



HAL
open science

Analyse ergonomique de la charge de travail physique du chirurgien en coelochirurgie standard et assistée par robot : une évaluation subjective, musculaire et posturale

Nicolas Hubert

► To cite this version:

Nicolas Hubert. Analyse ergonomique de la charge de travail physique du chirurgien en coelochirurgie standard et assistée par robot : une évaluation subjective, musculaire et posturale. Sciences du Vivant [q-bio]. 2010. hal-01733533

HAL Id: hal-01733533

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733533>

Submitted on 14 Mar 2018

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.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITÉ HENRI
POINCARÉ, NANCY 1
ANNÉE 2010

FACULTE DE MÉDECINE
DE NANCY
N°

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement
dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée

Par

Nicolas HUBERT

Le 21 octobre 2010

**ANALYSE ERGONOMIQUE DE LA CHARGE DE TRAVAIL PHYSIQUE DU
CHIRURGIEN EN CÉLIOCHIRURGIE STANDARD ET ASSISTÉE PAR ROBOT**

UNE EVALUATION SUBJECTIVE, MUSCULAIRE ET POSTURALE

Examineurs de la thèse :

M. Pascal ESCHWEGE	Professeur		Président
M. Jacques FELBLINGER	Professeur	}	
M. Frédéric MARCHAL	Professeur	}	Juges
Mme. Martine GILLES	Docteur en Neurosciences	}	

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1
FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

Président de l'Université : Professeur Jean-Pierre FINANCE

Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Henry COUDANE

Vice Doyen Mission « sillon lorrain » : Professeur Annick BARBAUD

Vice Doyen Mission « Campus » : Professeur Marie-Christine BÉNE

Vice Doyen Mission « Finances » : Professeur Marc BRAUN

Vice Doyen Mission « Recherche » : Professeur Jean-Louis GUÉANT

Asseseurs :	
- Pédagogie :	Professeur Karine ANGIOÏ-DUPREZ
- 1 ^{er} Cycle :	Professeur Bernard FOLIGUET
- « Première année commune aux études de santé (PACES) et universitarisation études para-médicales »	M. Christophe NÉMOS
- 2 ^{ème} Cycle :	Professeur Marc DEBOUVERIE
- 3 ^{ème} Cycle : « <i>DES Spécialités Médicales, Chirurgicales et Biologiques</i> » « <i>DES Spécialité Médecine Générale</i> »	Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI Professeur Francis RAPHAËL
- Filières professionnalisées :	M. Walter BLONDEL
- Formation Continue :	Professeur Hervé VESPIGNANI
- Commission de Prospective :	Professeur Pierre-Edouard BOLLAERT
- Recherche :	Professeur Didier MAINARD
- Développement Professionnel Continu :	Professeur Jean-Dominique DE KORWIN

DOYENS HONORAIRES

Professeur Adrien DUPREZ – Professeur Jean-Bernard DUREUX

Professeur Jacques ROLAND – Professeur Patrick NETTER

=====

PROFESSEURS HONORAIRES

Pierre ALEXANDRE – Jean-Marie ANDRE - Daniel ANTHOINE - Alain BERTRAND - Pierre BEY - Jean
BEUREY

Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL -
Claude CHARDOT Jean-Pierre CRANCE - Gérard DEBRY - Jean-Pierre DELAGOUTTE - Emile de
LAVERGNE - Jean-Pierre DESCHAMPS

Michel DUC - Jean DUHEILLE - Adrien DUPREZ - Jean-Bernard DUREUX – Gérard FIEVE - Jean
FLOQUET

Robert FRISCH - Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ
Simone GILGENKRANTZ - Oliéro GUERCI - Pierre HARTEMANN - Claude HURIET – Christian JANOT -
Jacques LACOSTE Henri LAMBERT - Pierre LANDES - Alain LARCAN - Marie-Claire LAXENAIRE -
Michel LAXENAIRE - Jacques LECLERE Pierre LEDERLIN - Bernard LEGRAS - Michel MANCIAUX -

Jean-Pierre MALLIÉ - Pierre MATHIEU
Denise MONERET-VAUTRIN - Pierre NABET - Jean-Pierre NICOLAS - Pierre PAYSANT - Francis PENIN -
Gilbert PERCEBOIS - Claude PERRIN - Guy PETIET - Luc PICARD - Michel PIERSON - Jean-Marie POLU -
Jacques POUREL - Jean PREVOT - Antoine RASPILLER - Michel RENARD - Jacques ROLAND - René-Jean
ROYER - Paul SADOUL - Daniel SCHMITT
Jean SOMMELET - Danièle SOMMELET - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Augusta TREHEUX -
Hubert UFFHOLTZ
Gérard VAILLANT - Paul VERT - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Michel WAYOFF - Michel
WEBER

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (*Anatomie*)

Professeur Gilles GROSDIDIER

Professeur Pierre LASCOMBES – Professeur Marc BRAUN

2^{ème} sous-section : (*Cytologie et histologie*)

Professeur Bernard FOLIGUET

3^{ème} sous-section : (*Anatomie et cytologie pathologiques*)

Professeur François PLENAT – Professeur Jean-Michel VIGNAUD

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (*Biophysique et médecine nucléaire*)

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER

2^{ème} sous-section : (*Radiologie et imagerie médicale*)

Professeur Denis REGENT – Professeur Michel CLAUDON

Professeur Serge BRACARD – Professeur Alain BLUM – Professeur Jacques FELBLINGER

Professeur René ANXIONNAT

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (*Biochimie et biologie moléculaire*)

Professeur Jean-Louis GUÉANT – Professeur Jean-Luc OLIVIER – Professeur Bernard NAMOUR

2^{ème} sous-section : (*Physiologie*)

Professeur François MARCHAL – Professeur Bruno CHENUÉL – Professeur Christian BEYAERT

3^{ème} sous-section : (*Biologie Cellulaire*)

Professeur Ali DALLOUL

4^{ème} sous-section : (*Nutrition*)

Professeur Olivier ZIEGLER – Professeur Didier QUILLIOT

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (*Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière*)

Professeur Alain LE FAOU - Professeur Alain LOZNIÉWSKI

3^{ème} sous-section : (*Maladies infectieuses ; maladies tropicales*)

Professeur Thierry MAY – Professeur Christian RABAUD

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (Épidémiologie, économie de la santé et prévention)

Professeur Philippe HARTEMANN – Professeur Serge BRIANÇON - Professeur Francis GUILLEMIN

Professeur Denis ZMIROU-NAVIER – Professeur François ALLA

2^{ème} sous-section : (Médecine et santé au travail)

Professeur Christophe PARIS

3^{ème} sous-section : (Médecine légale et droit de la santé)

Professeur Henry COUDANE

4^{ème} sous-section : (Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)

Professeur François KOHLER – Professeur Éliane ALBUISSON

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (Hématologie ; transfusion)

Professeur Thomas LECOMPTE – Professeur Pierre BORDIGONI

Professeur Jean-François STOLTZ – Professeur Pierre FEUGIER

2^{ème} sous-section : (Cancérologie ; radiothérapie)

Professeur François GUILLEMIN – Professeur Thierry CONROY

Professeur Didier PEIFFERT – Professeur Frédéric MARCHAL

3^{ème} sous-section : (Immunologie)

Professeur Gilbert FAURE – Professeur Marie-Christine BENE

4^{ème} sous-section : (Génétique)

Professeur Philippe JONVEAUX – Professeur Bruno LEHEUP

**48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

1^{ère} sous-section : (Anesthésiologie et réanimation chirurgicale ; médecine d'urgence)

Professeur Claude MEISTELMAN – Professeur Hervé BOUAZIZ

Professeur Paul-Michel MERTES – Professeur Gérard AUDIBERT

2^{ème} sous-section : (Réanimation médicale ; médecine d'urgence)

Professeur Alain GERARD - Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT

Professeur Bruno LÉVY – Professeur Sébastien GIBOT

3^{ème} sous-section : (Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie)

Professeur Patrick NETTER – Professeur Pierre GILLET

4^{ème} sous-section : (Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie)

Professeur François PAILLE – Professeur Gérard GAY – Professeur Faiez ZANNAD

**49^{ème} Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE,
HANDICAP et RÉÉDUCATION**

1^{ère} sous-section : (Neurologie)

Professeur Gérard BARROCHE – Professeur Hervé VESPIGNANI

Professeur Xavier DUCROCQ – Professeur Marc DEBOUVERIE

2^{ème} sous-section : (Neurochirurgie)

Professeur Jean-Claude MARCHAL – Professeur Jean AUQUE

Professeur Thierry CIVIT

3^{ème} sous-section : (Psychiatrie d'adultes ; addictologie)

Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Raymund SCHWAN

4^{ème} sous-section : (Pédopsychiatrie ; addictologie)

Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC – Professeur Bernard KABUTH

5^{ème} sous-section : (Médecine physique et de réadaptation)

Professeur Jean PAYSANT

50^{ème} Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE et CHIRURGIE PLASTIQUE

1^{ère} sous-section : (Rhumatologie)

Professeur Isabelle CHARY-VALCKENAERE – Professeur Damien LOEUILLE

2^{ème} sous-section : (Chirurgie orthopédique et traumatologique)

Professeur Daniel MOLE - Professeur Didier MAINARD

Professeur François SIRVEAUX – Professeur Laurent GALOIS

3^{ème} sous-section : (Dermato-vénérologie)

Professeur Jean-Luc SCHMUTZ – Professeur Annick BARBAUD

4^{ème} sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)

Professeur François DAP – Professeur Gilles DAUTEL

51^{ème} Section : PATHOLOGIE CARDIORESPIRATOIRE et VASCULAIRE

1^{ère} sous-section : (Pneumologie ; addictologie)

Professeur Yves MARTINET – Professeur Jean-François CHABOT – Professeur Ari CHAOUAT

2^{ème} sous-section : (Cardiologie)

Professeur Etienne ALIOT – Professeur Yves JUILLIERE – Professeur Nicolas SADOUL

Professeur Christian de CHILLOU

3^{ème} sous-section : (Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)

Professeur Jean-Pierre VILLEMOT - Professeur Jean-Pierre CARTEAUX – Professeur Loïc MACÉ

4^{ème} sous-section : (Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)

Professeur Denis WAHL – Professeur Sergueï MALIKOV

52^{ème} Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF et URINAIRE

1^{ère} sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)

Professeur Marc-André BIGARD - Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI – Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

2^{ème} sous-section : (Chirurgie digestive)

3^{ème} sous-section : (Néphrologie)

Professeur Michèle KESSLER – Professeur Dominique HESTIN – Professeur Luc FRIMAT

4^{ème} sous-section : (Urologie)

Professeur Philippe MANGIN – Professeur Jacques HUBERT – Professeur Pascal ESCHWEGE

53^{ème} Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE et CHIRURGIE GÉNÉRALE

1^{ère} sous-section : (Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie)

Professeur Jean-Dominique DE KORWIN – Professeur Pierre KAMINSKY

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Gisèle KANNY

2^{ème} sous-section : (Chirurgie générale)

Professeur Patrick BOISSEL – Professeur Laurent BRESLER

Professeur Laurent BRUNAUD – Professeur Ahmet AYAV

54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1^{ère} sous-section : (Pédiatrie)

Professeur Pierre MONIN - Professeur Jean-Michel HASCOET - Professeur Pascal CHASTAGNER
Professeur François FEILLET - Professeur Cyril SCHWEITZER

