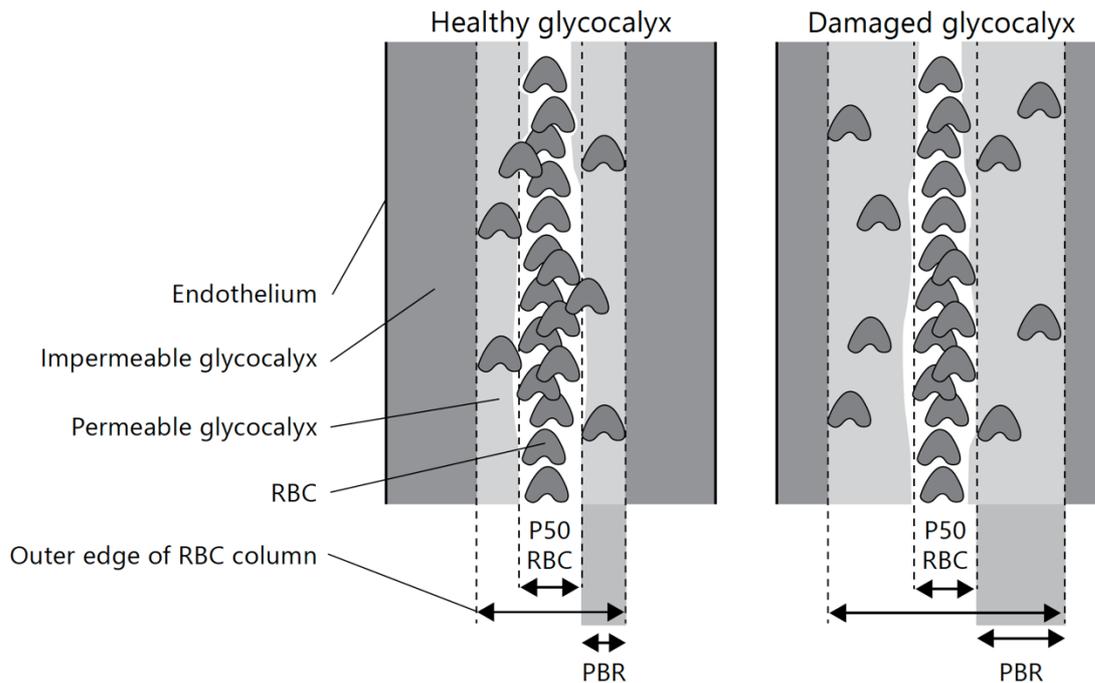


Figure 3 : représentation schématique du PBR en situation physiologique (à gauche) et en situation d'altération du glyocalyx (à droite) avec majoration du PBR, selon Martens (11).

I.4. Altérations du glyocalyx

I.4.1. Altérations septiques

Le sepsis, une entité définie par une dysfonction d'organe menaçant le pronostic vital en lien avec une réponse dérégulée à une infection, est une pathologie sévère. Il est responsable d'une forte morbi-mortalité et de couts de santé importants à travers le monde avec 11 millions de décès annuels rapportés par l'Organisation Mondiale de la Santé (12). Dans ces états infectieux, de nombreuses cytokines pro-inflammatoires sont produites ($\text{TNF } \alpha$, IL-6...), conduisant à une dégradation du glyocalyx avec augmentation des taux circulants de syndecan-1 ou d'héparan-sulfate (13) et, in fine, à une augmentation de la morbi-mortalité des patients septiques présentant ces augmentations (14).

L'utilisation de techniques SDF a également conduit aux mêmes observations, avec une altération de l'épaisseur du glyocalyx endothélial chez les patients septiques de réanimation

(15). Des recommandations d'utilisation de ces dispositifs d'étude du glycocalyx ont enfin été rédigées en 2007, puis révisées en 2018, afin de guider le clinicien dans sa pratique quotidienne et de recherche (16).

I.4.2. Altérations associées à la chirurgie cardiaque

Les procédures chirurgicales cardiaques sont des techniques requérant soit l'ouverture des cavités (remplacement valvulaire), soit une immobilité de la pompe cardiaque (pontages). Elles nécessitent la mise en place per-opératoire d'un shunt artificiel, la circulation extra-corporelle (CEC), qui remplace la fonction cardiaque et assure l'oxygénation par l'acheminement du sang à travers une membrane d'oxygénation par une pompe à galets.

Malgré le caractère transitoire de ce type de support, il est à l'origine d'une réponse inflammatoire systémique majeure et prolongée (17,18). Il a de plus, été démontré une altération profonde du glycocalyx lors de l'utilisation de la CEC par dosages de ses produits de dégradation (19). Le mécanisme de cette dégradation semble surtout lié au contact du sang avec une surface exogène (circuit de la CEC), aux phénomènes d'ischémie-reperfusion d'organes et à la délivrance d'un flux laminaire et non pulsatile par la CEC (20,21). Ces modifications, retrouvées également après utilisation de dispositifs SDF et illustrées par une majoration du PBR dans une étude observationnelle, ont été décrites comme persistantes jusqu'à trois jours post-opératoire (22).

Les conséquences cliniques peuvent être minimes ou conduire à l'apparition d'un syndrome vasoplégique ou de dysfonctions d'organes pouvant être prolongées en postopératoire (23). De nombreuses études ont testé des thérapeutiques (corticothérapie, vitaminothérapie...) afin de préserver l'intégrité du glycocalyx en chirurgie cardiaque avec obtention d'un épaissement du glycocalyx per et post-opératoire (24), sans implication clinique retrouvée pour le moment (25).

I.4.3. Altérations chroniques du glycocalyx

Devant l'intérêt grandissant pour les altérations de la microcirculation en conditions aiguë, de nombreuses études ont également été menées pour caractériser ces modifications en situations chroniques et particulièrement dans les pathologies vasculaires.

Il est en effet décrit que l'intégrité du glycocalyx endothélial est compromise dans les cas d'hyperglycémie, avec un PBR augmenté de façon proportionnelle aux taux d'hémoglobine glyquée chez les patients diabétiques de type 2 (26). De façon comparable, il est bien établi que dans l'insuffisance cardiaque chronique existe une dysfonction microcirculatoire, avec élévation des taux de syndecan-1 chez ces patients qui est décrit comme facteur prédictif d'aggravation et de mortalité à long terme (27). De similaires observations ont également été décrites en cas d'insuffisance rénale chronique, avec diminution de l'épaisseur du glycocalyx endothélial et élévation des taux de syndecan-1 inversement proportionnelle au débit de filtration glomérulaire de ces patients (28).

I.5. Objectifs de l'étude

La population éligible à une prise en charge chirurgicale cardiaque, des patients souvent âgés et comorbides (diabète, hypertension artérielle...), présente de façon certaine des altérations microcirculatoires préexistantes à l'intervention.

Devant le rôle central tenu par la dégradation de la microcirculation lors de la CEC, nous avons cherché à savoir si une altération du glycocalyx préopératoire pouvait être un facteur prédictif des complications postopératoires en chirurgie cardiaque.

II. Matériel et méthodes

II.1. Matériel

Cette étude a été réalisée au sein du service de Chirurgie cardiaque du CHU de Rouen, entre décembre 2020 et novembre 2022, soit sur une durée totale de 24 mois. Il s'agit d'une étude de cohorte prospective observationnelle monocentrique. Elle a été réalisée en conformité avec la déclaration éthique d'Helsinki d'octobre 2013 et a obtenu un avis favorable du Comité de Protection des Personnes « Ile De France III » le 07 Juillet 2020 sous le numéro 2020-A01732-37. Elle a été enregistrée sous le numéro NCT04643535 sur le site www.clinicaltrials.gov.

Les patients éligibles devaient subir une chirurgie cardiaque sous circulation extracorporelle. L'inclusion avait lieu la veille de la chirurgie et ils bénéficiaient d'une information loyale orale et écrite avec recueil de non-opposition, notifiée dans leur dossier médical. Les critères de non-inclusion retenus étaient les suivants :

- Patients mineurs,
- Refus de participation du patient,
- Patient ne comprenant pas la langue française,
- Patient sous mesure de sauvegarde de justice,
- Impossibilité de réaliser la mesure : antécédent de chirurgie buccale, syndrome sec ou lésion intra-buccale.

II.2. Objectifs

L'objectif principal de cette étude était l'évaluation de l'association entre épaisseur du glycocalyx préopératoire et apparition de défaillances d'organes dans les quarante-huit premières heures post-opératoires. Le critère de jugement principal était composite et défini par l'apparition d'un choc vasoplégique, d'un choc cardiogénique, la persistance d'une ventilation

mécanique prolongée pendant plus de 24 heures, une insuffisance rénale aiguë et/ou le décès du patient dans les quarante-huit premières heures postopératoires.

Le choc vasoplégique était défini par la nécessité d'un traitement par Noradrénaline en perfusion continue à une posologie supérieure à 0,1 µg/kg/min pendant une durée supérieure ou égale à 4 heures. Le choc cardiogénique par l'utilisation de Dobutamine en perfusion continue à une posologie supérieure à 5 µg/kg/min ou la persistance d'un index cardiaque < 2,2 L/min/m². L'insuffisance rénale aiguë (IRA) était définie dans notre étude par l'obtention d'un score KDIGO supérieur ou égal à 2 (Annexe 1).

Les objectifs secondaires étaient l'étude de l'association entre épaisseur du glycocalyx préopératoire et morbi-mortalité tardive, évaluée vingt-huit jours après l'intervention chirurgicale. Les critères secondaires retenus étaient l'apparition dans les vingt-huit jours postopératoires de l'un des événements suivants :

- Décès du patient,
- Troubles du rythme auriculaire ou ventriculaire lors de la surveillance scopée, d'une durée significative : supérieurs à 5 minutes pour les troubles du rythme auriculaires, et à 30 secondes pour les troubles du rythme ventriculaires,
- Accident vasculaire cérébral (AVC),
- Dysfonction cognitive postopératoire,
- Infarctus du myocarde (authentifié par la réalisation d'un cathétérisme cardiaque),
- Détresse respiratoire aiguë nécessitant une oxygénothérapie > 5L/min, une ventilation non invasive ou une intubation orotrachéale,
- Pneumopathie aiguë infectieuse,
- Médiastinite bactérienne,
- Choc septique.

II.3.Design de l'étude, méthodologie des interventions et observations

Le dispositif d'étude du glycocalyx in vivo utilisé est commercialisé sous le nom de GlycoCheck ® et est composé d'une caméra (CapiScope HVCS, K.K. Technologies, UK), couplée au logiciel d'analyse GlycoCheck dans sa version 5.2 (Microvascular Health Solutions Inc, USA). Le vidéomicroscope utilise la technique d'imagerie SDF décrite précédemment, reposant sur l'application sublinguale d'une source lumineuse verte de longueur d'onde comprise entre 530 et 548 nm. Absorbée par l'hémoglobine, elle permet de visualiser directement les globules rouges en négatif, à une profondeur d'environ 500 µm, permettant la visualisation directe de la microcirculation au lit du patient. La caméra et sa lentille étaient protégées par des dispositifs à usage unique en plastique stérile, confectionnés par le laboratoire K.K. Technologies. L'appareil nécessitait un réglage manuel de la mise au point de l'image, réalisée au lit du patient après mise en place de la sonde. L'intensité lumineuse était automatiquement définie pour éviter une sous ou une surexposition de la vidéo.

La mesure était complétée après l'enregistrement de 3 000 segments vasculaires de 10 µm de longueur chacun, après stabilisation de l'intensité lumineuse, mise au point correcte et absence de mouvement de l'opérateur manipulant la sonde. Nous effectuions 4 à 6 mesures par patient, pour une durée comprise entre 20 et 40 minutes au total. Ces mesures, réalisées au sein de vaisseaux d'un diamètre < 20 µm (29), permettaient l'acquisition de différentes valeurs : PBR (µm), flux sanguin microvasculaire (µm/sec/mm²), densité capillaire totale (mm/mm²) et volume sanguin capillaire (10³/µm³).

L'intervention chirurgicale se déroulait sous anesthésie générale. Son protocole était laissé à la discrétion du médecin anesthésiste-réanimateur responsable. Les suites post-opératoires

immédiates avaient systématiquement lieu dans le service de réanimation cardiaque sous surveillance scopée puis dans le service de chirurgie cardiaque du CHU de Rouen.