2^{ème} sous-section : (Chirurgie infantile)

Professeur Michel SCHMITT – Professeur Pierre JOURNEAU – Professeur Jean-Louis LEMELLE

3^{ème} sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)

Professeur Michel SCHWEITZER – Professeur Jean-Louis BOUTROY

Professeur Philippe JUDLIN – Professeur Patricia BARBARINO

4^{ème} sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)

Professeur Georges WERYHA – Professeur Marc KLEIN – Professeur Bruno GUERCI

55^{ème} Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{ère} sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)

Professeur Claude SIMON – Professeur Roger JANKOWSKI

2^{ème} sous-section : (Ophtalmologie)

Professeur Jean-Luc GEORGE – Professeur Jean-Paul BERROD – Professeur Karine ANGIOI-DUPREZ

3^{ème} sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)

Professeur Jean-François CHASSAGNE – Professeur Etienne SIMON

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

64^{ème} Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeur Sandrine BOSCHI-MULLER

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (Anatomie)

Docteur Bruno GRIGNON – Docteur Thierry HAUMONT

2^{ème} sous-section : (Cytologie et histologie)

Docteur Edouard BARRAT - Docteur Françoise TOUATI – Docteur Chantal KOHLER

3^{ème} sous-section : (Anatomie et cytologie pathologiques)

Docteur Béatrice MARIE

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (Biophysique et médecine nucléaire)

Docteur Marie-Hélène LAURENS – Docteur Jean-Claude MAYER

Docteur Pierre THOUVENOT – Docteur Jean-Marie ESCANYE – Docteur Amar NAOUN

2^{ème} sous-section : (Radiologie et imagerie médicale)

Docteur Damien MANDRY

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)

Docteur Jean STRACZEK – Docteur Sophie FREMONT
Docteur Isabelle GASTIN – Docteur Marc MERTEN – Docteur Catherine MALAPLATE-ARMAND
Docteur Shyue-Fang BATTAGLIA

2^{ème} sous-section : (Physiologie)

Docteur Nicole LEMAU de TALANCE

3^{ème} sous-section : (Biologie Cellulaire)

Docteur Véronique DECOT-MAILLERET

4^{ème} sous-section : (Nutrition)

Docteur Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière)

Docteur Francine MORY – Docteur Véronique VENARD

2^{ème} sous-section : (Parasitologie et mycologie)

Docteur Nelly CONTET-AUDONNEAU – Madame Marie MACHOUART

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (Epidémiologie, économie de la santé et prévention)

Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE – Docteur Frédérique CLAUDOT

3^{ème} sous-section (Médecine légale et droit de la santé)

Docteur Laurent MARTRILLE

4^{ère} sous-section : (Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)

Docteur Pierre GILLOIS – Docteur Nicolas JAY

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (Hématologie ; transfusion)

Docteur François SCHOONEMAN

2^{ème} sous-section : (Cancérologie ; radiothérapie : cancérologie (type mixte : biologique))

Docteur Lina BOLOTINE

3^{ème} sous-section : (Immunologie)

Docteur Marcelo DE CARVALHO BITTENCOURT

4^{ème} sous-section : (Génétique)

Docteur Christophe PHILIPPE – Docteur Céline BONNET

48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

3^{ème} sous-section : (Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique)

Docteur Françoise LAPICQUE – Docteur Marie-José ROYER-MORROT – Docteur Nicolas GAMBIER

4^{ème} sous-section : (Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie)

Docteur Patrick ROSSIGNOL

50^{ème} Section : RHUMATOLOGIE

1^{ère} sous-section : (Rhumatologie)

Docteur Anne-Christine RAT

**54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-
OBSTÉTRIQUE,**

ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

5^{ème} sous-section : (*Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale*)

Docteur Jean-Louis CORDONNIER

=====

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5^{ème} section : SCIENCE ÉCONOMIE GÉNÉRALE

Monsieur Vincent LHUILLIER

40^{ème} section : SCIENCES DU MÉDICAMENT

Monsieur Jean-François COLLIN

60^{ème} section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE ET GÉNIE CIVILE

Monsieur Alain DURAND

61^{ème} section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Monsieur Jean REBSTOCK – Monsieur Walter BLONDEL

64^{ème} section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Mademoiselle Marie-Claire LANHERS

65^{ème} section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Mademoiselle Françoise DREYFUSS – Monsieur Jean-Louis GELLY
Madame Ketsia HESS – Monsieur Hervé MEMBRE – Monsieur Christophe NEMOS
Madame Natalia DE ISLA – Monsieur Pierre TANKOSIC

66^{ème} section : PHYSIOLOGIE

Monsieur Nguyen TRAN

67^{ème} section : BIOLOGIE DES POPULATIONS ET ÉCOLOGIE

Madame Nadine MUSSE

=====

PROFESSEURS ASSOCIÉS

Médecine Générale

Professeur associé Alain AUBREGE

Professeur associé Francis RAPHAEL

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS

Médecine Générale

Docteur Jean-Marc BOIVIN

Docteur Jean-Louis ADAM

Docteur Elisabeth STEYER

Docteur Paolo DI PATRIZIO



PROFESSEURS ÉMÉRITES

Professeur Jean-Marie ANDRÉ - Professeur Daniel ANTHOINE - Professeur Pierre BEY - Professeur Michel BOULANGÉ

Professeur Jean-Pierre CRANCE - - Professeur Jean FLOQUET

Professeur Jean-Marie GILGENKRANTZ - Professeur Simone GILGENKRANTZ – Professeur Henri LAMBERT

Professeur Alain LARCAN - Professeur Denise MONERET-VAUTRIN

Professeur Jean-Pierre NICOLAS – - Professeur Guy PETIET - Professeur Luc PICARD - Professeur Michel PIERSON

Professeur Jacques POUREL - Professeur Jacques ROLAND - - Professeur Michel STRICKER Professeur Gilbert THIBAUT - Professeur Hubert UFFHOLTZ - Professeur Paul VERT - Professeur Colette VIDAILHET
Professeur Michel VIDAILHET



DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Norman SHUMWAY (1972) <i>Université de Stanford, Californie (U.S.A)</i>	Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989) <i>Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)</i>
Professeur Paul MICHIELSEN (1979) <i>Université Catholique, Louvain (Belgique)</i>	Professeur Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996) <i>Université de Pennsylvanie (U.S.A)</i>
Professeur Charles A. BERRY (1982) <i>Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)</i>	Professeur Mashaki KASHIWARA (1996) <i>Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)</i>
Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982) <i>Brown University, Providence (U.S.A)</i>	Professeur Ralph GRÄSBECK (1996) <i>Université d'Helsinki (FINLANDE)</i>
Professeur Mamish Nisbet MUNRO (1982) <i>Massachusetts Institute of Technology (U.S.A)</i>	Professeur James STEICHEN (1997) <i>Université d'Indianapolis (U.S.A)</i>
Professeur Mildred T. STAHLMAN (1982) <i>Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)</i>	Professeur Duong Quang TRUNG (1997) <i>Centre Universitaire de Formation et de Perfectionnement des</i>
Harry J. BUNCKE (1989) <i>Université de Californie, San Francisco (U.S.A)</i>	<i>Professionnels de Santé d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)</i>
Professeur Daniel G. BICHET (2001) <i>Université de Montréal (Canada)</i>	Professeur Marc LEVENSTON (2005) <i>Institute of Technology, Atlanta (USA)</i>
Professeur Brian BURCHELL (2007) <i>Université de Dundee (Royaume Uni)</i>	

REMERCIEMENTS

A Notre Maître et Président du Jury

Monsieur le Professeur Pascal ESCHWEGE
Professeur d'Urologie

Nous avons le privilège de travailler avec vous et nous bénéficions de votre enseignement, votre disponibilité et votre gentillesse.

Nous sommes fiers de l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider ce travail.

A nos Maîtres et juges

Monsieur le Professeur Jacques FELBLINGER

Professeur de Radiologie et Imagerie Médicale

Nous avons été touché par l'accueil bienveillant que vous nous avez toujours réservé et par l'honneur que vous nous avez fait en nous ayant inscrit dans votre unité pour notre Master 2 Recherche.

Que ce travail soit le témoignage de notre profonde reconnaissance.

Monsieur le Professeur Frédéric MARCHAL

Professeur de Cancérologie

Merci pour votre participation active, votre soutien et votre enthousiasme tout au long de la réalisation de cette étude.

Nous vous remercions de bien vouloir juger cette thèse et sommes heureux de pouvoir exprimer notre sincère et profonde admiration.

Madame Martine GILLES

Docteur en Neurosciences

Malgré votre importante charge de travail, vous vous êtes toujours montrée disponible et attentive à nos questions.

Nous sommes très touchés par l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger cette thèse.

A tous ceux qui ont participé à cette étude

Aux Chargés d'études de l'INRS :

Kevin DESBROSSES

Martine GILLES

Jean-Pierre MEYER

A l'équipe de l'Ecole de Chirurgie :

Dr N. TRAN

Frédérique, Aude, Vanessa

A tous les chirurgiens qui ont accepté de «jouer le jeu» :

Nicolas BILLAUT

Patrick BOISSEL

Guillaume BOUDRANT

Laurent BRESLER

Cécile BRIGAND

Laurent BRUNAUD

Eric CHATELAIN

François GUILLEMIN

Jacques HUBERT

Didier JACQMIN

Hervé LANG

Frédéric MARCHAL

Nicolas MARCON

Mathieu MULLER

Magalie MUNOZ

Manuela PEREZ

Nicolas REIBEL

Serge ROHR

Anthony ROUERS

Christian SAUSSINE

Marie-Lorraine SCHERRER

Jean-Michel TORTUYAUX

A mes parents,

Pour leur soutien et leur patience pendant toutes ces années passées à mes côtés

Papa, pour la confiance que tu m'as accordée en me proposant ce sujet d'étude, novateur et tellement d'actualité. Que les années à venir soient source d'une fructueuse complicité

Trouvez dans ce travail, le témoignage de ma plus profonde reconnaissance et de tout mon Amour

A Babbe,

Qui me manque tous les jours et qui serait si fier aujourd'hui je pense

A Mamie Yvonne, Papy Armand et Mamie Denise, Ninie et Sylvestre,

Trouvez ici la preuve de toute ma tendresse et de tout mon Amour

A Jacques et Michèle,

Vous qui m'avez accueilli pendant 1 an et demi sans rien demander en retour

Recevez ici le témoignage de ma respectueuse estime et de toute mon affection

A Juliette et Pauline,

Mes deux filleules, deux rayons de bonheur

A Nicolas et Nicolas,

parce que jamais 2 sans 3

A tous mes amis

A tous mes collègues d'Internat

A toute l'équipe du service d'Urologie de Brabois

Aux Docteurs FERCHAUD, PELLERIN, SIX et SUTY,

Merci pour votre gentillesse constante et votre enseignement si pertinent

A toutes les équipes médicales que j'ai rencontrées durant mes stages à Metz, Nancy et Toul

A Delphine,

Tu as toujours cru en moi et tu as toujours été là pour me remonter le moral. Pour tout le chemin que nous allons parcourir ensemble.

Avec tout mon Amour

Je dédie cette thèse

SERMENT

« Au moment d'être admis 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 dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçu 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 et méprisé si j'y manque».