Le recueil des données se faisait de façon multimodale. Les données peropératoires étaient obtenues via l'analyse du dossier anesthésique du patient. Les événements en réanimation et dans le service de Chirurgie cardiaque étaient disponibles sur le logiciel *IntelliSpace Critical Care and Anesthesia* (ICCA ; Koninklijke Philips N.V.) et CDP2 (logiciel de dossier patient électronique du CHU de Rouen).

Les patients retournés à domicile avant le vingt-huitième jour postopératoire étaient recontactés par téléphone. En cas d'impossibilité de contact (absence de réponse, absence de coordonnées téléphoniques tracées dans le dossier), les patients étaient considérés comme vivants devant le recours probable à des soins au CHU de Rouen en cas de dégradation clinique.

II.4. Analyse statistique

Devant le caractère physiopathologique et pilote de l'étude, nous avons estimé que l'inclusion de 100 patients dans la cohorte apporterait des données suffisamment robustes.

L'analyse statistique et les graphiques ont été réalisés grâce au logiciel GraphPad Prism dans sa version 8.2.1. Les données démographiques et l'épaisseur du glycocalyx représentée par le PBR ont été exprimées sous forme de moyennes avec écart-types (SD) après vérification de la normalité de la distribution des valeurs par réalisation d'un test de Shapiro-Wilk. Les comparaisons entre différents groupes ont été réalisées par des tests t de Student. En cas de distribution non normale, les résultats étaient présentés sous forme de médiane et la comparaison des groupes était réalisée par un test de Mann-Whitney. Pour l'ensemble des analyses statistiques, une valeur de significativité de 5% ($p < 0,05$) a été retenue comme pertinente.

III. Résultats

III.1. Statistiques démographiques de notre population

Nous avons inclus 100 patients dans notre protocole GLYPOCS, dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau 1, sur une durée totale de 24 mois. Cela représentait 7,8% des patients ayant bénéficié d'une chirurgie cardiaque sous CEC sur la même durée (n = 1281 patients) au CHU de Rouen.

Le PBR moyen observé dans la population étudiée était de $2,18 \pm 0,18 \mu\text{m}$. Le flux microvasculaire moyen mesuré était de $541,7 \pm 224 \mu\text{m}/\text{sec}/\text{mm}^2$, la densité capillaire totale de $269,31 \pm 86,7 \text{ mm}/\text{mm}^2$. Enfin, le volume sanguin capillaire moyen de la population était de $10,24 \pm 6,02 10^3/\mu\text{m}^3$.

Tableau 1 : caractéristiques de la population de l'étude, moyennes \pm SD.

Nombre total de patients		100
Age moyen (années)		$66,0 \pm 9,0$
Femmes (%)		32,0
IMC moyen (kg/m^2)		$28,0 \pm 5,0$
Hémoglobine moyenne préopératoire (g/dL)		$14,0 \pm 1,4$
Euroscore II moyen (%)		$2,4 \pm 2,8$
MDRD moyen préopératoire (mL/min)		$83,7 \pm 24$
FEVG préopératoire moyenne (%)		$62,9 \pm 9,6$
Coronaropathie (%)		62,0
Valvulopathie (%)		68,0
Hypertension artérielle (%)		72,0

Hypercholestérolémie (%)	61,0
Tabagisme (%)	42,0
Diabète (%)	23,0
Durée de CEC moyenne (min)	95,1 ± 50,1
Durée de clampage aortique moyen (min)	73,5 ± 40,2
Noradrénaline peropératoire (%)	46,0
Troponinémie maximum moyenne (ng/L)	768,1 ± 889,8
IGS II moyen	34,4 ± 11
Durée de ventilation mécanique moyenne (heures)	10,5 ± 5,6
Durée hospitalisation réanimation moyenne (heures)	77,0 ± 33,6
Durée hospitalisation totale moyenne (jours)	11,8 ± 6,0

Les patients présentant des complications postopératoires précoces n'étaient pas différents des patients exempts de ces complications en termes de caractéristiques préopératoires, comme présenté dans le tableau 2.

Tableau 2 : caractéristiques préopératoires des deux groupes de notre cohorte.

	Patients présentant des complications postopératoires précoces	Patients indemnes de complications précoces
Age moyen (années)	66,0	65,5
Femmes (%)	30	34
IMC moyen (kg/m²)	29,0	26,9

Hémoglobine (g/dL)	13,76	14,31
MDRD moyen (mL/min)	82,4	85,1
FEVG préopératoire (%)	60	66
Coronaropathie (%)	62,3	61,7
Valvulopathie (%)	71,7	63,8
HTA (%)	72	72
HCT (%)	62,3	59,6
Diabète (%)	26,4	19,1

III.2. Critère de jugement principal

Au cours de l'étude, 53% des patients ont atteint le critère de jugement principal qui correspondait à la présence d'au moins une défaillance d'organe majeure : décès, insuffisance rénale aiguë avec score KDIGO ≥ 2 , vasoplégie, choc cardiogénique ou ventilation mécanique prolongée. La moyenne du PBR des patients présentant des complications dans les 48 premières heures postopératoires était de $2,206 \pm 0,168 \mu\text{m}$. Les patients indemnes de toutes complications précoces présentaient un PBR moyen de $2,155 \pm 0,181 \mu\text{m}$ (Fig. 4). La différence entre les deux groupes est de $0,051 \pm 0,035 \mu\text{m}$ et n'atteignait pas la significativité ($p = 0,15$).