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	10
Serment	17
Table des matières	18
Abréviations	21
Introduction	22
Partie Première : Mise au point	23
1. La cœliochirurgie	24
1.1. La cœliochirurgie standard	24
1.2. La cœliochirurgie assistée par robot	27
2. Ergonomie	33
2.1. Définition de l'ergonomie	33
2.2. Troubles musculo-squelettiques et ergonomie	33
2.3. La problématique cœliochirurgicale	35
2.3.1. TMS et cœliochirurgie standard	35
2.3.2. TMS et cœliochirurgie assistée par robot	38
Partie Deuxième : Etude	39
1. Hypothèse et Objectif	40
2. Matériel et Méthode	41
2.1. Généralités	41
2.2. Organisation des procédures	41
2.3. Evaluations	43

2.3.1. Analyses subjectives	43
2.3.1.1. NASA-TLX	43
2.3.1.2. Borg CR-10	44
2.3.2. Mesures physiologiques	44
2.3.2.1. Analyse électromyographique	44
2.3.2.2. Analyse cardio-fréquentielle	45
2.3.3. Mesures biomécaniques	47
3. Résultats	51
3.1. Analyse subjective	51
3.1.1. NASA-TLX	51
3.1.2. Borg CR-10	52
3.2. Mesures physiologiques	53
3.2.1. Fréquence cardiaque	53
3.2.2. Electromyographie	53
3.3. Mesures biomécaniques	55
3.3.1. Inclinaison antéro-postérieure	55
3.3.2. Inclinaison latérale	56
3.3.3. Rotation	57
Partie Troisième : Discussion	58
1. Généralités	59
2. Analyse globale	60
3. Le tronc	61
3.1. Cœliochirurgie standard	61
3.2. Cœliochirurgie assistée par robot	64
4. Les épaules	66
4.1. Cœliochirurgie standard	66
4.2. Cœliochirurgie assistée par robot	67
5. Analyse plus précise de la situation pelvis	68
5.1. Problématique posée	68
5.2. Les solutions à disposition	69
5.3. Discussion	72

Partie quatrième : Conclusion	73
Annexes	74
Annexe 1 : Echelle CR-10 selon Borg	75
Annexe 2 : Echelle NASA-TLX (d'après Hart)	76
Annexe 3 : Référentiel OREGÉ	77
Annexe 4 : Tableau récapitulatif des différents référentiels	78
Bibliographie	79

ABRÉVIATIONS

CS : Cœliochirurgie Standard

CAR : Cœliochirurgie Assistée par Robot

EMG : Electromyographie

TMS : Troubles Musculo Squelettiques

Sm : Sus-Mésocolique

Lb : Lombar

Pv : Pelvis

INTRODUCTION

La cœliochirurgie standard apparaît aujourd'hui comme une technique incontournable dans de nombreuses spécialités chirurgicales. Développée depuis maintenant une vingtaine d'années, elle est devenue une technique de référence pour de nombreuses interventions. Cependant, au fur et à mesure de son utilisation, sont apparues des plaintes de plus en plus fréquentes des chirurgiens. Ceux-ci font face à des contraintes et douleurs musculo-squelettiques des épaules, du cou et du dos, qui semblent rappeler celles présentées par certains travailleurs manuels. En dehors des avantages indéniables que cette technique apporte pour les patients, elle impose au chirurgien des postures opératoires non ergonomiques, qui seraient responsables du développement de ces troubles musculo-squelettiques (contractures musculaires, paresthésies des doigts,...), et pourraient avoir un retentissement sur la qualité du geste chirurgical.

Ces conditions opératoires ont été largement modifiées avec l'apparition de la cœliochirurgie assistée par robot. Un des avantages de la chirurgie robotique paraît être une nette amélioration des conditions ergonomiques.

Le but de cette étude est d'apporter une preuve scientifique de cette amélioration en évaluant, sous divers aspects et le plus complètement possible, la charge de travail physique du chirurgien pour ces deux techniques cœliochirurgicales.

PARTIE PREMIÈRE
MISE AU POINT

1. LA CŒLIOCHIRURGIE

1.1. La cœliochirurgie standard

Développée depuis le début des années 1990, la cœlioscopie (du latin cœliacus ou du grec koilia = ventre et du grec skepein = regarder) ou autrement appelée laparoscopie (du grec lapara = paroi) est une technique chirurgicale mini invasive de diagnostic (cœlioscopie) et d'intervention (cœliochirurgie). Elle a pu également être appelée chirurgie «par des trous de serrure».

Cette technique chirurgicale a tout d'abord été utilisée en complément de la chirurgie ouverte, puis est devenue actuellement, pour certaines opérations, la technique de référence en raison des excellents résultats publiés (cholécystectomie, ovariectomie, néphrectomie simple, chirurgie du prolapsus...). Elle devient ainsi une technique majeure dans de nombreuses spécialités : chirurgie digestive, urologique, gynécologique et thoracique.

La spécificité de cette technique chirurgicale réside dans l'accès au site opératoire. A la différence de la chirurgie dite ouverte, la cœliochirurgie a pour principe d'ouvrir au minimum la paroi (Figure 1). La vision du site opératoire se fera donc par l'intermédiaire d'une caméra. Du gaz carbonique introduit dans la cavité abdominale (ou thorax) sous pression permet de créer un espace de travail (pneumopéritoine, pneumothorax). La caméra et les instruments, longs, fins (Figure 2) et manipulés directement par le chirurgien ou son aide, sont introduits par des trocarts jusqu'à l'espace de travail.

Les avantages de cette technique chirurgicale sont évidents pour le patient :

- incisions moins délabrantes ;
- gestes chirurgicaux théoriquement plus précis (image grossie, vision plus facile de certaines zones opératoires) ;
- risque de pertes sanguines réduit ;
- exposition moins longue aux contaminants extérieurs : diminution du risque d'infections ;
- douleurs post opératoires moins importantes et période de convalescence plus courte.



Figure 1 : Exemple d'une procédure de cœliochirurgie standard. On remarque les instruments, les trocars et le ventre « gonflé » du patient. Il n'y a pas de grande incision de la paroi.



Figure 2 : Optique (à gauche) et autres instruments de cœliochirurgie standard.

Cette technique présente cependant des risques non négligeables pour le patient :

- risque vasculaire lors de l'introduction des trocars ;
- risques de conversion chirurgicale si le patient ne tolère pas l'insufflation ;
- pathologies musculo-squelettiques suite à une mauvaise installation (syndrome du plexus brachial, luxation de l'épaule,...).

Pour le chirurgien, cette technique reste cependant d'une complexité technique supérieure à la chirurgie ouverte :

- obligation d'une nouvelle coordination oeil-main pour obtenir une bonne manipulation des instruments ;
- perte de la perception tactile ;
- espace de travail limité ;
- courbe d'apprentissage longue.

En outre, la position du chirurgien par rapport à la table et au patient est modifiée. La position des trocars et donc la position du chirurgien dépendent du site opératoire et de la longueur des instruments.

On peut ainsi décrire 3 positions (Figure 3) :

- au bout de la table entre les jambes du patient pour l'étage sus-mésocolique (organes du haut abdomen : estomac, œsophage, vésicule biliaire) ;
- de face à côté de la table pour l'étage lombaire (colon droit ou gauche, organes du rétropéritoine : rein, uretère) ;
- de profil à côté de la table pour l'étage pelvien (organes du pelvis : vessie, utérus, prostate, rectum).

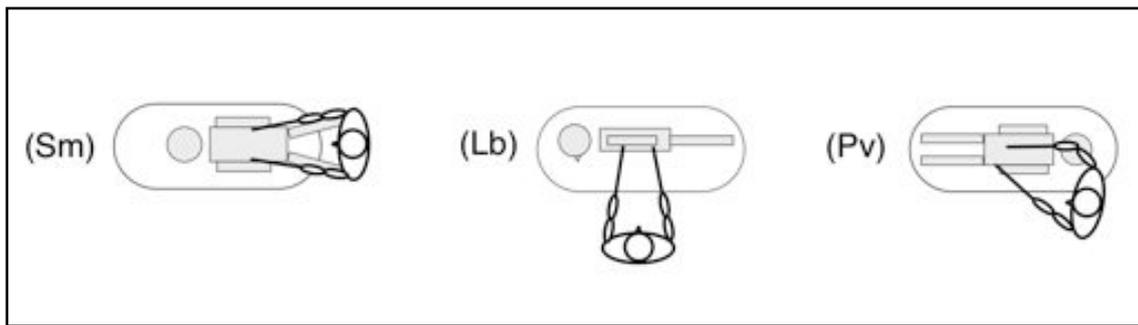


Figure 3 : Positions du chirurgien par rapport à la table opératoire pour les 3 situations les plus courantes en coelochirurgie standard : Sus-mésocolique (Sm), Lombaire (Lb) et Pelvien (Pv)

1.2. La coelochirurgie assistée par robot

Le terme de robot est dérivé du tchèque robota (= travail, besogne, corvée). Au sens historique, un robot est un appareil capable d'agir de façon automatique pour une fonction donnée, ce qui ne correspond absolument pas à l'usage qui en est fait en chirurgie. Les systèmes actuels, développés depuis la fin des années 1990, sont des robots d'assistance aux gestes de chirurgie endoscopique, autrement appelés robots de téléchirurgie : on garde l'approche coelochirurgicale, mais les gestes du chirurgien sont robotiquement assistés.

Historiquement, le premier système a été développé en 1994 par Computer Motion : AESOP® (Automated Endoscopic System for Optical Positioning). AESOP® était utilisé pour positionner le bras porteur de l'endoscope, sous contrôle de la voix : cela permettait ainsi d'assurer une plus grande stabilité de l'image, et de libérer une main de l'assistant. Son évolution, le système ZEUS® en 1998, était le premier système « maître-esclave » permettant des interventions de téléchirurgie. Il était constitué de 3 bras indépendants : l'un sous contrôle de la voix qui porte l'endoscope à 1 canal optique, et les deux autres sous contrôle du chirurgien par l'intermédiaire de 2 manettes qui déplacent les instruments. A quelques mètres du champ opératoire, le chirurgien est assis à un poste maître. (Figure 4)



Figure 4 : Zeus®, premier système robot maître-esclave.



Figure 5 : Système robot maître-esclave Da Vinci® (2ème génération, 4 bras).

Le robot Da Vinci® (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, CA, USA), a été développé à partir de 1998. A la différence de Zeus®, Da Vinci® comporte un pied unique équipé de 3 ou 4 bras, contrôlés par le chirurgien assis à une console. Un de ces bras porte l'endoscope et les autres les instruments. (Figure 5 p.28)

L'endoscope est constitué de 2 canaux optiques (Figure 7), permettant une vision binoculaire et reproduisant une image en 3 dimensions. Les instruments, dirigés par 2 manettes situées dans l'axe du champ de vision du chirurgien à la console (Figure 6), ont des articulations endocorporelles. Ces articulations reproduisent les mouvements des doigts et des mains réalisés par le chirurgien à l'aide de poignées mobiles, permettant ainsi une précision et une agilité endoscopique nettement supérieure à celle de la coelochirurgie classique (Figure 7). Le chirurgien est quant à lui assis à la console, les bras reposant sur un appui-bras, le front reposant sur un support. A ses pieds, plusieurs pédales permettent de compléter la manipulation du robot. Contrairement à la coelochirurgie standard et quelle que soit l'intervention prévue, le chirurgien ne prend qu'une seule posture de travail. Seule la position du système esclave par rapport au patient sera modifiée.

Da Vinci® est actuellement utilisé dans de nombreuses spécialités : chirurgie urologique (prostatectomie radicale, cure de prolapsus vésical, pyéloplastie, néphrectomie,...), chirurgie digestive (surrénalectomie, bypass gastrique, cure de hernie hiatale, cure de prolapsus rectal,...), chirurgie cardiaque et vasculaire (dissection d'artère mammaire, pontage coronaire, pontage aortobifémoral, valvuloplastie,...), chirurgie gynécologique (hystérectomie, annexectomie, reperméabilisation tubaire,...), chirurgie thoracique, et plus récemment en ORL et chirurgie de la main.

La robotique garde les avantages de la coelochirurgie standard tout en apportant une réponse aux problèmes de cette dernière ^[21] (Tableau 1). On peut globalement retenir que la coelochirurgie assistée par robot permettrait :

- pour le chirurgien
 - une accélération de la courbe d'apprentissage ;
 - une plus grande précision du geste, un accès facilité aux espaces plus réduits ;
 - un confort opératoire.

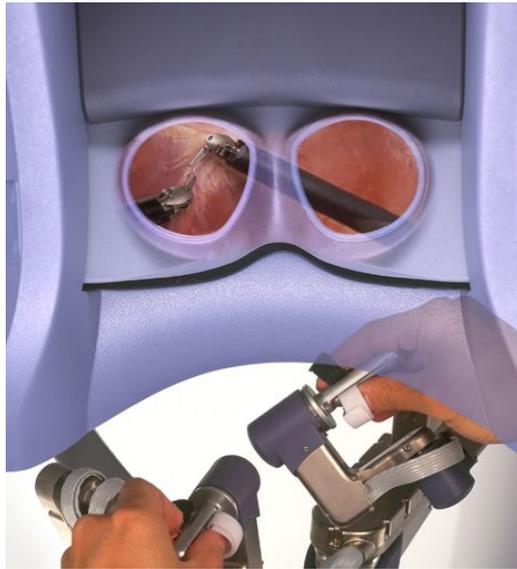


Figure 6 : Vision du chirurgien depuis la console : 2 moniteurs permettant une reconstruction 3D par le cerveau, axe yeux-mains préservé. On remarque également les 2 poignées permettant de manipuler les instruments



Figure 7 : instruments du système Da Vinci : optique à deux canaux (gauche) permettant une vision 3D, mini-instruments (milieu), mobilité des instruments superposable aux mouvements du poignet (droite).

difficultés en laparoscopie	apports de la robotique
perte de coordination yeux-mains	rétablissement de l'axe yeux-mains
le chirurgien regarde un écran vidéo situé à distance du champ opératoire	le regard du chirurgien est orienté vers ses mains qu'il a l'impression de plonger dans le champ opératoire
mouvements inversés	mouvements intuitifs
le point fixe de la traversée pariétale est responsables d'un effet pivot entraînant une inversion des mouvements pour la réalisation d'un geste endoscopique	les mouvements réalisés à la console correspondent à ceux reproduits en endoscopique
agrandissement variable	agrandissement réglé par l'opérateur
l'agrandissement de l'image dépend de la distance entre l'endoscope et le champ opératoire	l'opérateur maîtrise lui-même les déplacements de la caméra
démultiplication variable	démultiplication adaptée au grossissement
dépend de la longueur de l'instrument et de la longueur de la partie extracorporelle	réglée à la console, jusqu'à un rapport 5/1
5 degrés de liberté	7 degrés de liberté
les mouvements sont limités du fait de la rigidité de extrémités des instruments	les articulations endoscopiques reproduisent les 7 degrés de liberté du membre supérieur
vision 2D	vision 3D
vision sur un écran de télévision unique	réelle vision tri-dimensionnelle grâce à 2 canaux optiques séparés donnant une image sur 2 écrans (un pour chaque œil)
instabilité de l'image	stabilité de l'image
les tremblements de la caméra tenus par l'aide augmentent avec sa fatigue au fil de l'intervention	fixée sur le bras du robot, la caméra reste stable tout au long de l'intervention
exposition / assistant	utilité du "coade" de l'instrument
un trocart supplémentaire manipulé par l'assistant peut être nécessaire pour écarter les tissus	le corps de l'instrument permet d'écarter tout en ayant la pince ou le crochet à 90° qui travaille sans problème
tremblement	absence de tremblement
les tremblements naturels sont amplifiés à l'extrémité des instruments, et leur amplitude augmente avec la longueur de l'instrument et la fatigue	un filtre électronique élimine le tremblement
position non ergonomique	position probablement plus ergonomique
la fatigue du chirurgien liée à un position debout, plus ou moins inclinée latéralement selon le type d'intervention	le chirurgien est assis à la console, les bras appuyés

Tableau 1 : Apports de la robotique aux difficultés rencontrées lors de la coelochirurgie standard.

- pour le patient :
 - les avantages de la cœliochirurgie standard ;
 - un résultat au moins égal à la cœliochirurgie standard en terme de précision et d'efficacité ^[2,14] et probablement même meilleur.

Cependant, ce système présente des inconvénients qu'il faut prendre en compte :

- un coût à l'achat et une maintenance élevés ainsi qu'un surcoût sensible par opération ;
- un encombrement important ;
- une absence de retour de force qui doit se voir compensée par l'information visuelle.

Depuis la première génération, les améliorations principales du système ont porté sur la mobilité des bras du dispositif esclave, sur les aides au geste chirurgical (écran tactile pour l'aide, intégration d'images complémentaires dans le champ de vision du chirurgien : scanner,...), et enfin sur la console : amélioration de la qualité des écrans, diminution de l'encombrement. Intuitive Surgical commercialise actuellement la 3^{ème} génération de robot Da Vinci : le Da Vinci Si HD.

2. ERGONOMIE

2.1. Définition de l'ergonomie

L'ergonomie (grec ergon = travail et nomos = règles) décrit au sens littéral «les règles du travail». Cette science peut être définie comme la «mise en œuvre de l'ensemble des connaissances scientifiques relatives à l'Homme nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité» [Alain Wisner]. Le but de l'ergonomie est donc de créer un environnement de travail qui est sûr et confortable pour les opérateurs tout en maintenant l'efficacité et la sécurité du processus.

2.2. Troubles musculo-squelettiques et ergonomie

Les troubles musculo-squelettiques (TMS) sont actuellement un problème de santé majeur dans de nombreuses professions. Sous ce terme générique se cachent en réalité plusieurs maladies professionnelles dont la principale manifestation est la douleur. Leur origine est multifactorielle, mais la composante principale reste professionnelle. Tous les éléments corporels permettant à l'homme de se mouvoir et de travailler peuvent être touchés : épaules, poignets, mains, dos, cou, etc. Les symptômes retrouvés dépendent des blessures occasionnées aux tissus : fatigue musculaire, tendinite, ténosynovites, compression nerveuses,...

Les TMS sont devenus un véritable enjeu de société. En France, les TMS représentent les $\frac{2}{3}$ des maladies professionnelles. Ils ont un impact médical avec l'apparition de phénomènes douloureux, voire même de handicaps, ainsi que financier. Leur retentissement économique est double : direct lié au coût de la prise en charge médicale, indirect en raison des baisses de productivité. A titre d'exemple et pour l'année 2008, les TMS ont causé plus de 8 millions de jours d'arrêt de travail et coûté 787 millions d'euros ^[13].

Les sollicitations biomécaniques sont les principales contraintes professionnelles en jeu dans le développement des TMS, en plus des pressions organisationnelles et psychosociales.

On décrit ainsi comme facteurs de risque biomécaniques ^[22] :

- le travail dans des zones articulaires extrêmes ;
- les efforts excessifs ;
- la répétitivité des gestes ;
- le travail en position maintenue ;
- le temps de récupération insuffisant.

Les facteurs extra-professionnels sont quant à eux liés aux conditions propres des opérateurs (âge, sexe, état de fatigue, antécédents médicaux, état physique,...).

Toutes ces contraintes (professionnelles et extra-professionnelles) créent une charge de travail physique et mentale qui, lorsqu'elle devient trop importante, risque de générer des TMS.

Le dépistage et la lutte contre ces contraintes biomécaniques et organisationnelles dépend d'une démarche ergonomique, visant à une adaptation de l'utilisation de l'outil de travail ou à une modification de ses caractéristiques fonctionnelles.

En chirurgie, les TMS ont une double conséquence : leur présence affecte non seulement la santé de l'opérateur, mais également la sécurité du patient. En effet, une augmentation de la charge de travail entraîne une augmentation importante de problèmes portant sur la qualité des soins dispensés. Toute modification de l'environnement de travail s'inscrivant dans une démarche ergonomique bénéficie donc non seulement au chirurgien, mais également au patient.

La prévention des TMS en chirurgie peut donc constituer un challenge important notamment lors de procédures longues et complexes.

2.3. La problématique cœliochirurgicale

2.3.1. TMS et cœliochirurgie standard

La problématique posée par les TMS est vraiment apparue avec la diffusion de la cœliochirurgie. Le chirurgien doit opérer dans un environnement de travail ergonomiquement hostile.

Les problèmes posés sont multiples et dépendent grandement des nouveaux instruments de travail utilisés :

- La position fixe des trocarts impose des angles de travail du tronc et des membres supérieurs difficiles et extrêmes alors que leurs mouvements restent limités ^[9,36], particulièrement pour les épaules en raison du chevauchement du corps du patient pour atteindre le trocar opposé.
- La surélévation des épaules et bras ainsi que le design des instruments (configuration dite du « pistolet ») qui impose une supination excessive des poignets diminuent la force transmise aux instruments ^[8,36]. Il a été montré que, pour une même tâche, la manipulation des instruments laparoscopiques demande de 4 à 6 fois plus de force qu'avec les instruments de chirurgie ouverte ^[6].
- L'utilisation d'une caméra projetant les images sur un moniteur diminue la mobilité du cou et de la tête ^[36,42]. Conjointement à la position fixe des trocarts, la posture est plus redressée et plus statique ^[9].
- La vision en 2D, la modification de l'axe des instruments (effet pivot), la variabilité de la démultiplication du mouvement, la perte de la sensation tactile et la faible luminosité de la salle rajoutent une charge de travail mentale conséquente ^[5,43].
- L'utilisation de pédales pour la diathermie déséquilibre le bassin et impose un appui unipodal ^[43].

Au final, les tâches simples (attraper un tissu avec un instrument laparoscopique) comme les tâches complexes (une suture) imposent une augmentation de la force musculaire et une charge de travail mental supplémentaire au chirurgien par rapport à la chirurgie ouverte.

Toutes ces considérations prédisposent le chirurgien à l'apparition de douleurs, engourdissements et fatigue, pendant et même après les procédures laparoscopiques.