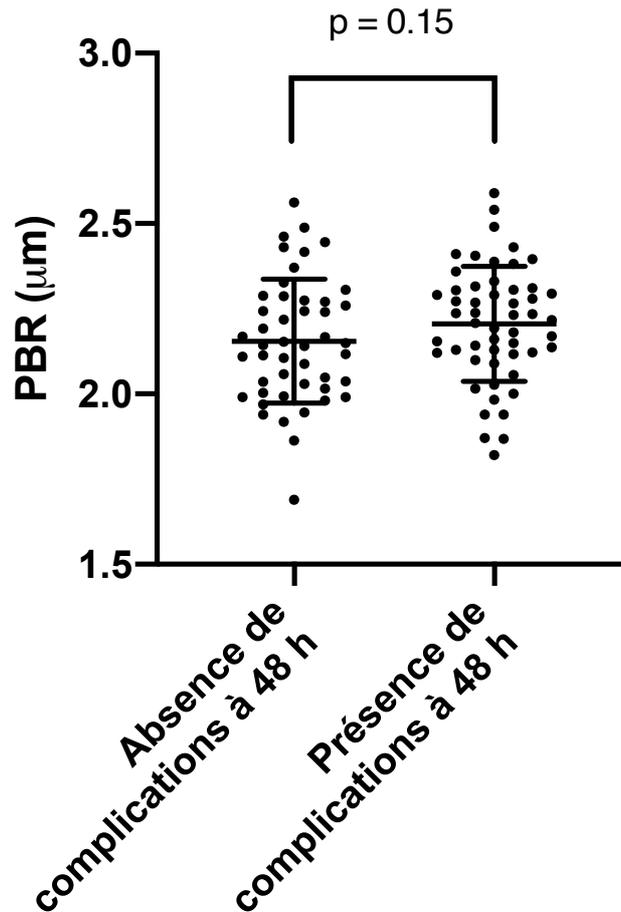


Figure 4 : PBR moyens des patients présentant des complications au bout de 48 heures postopératoires et des patients indemnes de toutes complications (moyenne \pm SD).

III.3. Critère de jugement secondaire

Le critère de jugement secondaire, représenté par une complication apparue dans les 28 jours postopératoires, était présent pour 44% des patients de notre étude. Le PBR moyen des patients présentant une complication était de $2,198 \pm 0,159 \mu\text{m}$. Les patients ne présentant pas de complications tardives présentaient un PBR moyen de $2,169 \pm 0,188 \mu\text{m}$ (Fig. 5). La différence entre les deux groupes était de $0,030 \pm 0,035 \mu\text{m}$ et n'atteignait pas non plus la significativité ($p = 0,40$).

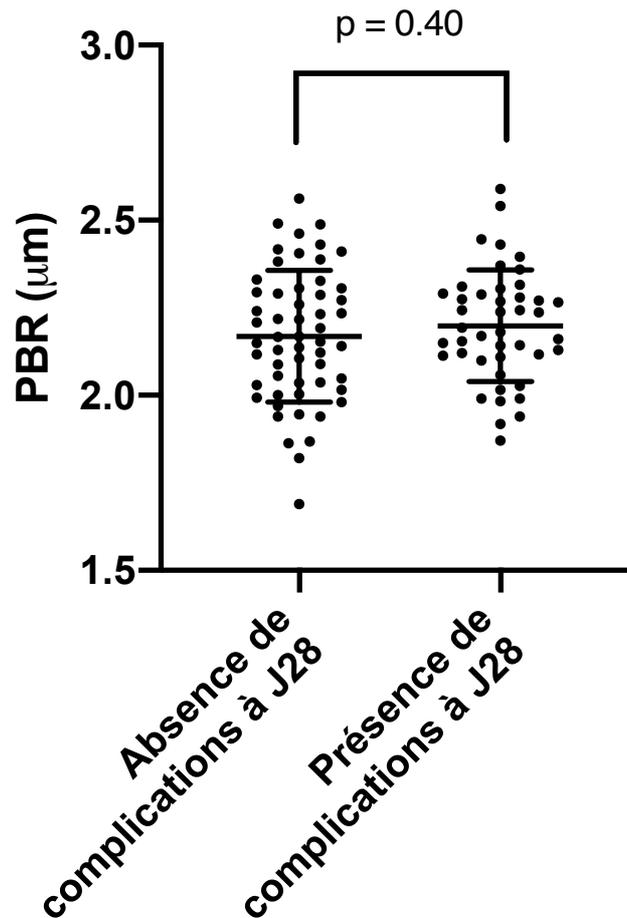


Figure 5 : PBR moyens des patients présentant ou non des complications au bout de 28 jours postopératoires (moyenne \pm SD).

III.4. Complications postopératoires précoces et analyses en sous-groupes

Dans notre étude, aucun décès n'est survenu dans les 48 premières heures postopératoires et un seul décès a été constaté de façon tardive. La complication la plus fréquente était l'insuffisance rénale aiguë, suivie par le syndrome vasoplégique puis le choc cardiogénique (Tableau 3).

Tableau 3 : fréquence des complications postopératoires précoces dans notre population.

Complications précoces	Fréquence
IRA :	
• KDIGO 2	45%
• KDIGO 3	1%
Vasoplégie	12%
Choc cardiogénique	7%
Ventilation mécanique > 24h	3%
Décès	0%

Devant un critère de jugement principal composite, il a été procédé à des analyses en sous-groupes afin de déterminer si les modifications du glycocalyx préopératoires pouvaient être associées à des complications spécifiques postopératoires.

Les patients présentant une IRA postopératoire isolée avaient un PBR moyen de $2,215 \pm 0,163 \mu\text{m}$ et les patients n'en présentant pas avaient un PBR moyen de $2,153 \pm 0,182 \mu\text{m}$. La différence de $0,062 \mu\text{m}$ ne permettait pas d'atteindre la significativité statistique ($p = 0,078$).

Les patients présentant un choc vasoplégique postopératoire avaient un PBR moyen de $2,256 \pm 0,112 \mu\text{m}$ et les patients indemnes de vasoplégie présentaient un PBR moyen de $2,172 \pm 0,181 \mu\text{m}$, différence également non significative statistiquement ($p = 0,12$). Les patients présentant un choc cardiogénique postopératoire avaient un PBR moyen de $2,102 \pm 0,180 \mu\text{m}$ alors que les patients indemnes présentaient un PBR moyen de $2,188 \pm 0,180 \mu\text{m}$; la différence n'atteignant pas non plus la significativité ($p = 0,216$). Nous ne retrouvons pas non plus de différence significative sur l'apparition d'une hyperlactatémie post-opératoire ($p = 0,715$).

Il n'y avait pas de différence significative observée sur les valeurs préopératoires de densité capillaire en termes de complications postopératoires ($p = 0,0936$).

L'analyse du flux sanguin capillaire retrouvait une valeur médiane de 468,8 $\mu\text{m}/\text{sec}/\text{mm}^2$ pour les patients présentant des complications précoces et de 581,9 $\mu\text{m}/\text{sec}/\text{mm}^2$ pour les patients indemnes de ces complications. La différence entre les deux groupes était de 113,2 $\mu\text{m}/\text{sec}/\text{mm}^2$ et était significative statistiquement avec obtention d'un $p = 0,012$ (Fig.6).