Ainsi, des enquêtes épidémiologiques retrouvent une importante prévalence des TMS chez les cœliochirurgiens : La SAGES ^[7] (Society of American Gastrointestinal Endoscopic Surgeons) a révélé que de 8 à 12 % des chirurgiens rapportaient de fréquentes douleurs ou engourdissements des bras, poignets ou mains faisant suite à une chirurgie laparoscopique. Wolf ^[45] rapporte 17 et 28 % de douleurs fréquentes des épaules et du dos associées à la laparoscopie, Gofrit ^[16] 20 % au niveau du cou. Une fatigue oculaire est également fréquemment décrite ^[19]. D'une manière plus globale, entre 30% et 40% des cœliochirurgiens subissent des lésions musculo-squelettiques pendant les procédures ^[3]. 50 % de ces chirurgiens reconnaissent un lien entre ces atteintes physiques et leurs conditions de travail : 22% estiment qu'elles en sont la cause, les 28 autres % qu'elles les ont exacerbées.

Les chirurgiens sont fréquemment amenés à prendre des mesures pour soulager les contraintes musculo-squelettiques durant la laparoscopie. Certains utilisent des anti-inflammatoires non stéroïdiens ^[16] pour calmer ou prévenir les symptômes, d'autres intègrent ces contraintes dans le choix de leur approche chirurgicale ^[3]. D'autres encore modifient leur environnement de travail : en abaissant la table au plus bas ^[44], en utilisant des marchettes pour se surélever, en modifiant la position du moniteur ou la prise des instruments (prendre les instruments à l'envers ou ne pas mettre ses doigts au travers des anneaux).

On peut retenir que 5 critères principaux influencent la posture du chirurgien ^[43] et donc les contraintes physiques : le design des poignées des instruments (contraintes des poignets, avant-bras et épaules), la position du moniteur (cou et tête), l'utilisation des pédales de contrôle de la diathermie (jambes, bassin et bas du dos), la hauteur de la table (épaules et dos), et l'obligation d'une position statique redressée (dos, épaules et cou).

Quelques recommandations pratiques ont été proposées, plus ou moins faciles à mettre en œuvre, et basées sur des études ergonomiques spécifiques à la laparoscopie ou existant dans d'autres spécialités (microchirurgie,...) :

- moniteur ^[27,32,41] : positionné dans l'axe des instruments, moins haut que le niveau des yeux pour diminuer l'extension du cou (angle le plus confortable = 15°), à faible distance

pour diminuer la fatigue oculaire. Au mieux ce moniteur devrait être «suspendu» au bout d'un bras mobile ;

- hauteur de la table ^[11,31,33] : plus basse qu'en chirurgie ouverte : la poignée des instruments doit être plus basse que le niveau des coudes au repos (entre 0 et -10cm) ;
- salle opératoire ^[4]: diminution de la température et du bruit ambiant, luminosité suffisante pour éviter les collisions d'instruments en dehors du patient et la fatigue oculaire ;
- pauses pendant les procédures, alterner le balancement sur les jambes,...

Mais seulement 11 % ^[44] des chirurgiens sont au courant de ces recommandations et les appliquent réellement, alors que 100 % estiment que l'ergonomie est un sujet important.

D'autres recommandations restant au stade de théorie ou de prototype ont été évoquées :

- posture : position assise sur un siège ergonomique ^[28] ou semi-assise ^[23] ;
- salles opératoires dont le design répond aux exigences laparoscopiques ;
- modification du design des poignées d'instrument ^[4,35], activation de la diathermie à la main ou à la voix ^[43].

Au final, un des principaux inconvénients de la laparoscopie tient au fait que cette technique, initialement prévue comme complément de la chirurgie ouverte, bénéficie du même environnement de travail que cette dernière et non d'un espace adapté. Si la conception des outils et de l'espace de travail intégraient les recommandations ergonomiques proposées, un nouvel environnement pourrait être créé pour le chirurgien aussi bien que pour ses assistants, diminuant ainsi les contraintes physiques imposées.

2.3.2. TMS et cœliochirurgie assistée par robot

La cœliochirurgie assistée par robot a dès le début été perçue comme une technique permettant d'améliorer le confort du chirurgien.

Effectivement, cette technique semble associer plusieurs des recommandations ergonomiques citées précédemment.

- la position assise, reconnue comme une position plus confortable que la position debout, est en effet associée à une diminution des efforts musculaires du dos dès que le sujet atteint une position relâchée dite d'équilibre ^[15,23]. Les appuis-bras et le soutien du front permettraient d'accroître ce relâchement en limitant au maximum les mouvements du corps. Seuls les jambes, les avant-bras et les poignets restent mobiles ;
- manettes : mobilité complète des poignets dans toutes les directions, pince pouce-index ;
- moniteurs dans l'axe des yeux ;
- pas de modification de l'axe des instruments ;
- pédales ne déséquilibrant plus la posture ;
- vision 3D, axe yeux-mains préservé.

Le bénéfice de cette technique semble donc être double : à la fois physique et mental. Comparativement à la cœliochirurgie standard lors de procédures expérimentales sur pelvitainers, on retrouve une diminution du stress mental associé à une amélioration des performances chirurgicales ^[10,39]. L'investissement physique semble aussi être amélioré, avec une diminution de l'activité musculaire des bras et poignets associée à une diminution des contraintes musculosquelettiques des épaules et du dos ^[24-26,40].

Les chirurgiens indiquent par ailleurs que la cœliochirurgie assistée par robot cause moins d'inconfort musculosquelettique que la cœliochirurgie standard ou la chirurgie ouverte, seulement 5 à 8% de ceux-ci présentant occasionnellement des douleurs du cou, des épaules et du dos ^[3].

Ces résultats semblent montrer que la cœliochirurgie assistée par robot apparaîtrait comme une solution ergonomique intéressante pour prévenir l'apparition de troubles musculosquelettiques chez le chirurgien.

PARTIE DEUXIÈME
ETUDE

1. HYPOTHÈSE ET OBJECTIF

La cœliochirurgie standard est une technique développée depuis plus de 20 ans, au plus grand bénéfice des patients. Peu d'études ont porté sur les conséquences qu'une telle technique peut avoir sur le chirurgien, alors qu'elle semble lui imposer des positions de travail souvent peu ergonomiques.

Le chirurgien subit des contraintes physiques pouvant entraîner des troubles musculo-squelettiques dont la fatigue musculaire et les douleurs sont les précurseurs. Des enquêtes menées auprès des cœliochirurgiens expérimentés témoignent de l'apparition de TMS qui risquent de dégrader la qualité du geste chirurgical.

La cœliochirurgie assistée par robot, de par la position assise à la console, tendrait à faire disparaître ces contraintes, améliorant les performances chirurgicales de l'opérateur.

Le but de cette étude est d'évaluer les implications physiques liées à l'utilisation de ces 2 outils de travail, d'un point de vue subjectif, ainsi qu'objectivement par la charge de travail musculaire et posturale.

L'hypothèse retenue est que la cœliochirurgie assistée par robot soumet l'opérateur à moins de contraintes physiques et apparaît ainsi comme une solution ergonomique intéressante dans la démarche de prévention des troubles musculo-squelettiques chez le chirurgien.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1. Généralités

La charge de travail physique peut être analysée selon 2 axes complémentaires.

- D'une part une approche subjective, qui évalue la perception de l'opérateur de la charge de travail à laquelle il est soumise.

Dans cette optique, une évaluation des différents aspects de cette charge de travail peut être réalisée en utilisant l'outil NASA-TLX ^[18]. L'utilisation de l'échelle Borg CR-10 ^[12] permet une évaluation plus fine de l'effort perçu au cours du temps, et pour différents éléments corporels, afin d'évaluer la part de chacun de ces éléments corporels dans la charge de travail globale.

- D'autre part une approche objective et quantitative de la charge de travail physique approchée par l'électromyographie ainsi qu'une analyse de la posture en utilisant une technique de modélisation 3D du chirurgien.

La technique de modélisation 3D est très difficile à mettre en œuvre en conditions réelles au bloc opératoire, en raison de problèmes d'asepsie du matériel et de l'encombrement des outils d'enregistrement. C'est pourquoi cette étude a été réalisée en laboratoire, sur l'animal (cochon) et en réalisant de véritables interventions afin de se rapprocher au mieux des conditions du bloc opératoire.

2.2. Organisation des procédures

Nous avons bénéficié de la collaboration de Chargés d'études en ergonomie travaillant à l'INRS (Institut National de Recherche et Sécurité, département "Homme au Travail", Lorraine, France). Les investigations ont eu lieu au Laboratoire de l'Ecole de Chirurgie (Faculté de Médecine, Nancy Universités), laboratoire titulaire de l'agrément pour l'expérimentation sur l'animal vivant. Les interventions ont été réalisées sur le cochon (25kg).

Cette étude s'est déroulée sur 3 sessions de 2 semaines. Nous avons eu à notre disposition un robot Da Vinci® 1^{ère} génération pour la première session, les 2 autres étant dédiées à la

cœliochirurgie standard. 23 chirurgiens seniors volontaires (CHRU Nancy-Lorraine, CHRU Strasbourg-Alsace, CAV Nancy-Lorraine) de 3 spécialités différentes (chirurgie urologique, viscérale et gynécologique) ont participé à cette étude. Tous étaient droitiers, la moyenne d'âge était de $43,1 \pm 11$ ans. Chaque chirurgien a réalisé au minimum 1 procédure dans chacune des 2 techniques, plusieurs passages étant possibles.

4 types d'interventions ont été réalisées, donnant lieu à 4 situations expérimentales : 1 posture assise en cœliochirurgie assistée par robot (CAR) et 3 postures debout en cœliochirurgie standard (CS), dépendant de l'étage abdominal opéré (face au bout de la table pour l'étage sus-mésocolique, face au côté de la table pour l'étage lombaire et perpendiculaire au côté de la table pour l'étage pelvien) (Figure 8).

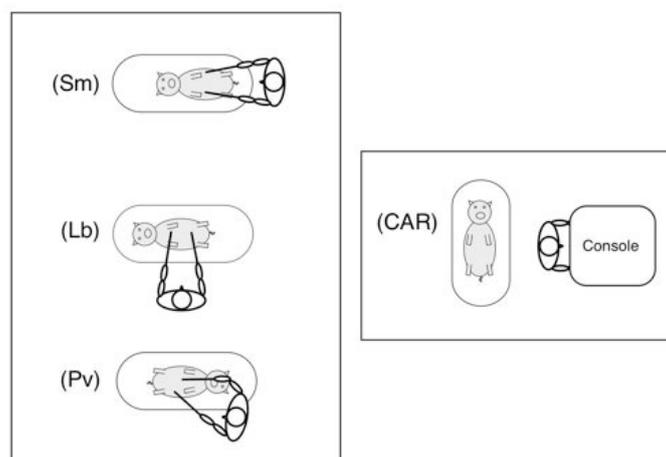


Figure 8 : Positions du chirurgien en CAR et en CS en fonction de l'étage abdominal opéré : Sus-mésocolique (Sm), Lombaire (Lb), Pelvis (Pv).

Chaque procédure devait reproduire une intervention réelle, comportant des phases d'exploration, de dissection et de suture. Le type d'intervention était choisi en fonction de la spécialité de chaque chirurgien (fundoplicature, néphrectomie partielle, cure de jonction pyélourétérale, cure de prolapsus pelvien,...). Les instruments utilisés étaient identiques pour tous les chirurgiens (CAR : crochet monopolaire, pince bipolaire, porte-aiguille, pince grasper ; CS : crochet monopolaire, ciseaux bipolaires, pince fenêtrée, porte-aiguille). La hauteur de la table opératoire et son inclinaison étaient adaptées à chaque chirurgien. La hauteur du moniteur était la même pour tous. Chaque chirurgien était assisté par le même aide

(expérience de 1er aide dans les 2 techniques). La durée des interventions devait être au minimum de 75 minutes.

2.3. Evaluations

2.3.1. Analyses subjectives

La mesure de la charge de travail subjective utilise des échelles graduelles pour évaluer la charge de travail perçue par les opérateurs. Alors que les mesures physiologiques sont plus précises et objectives, ces mesures subjectives de la charge de travail sont moins invasives, plus faciles à appliquer et plus facilement reproductibles.

2.3.1.1. NASA-TLX

Le NASA-TLX est un des instruments de mesure de la charge de travail parmi les plus utilisés pour les secteurs d'activité où celle-ci soumet l'opérateur à de nombreuses contraintes ^[18]. Cet outil avait initialement été développé par la NASA afin d'analyser la charge de travail des contrôleurs aériens. Sa reproductibilité dans d'autres activités a été démontrée de nombreuses fois ^[39,48].

Cet outil analyse différentes composantes de la charge de travail qui sont spécifiques à la tâche réalisée : contraintes physiques, mentales et temporelles ainsi que les perceptions de la performance réalisée, de la frustration perçue et de l'effort investi. Chacune de ces sous-échelles décrit une composante utilisée pour illustrer l'aspect général de la charge de travail. (Annexe 2)

Les chirurgiens étaient invités à évaluer ces composantes sur une échelle visio-analogique en fin d'intervention, donnant ainsi un aperçu de la charge de travail de l'ensemble de la procédure.

2.3.1.2. Borg CR-10

L'échelle CR-10 est un outil développé par Borg ^[12], basé sur le recueil de la perception de l'effort investi. L'opérateur indique l'énergie et la force ressenties liées à la procédure, en combinant toutes les sensations de stress physique, effort et fatigue. De nombreuses études ont montré une bonne corrélation entre la perception de l'effort investi et la mesure quantitative de la réponse physiologique ^[34,38] (acidose métabolique, ventilation, fréquence cardiaque, fréquence respiratoire) lors d'exercices à charge de travail croissante. L'évaluation de la perception de l'effort investi peut ainsi être considérée comme une bonne approche de la charge de travail physique. En pratique, cette échelle est par exemple utilisée dans des protocoles de rééducation musculo-articulaire.

Le chirurgien indique le niveau de perception de l'effort sur une échelle de valeurs allant de 0 à 10 (0 signifiant une absence de contraintes, 10 des contraintes extrêmement pénibles et douloureuses) (Annexe 1). 7 segments corporels ont été évalués : jambes, dos, cou, épaules droite et gauche et avant-bras droit et gauche, de façon à représenter aux mieux les différentes localisations douloureuses ou contraignantes citées par les chirurgiens. Cette quantification a été réalisée de façon répétitive toutes les 15 minutes au cours de chaque intervention afin d'obtenir une évolution temporelle. Pour prendre en compte les durées variables des interventions, les évaluations subjectives ont été affectées dans 5 périodes déterminées en fonction du temps dans l'intervention comme suit : période 1 : moins de 10%, période 2 : de 10 à 40%, période 3 : de 40 à 60%, période 4 : de 60 à 90%, période 5 : plus de 90% de la durée d'intervention.

2.3.2. Mesures physiologiques

2.3.2.1. Analyse électromyographique

L'électromyographie est un reflet de l'activité musculaire. Le signal EMG est récolté par 2 électrodes de surface, placées sur chaque corps musculaires de 8 muscles (SENIAM project) ^[20] : fléchisseurs superficiels des doigts (*Flexor Digitorum*), extenseurs des doigts (*Extensor Digitorum*), trapèzes (*Trapezius*) et érecteurs du rachis (*Erector Spinae*).

Nous avons considéré que la contribution de ces muscles était majeure dans les mouvements de posture du chirurgien et dans les plaintes exprimées par les chirurgiens ^[15,29,31,37]. En effet,

nos observations et recherches bibliographiques montraient que les muscles les plus souvent responsables de douleurs sont les muscles élévateurs des épaules (Trapezius) et extenseurs du rachis (Erector Spinae). L'analyse des Extensor Digitorum et Flexor Digitorum permet d'évaluer l'influence des poignées d'instruments.

Les données EMG ont été transmises via un système WIFI (PocketEMG, BTS SpA, Milan, Italy) (Figure 9). L'analyse du signal a été réalisée à partir d'un programme développé sous Labview (National Instruments®). Le signal était enregistré à une fréquence de 1000Hz pendant 2 minutes toutes les 4 minutes, puis filtrée par un filtre passe-bande 20-500Hz. Les données étaient normalisées par rapport à l'activité EMG durant une période de contraction volontaire maximum (% CVM). (Figure 10)

Le paramètre EMG que nous avons retenu est la Root Mean Square (RMS), qui représente l'activité musculaire. Une RMS élevée signifie une activité musculaire élevée, et une RMS en augmentation croissante signe l'apparition d'une fatigue musculaire (l'augmentation de la RMS traduit un recrutement supplémentaire de fibres musculaires pour répondre à une demande physique qui ne peut plus être comblée avec les fibres jusqu'à présent activées). Pour prendre en compte les durées variables des interventions, les valeurs moyennes de RMS ont été calculées pour 5 périodes de 2 minutes (0, 25, 50, 75, 100% du temps total d'opération)

2.3.2.2. Analyse cardio-fréquentielle

La fréquence cardiaque (Fc) est un indicateur de l'activité physique du chirurgien. La Fc a été enregistrée en continu à l'aide d'un cardio-fréquencemètre pendant toute la durée de l'intervention ainsi que durant des temps de repos avant et après celle-ci. Les données de Fc ont été moyennées afin de calculer le coût cardiaque (Fc intervention-Fc repos).

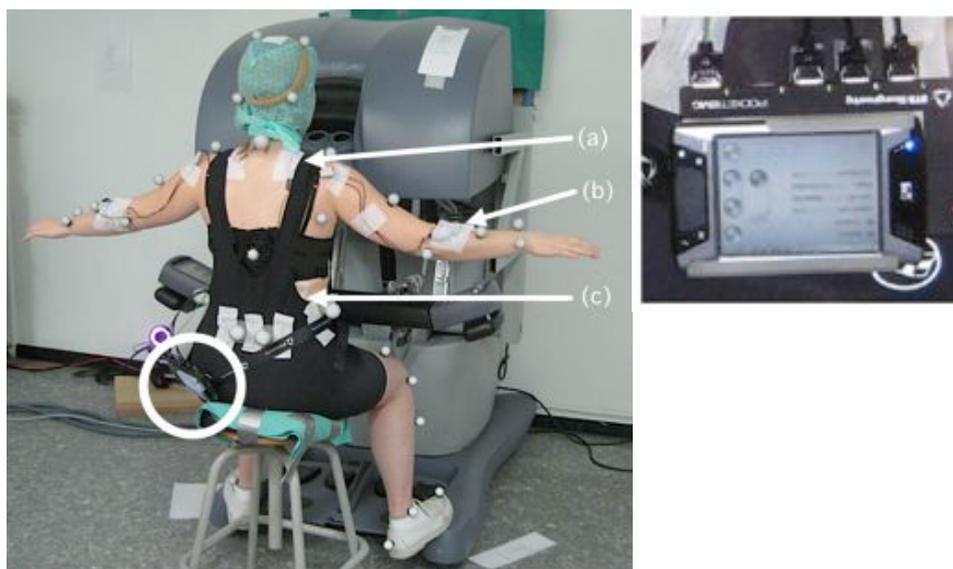


Figure 9 : Localisation des différentes électrodes (image de gauche) : Trapezius (a), Extensor Digitorum (b) et Erector Spinae (c). Le signal EMG capté par les électrodes est centralisé dans un boîtier (image de droite), porté par le chirurgien (cercle image de gauche), qui envoie l'enregistrement en WIFI à l'ordinateur.



Figure 10 : Epreuve de contraction maximale volontaire des Trapezius (CMV). Le chirurgien lève les bras à l'horizontale en portant un poids de 1 kg dans chaque main, permettant d'activer au maximum les muscles Trapezius.

2.3.3. Mesures biomécaniques

La principale différence que l'on perçoit lors de la comparaison des 2 techniques cœliochirurgicales réside dans la posture du chirurgien. Une analyse plus fine de cette posture apparaissait donc nécessaire, afin d'expliquer d'éventuelles modifications de la charge de travail.

Pour cela, nous avons utilisé une technique d'analyse posturale par une modélisation tridimensionnelle (axe x,y,z) du corps entier de l'opérateur. Le déplacement des centres articulaires reconstruits à partir des marqueurs placés sur le chirurgien permet d'étudier les mouvements du corps dans sa globalité. L'analyse de la position d'un segment corporel par rapport à un autre permet d'étudier :

- l'évolution de la posture au cours du temps ;
- le passage des positions articulaires dans des zones d'inconfort (angles articulaires créant des contraintes physiques) ;
- l'organisation segmentaire de la posture.

37 marqueurs passifs ont ainsi été disposés sur les chirurgiens afin de procéder à l'enregistrement de leur déplacement par rapport à un référentiel grâce à un système optoélectronique (Vicon®) (Figure 11). La détection de la position des marqueurs par au moins 2 caméras infrarouges sur les 6 installées dans la salle permet une mesure cinématique de la posture (Figure 12). La modélisation du corps entier a été réalisée en utilisant le modèle d'Hanavan ^[17] sur la base d'un relevé de 40 mesures anthropométriques de chaque intervenant. (Figure 13)

Les enregistrements ont été réalisés par périodes de 20 secondes toutes les minutes. L'analyse a été effectuée pour un enregistrement sur 5, pour 11 chirurgiens dans chacune des 4 situations expérimentales.

La modélisation a permis le calcul des angles inter-segmentaires (angles d'Euler) tels qu'ils ont été défini par l'ISB (International Society of Biomechanics) ^[46,47] entre le bassin et le tronc selon les 3 directions dans l'espace (flexion-extension (plan sagittal), inclinaison latérale (plan frontal), rotation selon l'axe vertical (plan transversal)).

Les segments ont été choisis de façon à pouvoir comparer les résultats aux recommandations ergonomiques données par la norme AFNOR EN 1005-4 ^[1].

Les statistiques ont été effectuées par des tests non paramétriques lors d'analyses de variance à 1 facteur.