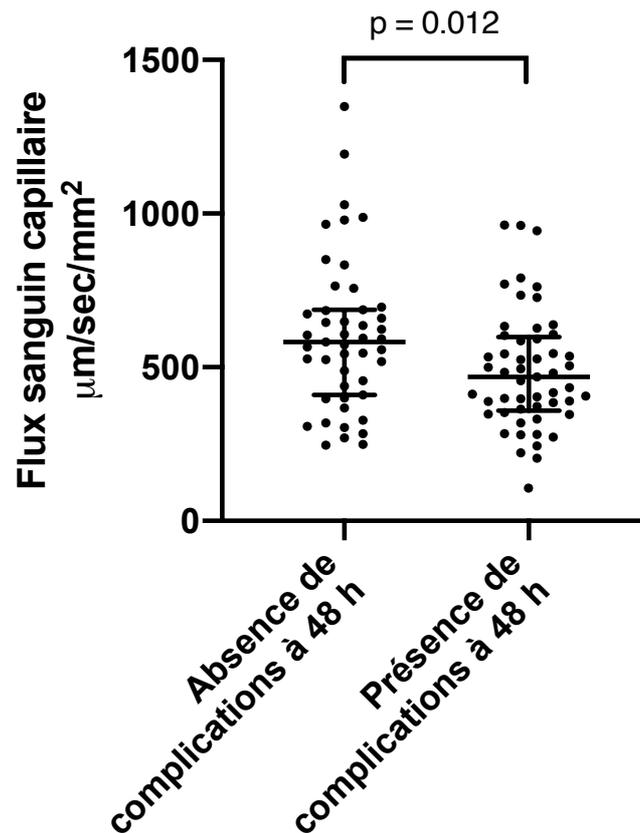


Figure 6 : flux sanguin capillaire préopératoire des patients présentant ou non des complications postopératoires précoces (médiane).

III.5. Complications tardives et analyses en sous-groupes

Les complications tardives impliquaient un plus faible nombre de patients mais elles ont été marquées par la forte prévalence de troubles du rythme cardiaques et de détresses respiratoires aiguës (Tableau 4).

Tableau 4 : fréquence des complications postopératoires tardives dans notre cohorte.

Complications tardives	Fréquence
Troubles du rythme auriculaires ou ventriculaires	26%
Détresse respiratoire aiguë	17%
Pneumopathie infectieuse	6%
Accident vasculaire cérébral	5%
Confusion	4%
Médiastinite	2%
Choc septique	1%
IDM	1%
Décès	1%

Les patients présentant des troubles du rythme ventriculaires ou auriculaires avaient un PBR moyen de $2,207 \pm 0,189 \mu\text{m}$ alors que les patients indemnes de troubles du rythme postopératoires présentaient un PBR moyen de $2,174 \pm 0,171 \mu\text{m}$, soit une différence de $0,026 \mu\text{m}$ n'atteignant pas la significativité ($p = 0,420$). Dans le cas de l'apparition d'une détresse respiratoire aiguë, les patients présentant ce type de complications avaient un PBR moyen à $2,156 \pm 0,127 \mu\text{m}$ alors que les patients sans détresse respiratoire aiguë avaient un PBR moyen de $2,188 \pm 0,184 \mu\text{m}$, différence non significative statistiquement ($p = 0,505$).

Nous avons cherché à savoir si une augmentation de la troponinémie $> 1000 \text{ ng/L}$, ce qui concernait 19% des patients, pouvait être prédite par une majoration du PBR. Les patients avec une troponinémie $> 1000 \text{ ng/L}$ avaient un PBR à $2,236 \pm 0,178 \mu\text{m}$ et ceux avec des taux inférieurs présentaient un PBR à $2,170 \pm 0,174 \mu\text{m}$, sans différence significative ($p = 0,139$). Il

n'y avait pas de différence sur le PBR pour les patients hospitalisés en réanimation plus de 72 heures ($p = 0,198$).

Il est à noter une différence significative sur le PBR des patients hospitalisés plus de 10 jours au CHU pour leur prise en charge totale, avec un PBR moyen pour les patients bénéficiant d'une hospitalisation longue de $2,225 \pm 0,169 \mu\text{m}$ alors qu'il n'était que de $2,146 \pm 0,175 \mu\text{m}$ pour les patients hospitalisés 10 jours ou moins ($p = 0,027$).

En termes de flux sanguin capillaire, il n'y avait pas de différence significative ($p = 0,81$) entre les patients exempts de complications tardives (flux sanguin médian = $530,4 \mu\text{m}/\text{sec}/\text{mm}^2$) et les patients présentant ces complications (flux sanguin médian = $499,7 \mu\text{m}/\text{sec}/\text{mm}^2$).

IV. Discussion

A ce jour, notre étude, observationnelle prospective, était la première à s'intéresser à l'épaisseur du glycocalyx chez des patients fortement comorbides en préopératoire de chirurgie cardiaque comme possible facteur prédictif des complications postopératoires.

Malgré l'inclusion d'un nombre conséquent de patients, aucune corrélation n'a été mise en évidence entre l'épaisseur du glycocalyx préopératoire et l'apparition de complications postopératoires. Si une différence avait été montrée, il aurait pu sembler pertinent de proposer à ces patients des protocoles de préservation du glycocalyx, notamment traitements par glucocorticoïdes, anti-héparanases ou encore anti-inflammatoires (30). En effet, actuellement, aucune thérapie de préservation de glycocalyx n'a montré de supériorité en termes de mortalité (25) et il aurait été pertinent de déterminer une technologie capable de sélectionner un groupe de patients plus susceptible de présenter des complications afin de leur proposer des thérapeutiques ciblées.

Il est à noter que le PBR moyen de la population étudiée ne diffère pas des valeurs obtenues par l'équipe de Dekker en 2019 qui visait à étudier les variations des paramètres obtenus par le GlycoCheck ® lors de la CEC (22). Il faut souligner le caractère dynamique de la composition et des dimensions du glycocalyx endothélial (21) lié à un équilibre constant entre production et dégradation selon les conditions rhéologiques locales, ceci pouvant expliquer l'absence de différence observée dans notre population très hétérogène.