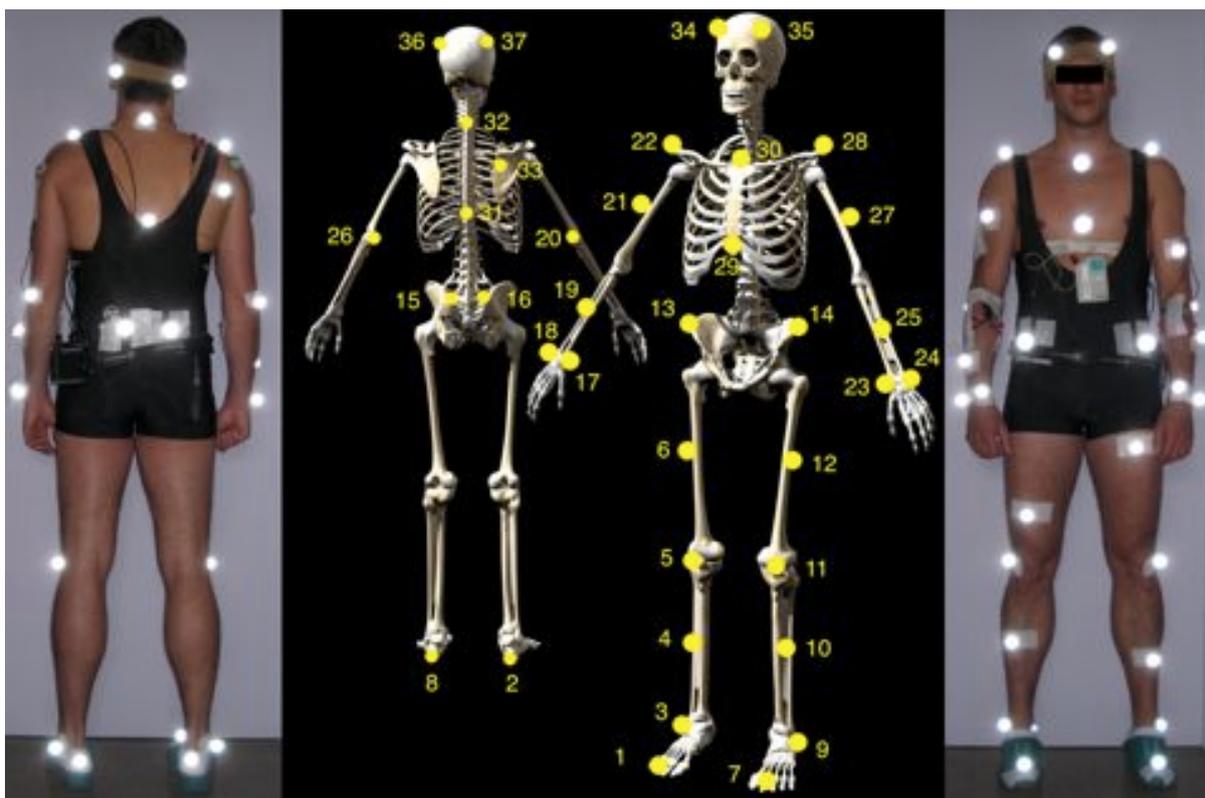


Figure 11 : Disposition des marqueurs pour l'analyse cinématique.

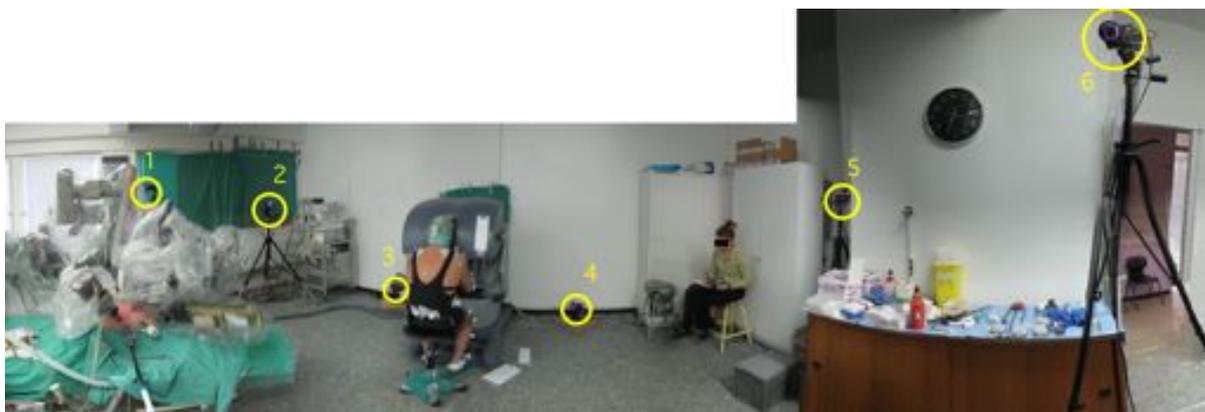


Figure 12 : Panorama de la salle opératoire pendant la session robot. Le chirurgien est assis à la console. Le robot est à gauche. 6 caméras (cercles jaunes) enregistrent la position des marqueurs en temps réel.

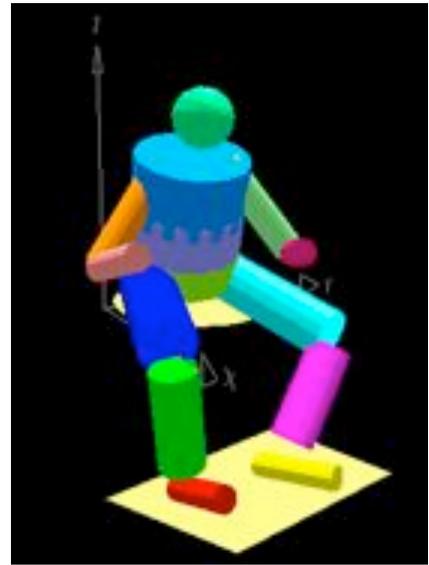
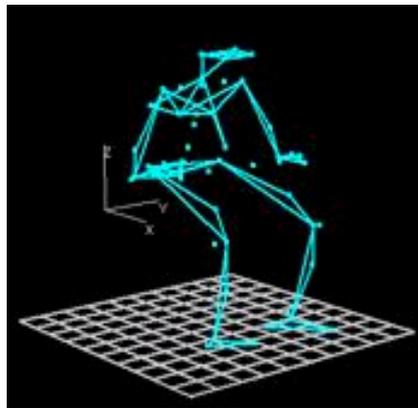
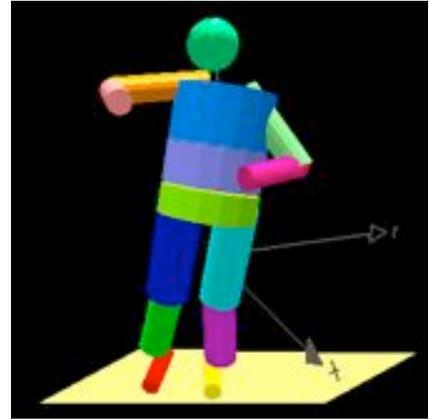
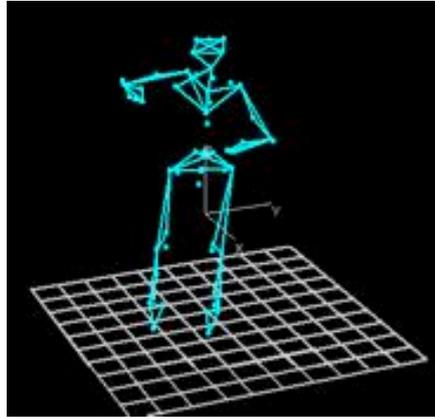


Figure 13 : Les différentes étapes de l'analyse biomécanique en CS et CAR.
De gauche à droite : enregistrement per-opérateur, dénomination des marqueurs et reconstruction selon le modèle d'Hanavan.

3. RÉSULTATS

La durée moyenne des interventions était de $83,5 \pm 10,7$ mn. 23 chirurgiens ont participé à cette étude, provenant de 3 établissements différents (CHRU Nancy, CHRU Strasbourg, CAV Nancy) et représentaient 3 spécialités chirurgicales (chirurgie urologique, viscérale et gynécologique). Au total, 44 procédures ont pu être réalisées, 11 CAR (Cœliochirurgie Assistée par Robot) et 33 (11x3) CS (Cœliochirurgie Standard).

3.1. Analyse subjective

3.1.1. NASA-TLX

Lors de l'évaluation des différentes charges de travail (NASA-TLX), la seule différence observée est celle de la composante physique. La charge de travail physique est significativement plus importante en CS qu'en CAR (CS 5,75 vs CAR 2,99, $p < 0,05$). Il n'y a pas de différence concernant les autres composantes ($p > 0,05$), notamment en terme de charge mentale et d'investissement des compétences et de l'expérience. (Figure 14)

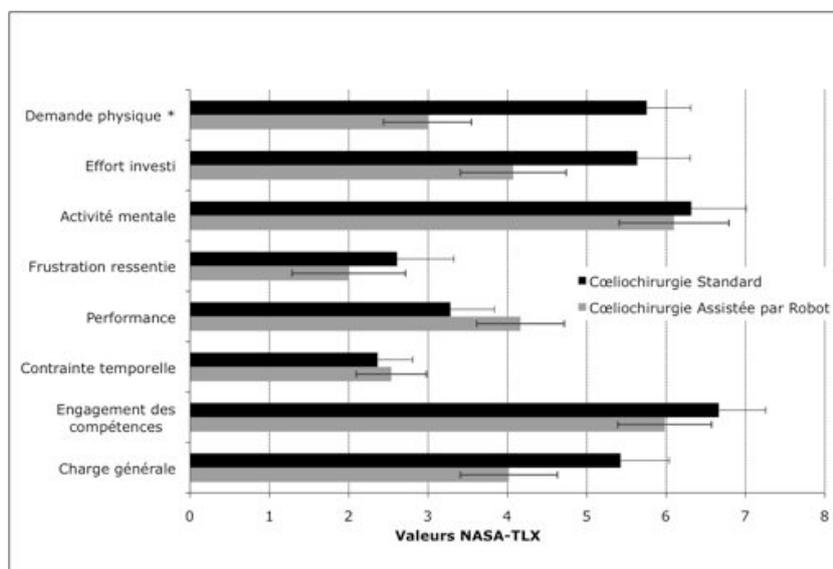


Figure 14 : Evaluation des différentes charges de travail (NASA-TLX) * $p < 0,05$

3.1.2. Borg CR-10

Lors de l'évaluation de la difficulté physique (Borg CR-10), la posture CS est perçue comme significativement plus contraignante ($p < 0,001$) pour toutes les localisations corporelles. Les contraintes les plus importantes concernent les deux épaules (CS $3,09 \pm 0,17$ vs CAR $1,59 \pm 0,17$), le cou (CS $3,1 \pm 0,18$ vs CAR $1,7 \pm 0,18$) et le dos (CS $3,12 \pm 0,21$ vs CAR $1,85 \pm 0,21$). (Figure 15)

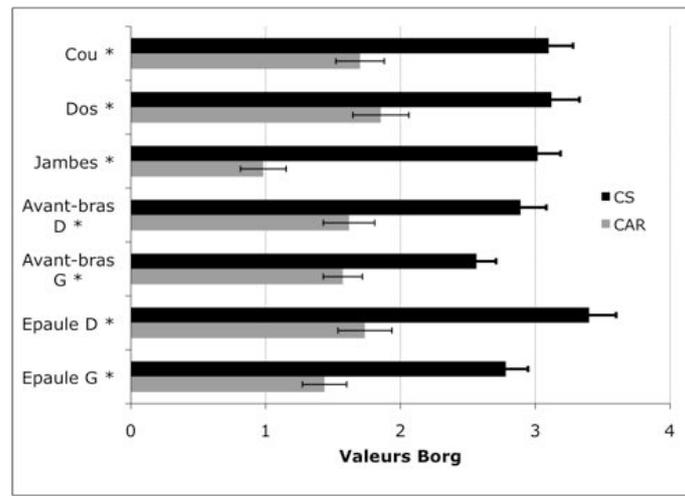


Figure 15 : Perception de l'effort investi pour les différents éléments corporels étudiés. * $p < 0,05$

On retrouve une augmentation des contraintes dans le temps pour les mêmes régions du corps en CS, alors qu'elles restent stables en CAR. Cette évolution est plus faible pour les jambes et les avant-bras. (Figure 16)

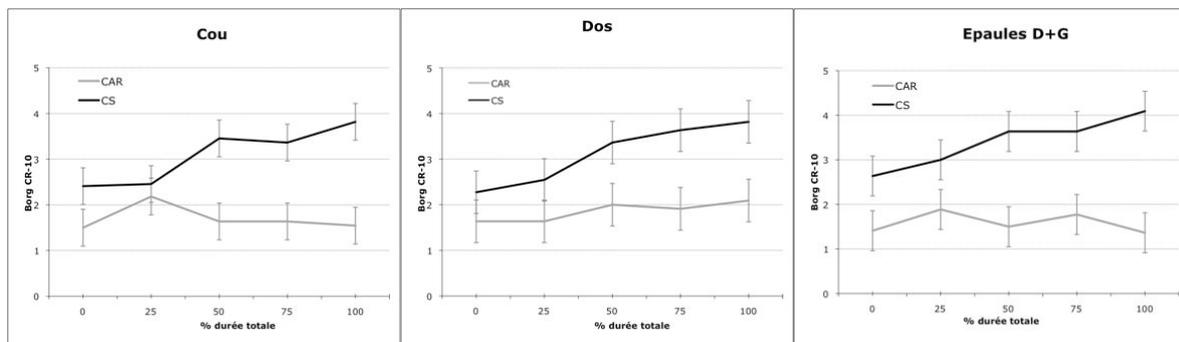


Figure 16 : Evolution de la perception de l'effort investi pour le cou, le dos et les 2 épaules au cours des procédures.