Nos résultats suggèrent toutefois qu'une altération du flux sanguin microcirculatoire préopératoire était significativement différents chez les patients présentant des complications en postopératoire de chirurgie cardiaque, dans des populations homogènes par ailleurs. Il est à noter qu'il a été décrit en 2009 (31) qu'un flux microvasculaire sublingual diminué en préopératoire de chirurgie abdominale majeure était associé à un nombre significativement plus élevé d'évènements postopératoires. Les mêmes observations ont été réalisées chez des patients en choc septique et les altérations du flux sont corrélées à une augmentation de la fréquence des défaillances d'organe observées chez des patients aux constantes hémodynamiques macrocirculatoires comparables (32). De façon similaire et dans le cadre des modifications microcirculatoires liées aux pathologies chroniques, des baisses de flux sont décrites chez des patients insuffisants cardiaques chroniques en situation stable (33). Ces modifications de flux peuvent être dues à différents troubles liés à la cellule endothéliale notamment via des changements dans la régulation du tonus vasomoteur. Il est à noter que ces études utilisaient une technologie plus ancienne d'analyse de la microcirculation, avec une classification semi-quantitative basée sur le Microvascular Flow Index (MFI), évaluant de façon subjective la qualité de la microcirculation dans chaque quadrant de l'image. La technologie utilisée par le GlycoCheck ® permet une analyse plus objective et quantitative. Les mêmes limites générales de la technique de SDF s'appliquant néanmoins.

Ces observations traduisent que l'étude des indices microcirculatoires peut fournir des informations physiologiques et pronostiques disponibles plus précocement que par la surveillance hémodynamique globale seule. De nouvelles investigations semblent à mener afin d'établir de façon plus précise la corrélation entre altérations du flux microcirculatoires préopératoires et complications postopératoires et de pouvoir sélectionner les patients les plus à même de bénéficier d'éventuelles interventions thérapeutiques.

La complication postopératoire précoce la plus fréquente était l'insuffisance rénale aiguë, concernant 75% de notre cohorte avec une forte prévalence de KDIGO 1 (29%) et 2 (45%). Cette proportion est très importante, liée à l'oligurie plus qu'à la majoration de la créatininémie, superposable à ce qui put être observé précédemment (34). Il est à noter que l'IRA en postopératoire de chirurgie cardiaque est une entité bien connue, étant la deuxième cause d'IRA en soins intensifs après le sepsis et fait l'objet de nombreuses pistes de recherche, dont la mise en place de protocoles d'optimisation thérapeutique ou de préconditionnement ischémique. Cet intérêt est lié à l'augmentation de la mortalité postopératoire tardive associée à la présence d'une IRA, même légère ou modérée (35,36).

Le syndrome vasoplégique, la deuxième complication la plus fréquente dans notre cohorte, est également coutumier (5-25%), majorant la mortalité en postopératoire de chirurgie cardiaque. Il résulte de l'activation de mécanismes vasodilatateurs et de la résistance aux vasopresseurs et est également la cible de nombreux essais cliniques. Par exemple administration de vasopressine réduisant la mortalité postopératoire par rapport à la noradrénaline, existence de protocoles en cours pour l'utilisation de résines d'adsorption des cytokines pro-inflammatoires (37,38)...

Il faut souligner quelques limites présentes dans notre étude. La présence de troubles du rythme postopératoires est peu sensible car chez de nombreux patients préexistaient des troubles du rythme cardiaques (fibrillation atriale principalement) avant l'intervention. Leur apparition chez des patients déjà porteurs était donc ininterprétable. Nous pouvons constater une grande hétérogénéité de la population étudiée, ce qui était attendu du fait de la variété des chirurgies recensées et l'absence de critères de sélection restrictifs. Seulement 4% des patients présentaient un syndrome confusionnel postopératoire, ce qui semble témoigner d'une sous-estimation car la littérature rapporte une prévalence de 25 à 50% selon les séries (39), même si nos patients étaient globalement plus jeunes.

Il faut également noter une limite liée à l'utilisation du GlycoCheck ® en lui-même, la mesure requérant le maintien d'une stabilité d'image d'au moins 3 secondes, ce qui était moins aisé aux âges avancés (15% de la cohorte). Son utilisation en pratique courante demande également une certaine expertise, avec la réalisation de plusieurs séries de mesures avant d'obtenir une bonne reproductibilité inter et intra-observateur, comme observé dans la littérature (40). L'entraînement obligatoire, le temps de mesure et l'immobilité primordiale du patient en font un outil d'usage délicat de façon quotidienne. De plus, selon le fabricant, il est nécessaire de respecter des conditions strictes pré analytiques : jeûne de 4h minimum, absence de caféine dans la journée, repos obligatoire avant la mesure. Ces conditions, difficiles à appliquer en vie réelle, peuvent constituer un biais (41) même si les mesures étaient réalisées tant que possible à distance de la prise alimentaire.

Il aurait été pertinent d'évaluer l'épaisseur du glycocalyx postopératoire et d'en déduire les altérations induites par la CEC chez ces patients. Une nouvelle étude est en cours au CHU de Rouen afin de caractériser les altérations péri-opératoires du glycocalyx, sous la direction du Dr Demailly.

Devant la très forte prévalence des complications postopératoires en chirurgie cardiaque, il semble que les possibilités d'améliorations, notamment sur l'insuffisance rénale, possiblement guidées par l'étude de la dysfonction microcirculatoire, sont multiples et prometteuses.

En conclusion, il n'a pas été montré que l'épaisseur préopératoire du glycocalyx sublingual pourrait être à même de prédire les complications secondaires à la réalisation de procédures de chirurgie cardiaque mais que les altérations de flux microcirculatoires au niveau sublingual peuvent constituer un élément de screening intéressant.

V. Bibliographie

1. Fischer MO, Mahjoub Y. Manuel d'hémodynamique appliquée en anesthésie-réanimation et médecine peri-opératoire. 2020.
2. Félétou M. The Endothelium, Part I: Multiple Functions of the Endothelial Cells -- Focus on Endothelium-Derived Vasoactive Mediators. *Colloq Ser Integr Syst Physiol Mol Funct.* 2011;3(4):1-306.
3. Reitsma S, Slaaf DW, Vink H, van Zandvoort MAMJ, oude Egbrink MGA. The endothelial glycocalyx: composition, functions, and visualization. *Pflüg Arch - Eur J Physiol.* 2007;454(3):345-59.
4. van den Berg BM, Vink H, Spaan JAE. The Endothelial Glycocalyx Protects Against Myocardial Edema. *Circ Res.* 2003;92(6):592-4.
5. Mochizuki S, Vink H, Hiramatsu O, Kajita T, Shigeto F, Spaan JAE, et al. Role of hyaluronic acid glycosaminoglycans in shear-induced endothelium-derived nitric oxide release. *Am J Physiol-Heart Circ Physiol.* 2003;285(2):H722-6.
6. Vink H, Duling BR. Identification of Distinct Luminal Domains for Macromolecules, Erythrocytes, and Leukocytes Within Mammalian Capillaries. *Circ Res.* 1996;79(3):581-9.
7. Groner W, Winkelmann JW, Harris AG, Ince C, Bouma GJ, Messmer K, et al. Orthogonal polarization spectral imaging: A new method for study of the microcirculation. *Nat Med.* 1999;5(10):1209-12.
8. Stureson C, Nilsson J, Eriksson S. Non-invasive imaging of microcirculation: a technology review. *Med Devices Evid Res.* 2014;445.
9. Flick M, Duranteau J, Scheeren TWL, Saugel B. Monitoring of the Sublingual Microcirculation During Cardiac Surgery: Current Knowledge and Future Directions. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2020;34(10):2754-65.

10. Lee DH, Dane MJC, van den Berg BM, Boels MGS, van Teeffelen JW, de Mutsert R, et al. Deeper Penetration of Erythrocytes into the Endothelial Glycocalyx Is Associated with Impaired Microvascular Perfusion. Secomb TW, éditeur. PLoS ONE. 2014;9(5):e96477.
11. Martens RJH, Vink H, van Oostenbrugge RJ, Staals J. Sublingual Microvascular Glycocalyx Dimensions in Lacunar Stroke Patients. Cerebrovasc Dis. 2013;35(5):451-4.
12. Rudd KE, Johnson SC, Agesa KM, Shackelford KA, Tsoi D, Kievlan DR, et al. Global, regional, and national sepsis incidence and mortality, 1990–2017: analysis for the Global Burden of Disease Study. The Lancet. 2020;395(10219):200-11.
13. Wiesinger A, Peters W, Chappell D, Kentrup D, Reuter S, Pavenstädt H, et al. Nanomechanics of the Endothelial Glycocalyx in Experimental Sepsis. Sokolov I, éditeur. PLoS ONE. 20 nov 2013;8(11):e80905.
14. Nelson A, Berkestedt I, Schmidtchen A, Ljunggren L, Bodelsson M. Increased levels of glycosaminoglycans during septic shock: relation to mortality and the antibacterial actions of plasma. Shock. 2008;30(6):623-7.
15. Donati A, Damiani E, Domizi R, Romano R, Adrario E, Pelaia P, et al. Alteration of the sublingual microvascular glycocalyx in critically ill patients. Microvasc Res. 2013;90:86-9.
16. On behalf of the Cardiovascular Dynamics Section of the ESICM, Ince C, Boerma EC, Cecconi M, De Backer D, Shapiro NI, et al. Second consensus on the assessment of sublingual microcirculation in critically ill patients: results from a task force of the European Society of Intensive Care Medicine. Intensive Care Med. 2018;44(3):281-99.
17. Holmes IV JH, Connolly NC, Paull DL, Hill ME, Guyton SW, Ziegler SF, et al. Magnitude of the inflammatory response to cardiopulmonary bypass and its relation to adverse clinical outcomes. Inflamm Res. 2002;51(12):579-86.
18. Hall I, Stafford M, Rocker G. The Systemic Inflammatory Response to Cardiopulmonary Bypass: Pathophysiological, Therapeutic, and Pharmacological

Considerations. 1997;85(4):766-82.

19. Rehm M, Bruegger D, Christ F, Conzen P, Thiel M, Jacob M, et al. Shedding of the Endothelial Glycocalyx in Patients Undergoing Major Vascular Surgery With Global and Regional Ischemia. *Circulation*. 2007;116(17):1896-906.
20. Dekker RJ, van Soest S, Fontijn RD, Salamanca S, de Groot PG, VanBavel E, et al. Prolonged fluid shear stress induces a distinct set of endothelial cell genes, most specifically lung Krüppel-like factor (KLF2). *Blood*. 2002;100(5):1689-98.
21. Mulivor AW, Lipowsky HH. Inflammation- and ischemia-induced shedding of venular glycocalyx. *Am J Physiol-Heart Circ Physiol*. 2004;286(5):H1672-80.
22. Dekker NAM, Veerhoek D, Koning NJ, Leeuwen ALI, Elbers PWG, Brom CE, et al. Postoperative microcirculatory perfusion and endothelial glycocalyx shedding following cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Anaesthesia*. 2019;74(5):609-18.
23. Abou-Arab O, Kamel S, Beyls C, Huette P, Bar S, Lorne E, et al. Vasoplegia After Cardiac Surgery Is Associated With Endothelial Glycocalyx Alterations. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2020;34(4):900-5.
24. Brettner F, Chappell D, Nebelsiek T, Hauer D, Schelling G, Becker BF, et al. Preinterventional hydrocortisone sustains the endothelial glycocalyx in cardiac surgery. *Clin Hemorheol Microcirc*. 23 févr 2019;71(1):59-70.
25. Whitlock RP, Devereaux PJ, Teoh KH, Lamy A, Vincent J, Pogue J, et al. Methylprednisolone in patients undergoing cardiopulmonary bypass (SIRS): a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *The Lancet*. 2015;386(10000):1243-53.
26. Ikonomidis I, Pavlidis G, Thymis J, Birba D, Kalogeris A, Kousathana F, et al. Effects of Glucagon-Like Peptide-1 Receptor Agonists, Sodium-Glucose Cotransporter-2 Inhibitors, and Their Combination on Endothelial Glycocalyx, Arterial Function, and Myocardial Work Index in Patients With Type 2 Diabetes Mellitus After 12-Month Treatment. *J Am Heart Assoc*.

2020;9(9):e015716.

27. Tromp J, van der Pol A, Klip IJT, de Boer RA, Jaarsma T, van Gilst WH, et al. Fibrosis Marker Syndecan-1 and Outcome in Patients With Heart Failure With Reduced and Preserved Ejection Fraction. *Circ Heart Fail*. 2014;7(3):457-62.
28. Padberg JS, Wiesinger A, di Marco GS, Reuter S, Grabner A, Kentrup D, et al. Damage of the endothelial glycocalyx in chronic kidney disease. *Atherosclerosis*. 2014;234(2):335-43.
29. Rovas A, Sackarnd J, Rossaint J, Kampmeier S, Pavenstädt H, Vink H, et al. Identification of novel sublingual parameters to analyze and diagnose microvascular dysfunction in sepsis: the NOSTRADAMUS study. *Crit Care*. 2021;25(1):112.
30. Chappell D, Hofmann-Kiefer K, Jacob M, Rehm M, Briegel J, Welsch U, et al. TNF- α induced shedding of the endothelial glycocalyx is prevented by hydrocortisone and antithrombin. *Basic Res Cardiol*. 2009;104(1):78-89.
31. Jhanji S, Lee C, Watson D, Hinds C, Pearse RM. Microvascular flow and tissue oxygenation after major abdominal surgery: association with post-operative complications. *Intensive Care Med*. 2009;35(4):671-7.
32. Trzeciak S, McCoy JV, Phillip Dellinger R, Arnold RC, Rizzuto M, Abate NL, et al. Early increases in microcirculatory perfusion during protocol-directed resuscitation are associated with reduced multi-organ failure at 24 h in patients with sepsis. *Intensive Care Med*. 2008;34(12):2210-7.
33. Wadowski PP, Hülsmann M, Schörghofer C, Lang IM, Wurm R, Gremmel T, et al. Sublingual functional capillary rarefaction in chronic heart failure. *Eur J Clin Invest*. 2018;48(2):e12869.
34. Meersch M, Schmidt C, Hoffmeier A, Van Aken H, Wempe C, Gerss J, et al. Prevention of cardiac surgery-associated AKI by implementing the KDIGO guidelines in high risk patients identified by biomarkers: the PrevAKI randomized controlled trial. *Intensive Care Med*.

2017;43(11):1551-61.

35. Petäjä L, Vaara S, Liuhanen S, Suojaranta-Ylinen R, Mildh L, Nisula S, et al. Acute Kidney Injury After Cardiac Surgery by Complete KDIGO Criteria Predicts Increased Mortality. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2017;31(3):827-36.
36. Hobson CE, Yavas S, Segal MS, Schold JD, Tribble CG, Layon AJ, et al. Acute Kidney Injury Is Associated With Increased Long-Term Mortality After Cardiothoracic Surgery. *Circulation*. 2009;119(18):2444-53.
37. Hajjar LA, Jean-Louis Vincent. Vasopressin versus Norepinephrine in Patients with Vasoplegic Shock after Cardiac Surgery. *Anesthesiology*. 2017;126(1):85-93.
38. Papazisi O, Bruggemans EF, Berendsen RR, Hugo JDV, Lindeman JHN, Beeres SLMA, et al. Prevention of vasoplegia with CytoSorb in heart failure patients undergoing cardiac surgery (CytoSorb-HF trial): protocol for a randomised controlled trial. *BMJ Open*. 2022;12(9):e061337.
39. Rudolph JL, Jones RN, Levkoff SE, Rockett C, Inouye SK, Sellke FW, et al. Derivation and Validation of a Preoperative Prediction Rule for Delirium After Cardiac Surgery. *Circulation*. 2009;119(2):229-36.
40. Rovas A, Lukasz AH, Vink H, Urban M, Sackarnd J, Pavenstädt H, et al. Bedside analysis of the sublingual microvascular glycocalyx in the emergency room and intensive care unit – the GlycoNurse study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2018;26(1):16.
41. Eickhoff MK, Winther SA, Hansen TW, Diaz LJ, Persson F, Rossing P, et al. Assessment of the sublingual microcirculation with the GlycoCheck system: Reproducibility and examination conditions. Holda MK, éditeur. *PLOS ONE*. 2020;15(12):e0243737.

VI. Annexe

Stade	Créatinine plasmatique	Diurèse
1	$\geq 26,5$ $\mu\text{mol/L}$ ou 1,5 à 1,9 fois la créatinine plasmatique de base	$< 0,5$ ml/kg/h pendant 6 h à 12h
2	2,0 à 2,9 fois la créatinine plasmatique de base	$< 0,5$ ml/kg/h pendant ≥ 12 h
3	3,0 fois la créatinine plasmatique de base ou créatinine plasmatique ≥ 354 $\mu\text{mol/L}$ ou mise en route de l'épuration extra-rénale	$< 0,3$ ml/kg/h pendant ≥ 24 h ou anurie pendant ≥ 12 h

Annexe 1 : scores d'insuffisance rénale aiguë, adapté selon les recommandations KDIGO 2012.



SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, 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 et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque.

Résumé

Introduction : Le glycocalyx est une couche de glucides de 0,2 à 0,5 μm d'épaisseur recouvrant l'intima des vaisseaux sanguins, en contact étroit avec l'endothélium. Il est décrit de nombreux dommages de ce glycocalyx et de la microcirculation en situations aiguës et chroniques, notamment sur l'épaisseur du glycocalyx, représentée par le PBR, étudié par l'application sublinguale d'une technique de sidestream dark-field.

Objectifs : Déterminer si les altérations de la microcirculation per-opératoires peuvent prédire les complications en post opératoire, précoces (dans les 48 premières heures) ou tardives (dans les 28 premiers jours) de chirurgie cardiaque via l'utilisation du GlycoCheck®.

Résultats : Nous avons montré qu'il n'existe pas de différence significative ($p = 0,15$) sur le PBR préopératoire des patients présentant des complications précoces ($\text{PBR} = 2,206 \pm 0,168 \mu\text{m}$) ou tardives par rapport aux patients indemnes de ces complications ($\text{PBR} = 2,155 \pm 0,181 \mu\text{m}$). Il existe une différence significative sur le flux microcirculatoire préopératoire ($p = 0,0118$) entre les patients présentant des complications précoces et ceux n'en présentant pas.

Discussion : Ces observations indiquent un lien possible entre altérations microcirculatoires préopératoires et complications postopératoires précoces en chirurgie cardiaque, nécessitant de nouvelles investigations afin d'explorer les possibilités thérapeutiques en découlant.

Mots-clefs : dysfonction endothéliale, microcirculation, glycocalyx, chirurgie cardiaque, PBR, sidestream dark-field imaging