3.2. Mesures physiologiques

3.2.1. Fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque au cours de l'intervention est significativement supérieure en CS par rapport à CAR (CS $85,8 \pm 1,4$ vs CAR $80 \pm 1,6$, $p < 0,05$). La fréquence cardiaque moyenne $[(F_c \text{ CAR} + F_c \text{ CS}) / 2]$ est significativement augmentée entre la période opératoire et le repos ($86,7 \pm 1,2$ vs $79,1 \pm 1,7$, $p < 0,05$). Le coût cardiaque moyen ($F_c \text{ intervention} - F_c \text{ repos}$) est significativement supérieur en CS ($11,9 \pm 2,4$ vs $4,6 \pm 3,2$, $p < 0,001$). L'évolution de la fréquence cardiaque au cours du temps est différente entre les 2 techniques mais reste non significative. (Figure 17)

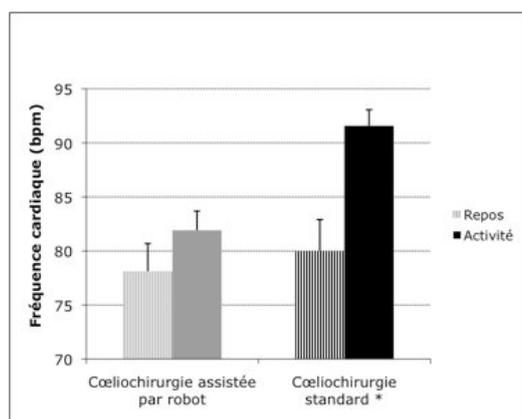


Figure 17 : Fréquence cardiaque moyenne pour les 2 techniques en fonction de l'activité physique. * $p < 0,05$

3.2.2. Electromyographie

En EMG, la RMS est plus élevée ($p < 0,05$) en CS pour les muscles Erector Spinae droit et gauche, Trapezius droit et gauche et Flexor Digitorum droit et gauche, soulignant une activité musculaire plus importante pour ces groupes musculaires. La charge de travail des Erector Spinae controlatéraux est significativement asymétrique. Il n'y a pas de différence significative de charge de travail concernant les Extensor Digitorum entre les 2 techniques. (Figure 18)

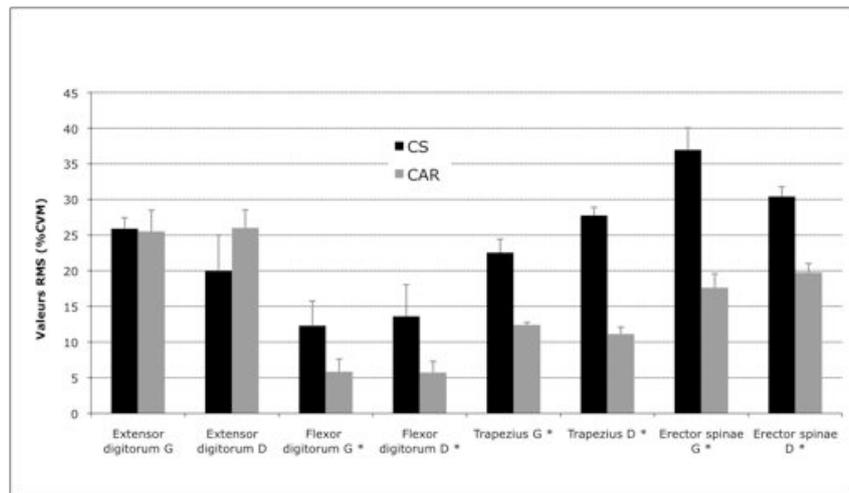


Figure 18 : RMS moyenne pour les différents muscles étudiés. * $p < 0,05$

Afin d'évaluer l'apparition d'une fatigue musculaire, nous avons comparé la RMS mesurée en début d'opération (les 2 premières minutes) et en fin d'opération (les 2 dernières minutes). La RMS est significativement augmentée en fin d'intervention pour les 2 muscles Trapezius en CS ($p < 0,05$), soulignant l'apparition d'une fatigue musculaire (Trapezius droit départ $23,5 \pm 9,3\%$ de la valeur étalon vs fin $31,1 \pm 13\%$ et Trapezius gauche $15,8 \pm 6,6\%$ vs $27 \pm 16,1\%$). Ces valeurs restent stables pour les autres muscles en CS et pour tous les muscles en CAR. (Figure 19)

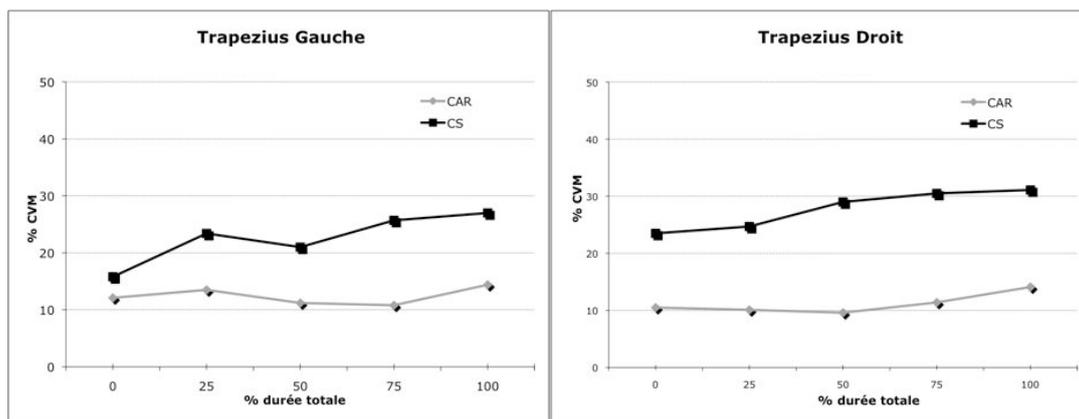


Figure 19 : Evolution de la RMS au cours des procédures pour les muscles Trapezius droit et gauche. La pente des courbes en CS est significative pour les 2 côtés ($p < 0,05$), signant l'apparition d'une fatigue musculaire.

3.3. Mesures biomécaniques

La flexion du tronc dans le plan sagittal a été calculée en considérant l'angle vertical entre le plan du thorax et celui du bassin. Les 2 plans ont été définis par 3 centres articulaires correspondant aux segments choisis. Le centre de rotation est situé au milieu du bassin. Le calcul de l'inclinaison a été fait selon les mêmes repères mais dans le plan frontal. (Figure 20)

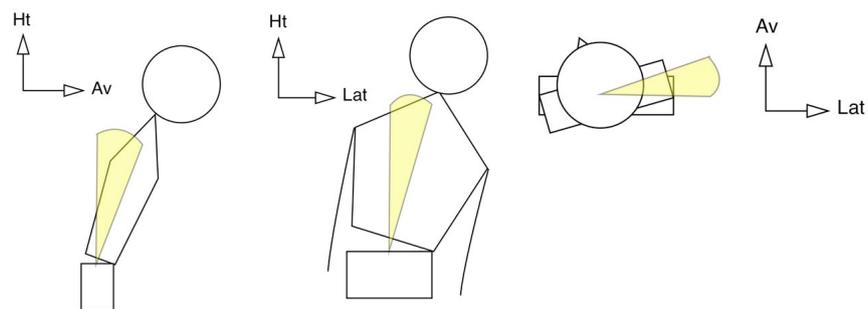


Figure 20 : Références de calcul de la flexion, l'inclinaison et la torsion du tronc. La rotation présentée est antihoraire.

3.3.1. Inclinaison antéro-postérieure

- L'inclinaison vers l'avant dans la situation robot est significativement supérieure à celle observée pour les 3 autres situations ($p < 0,05$). Il n'y a pas de différence entre les situations CS. (Figure 21) L'inclinaison du tronc est toujours en flexion. La posture au robot reste stable au cours du temps alors qu'elle est instable pour les autres situations.

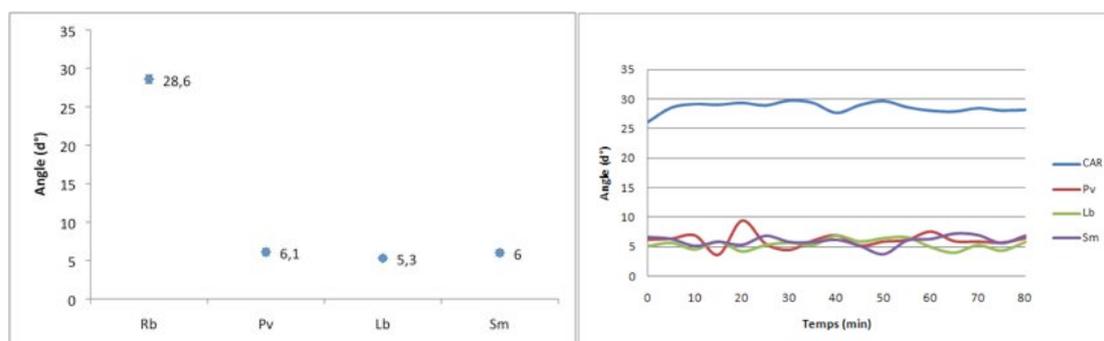


Figure 21 : Angles de flexion du tronc pour les différentes conditions et leur évolution dans le temps.

3.3.2. Inclinaison latérale

- Concernant l'inclinaison latérale, la posture CAR est significativement différente des 3 autres postures ($p < 0,05$), l'inclinaison en CAR étant la plus faible. (Figure 22) La répartition de l'inclinaison prédominante de chaque chirurgien est variable selon les conditions étudiées. (Figure 23) La posture au robot reste stable au cours du temps alors qu'elle est variable pour les autres situations.

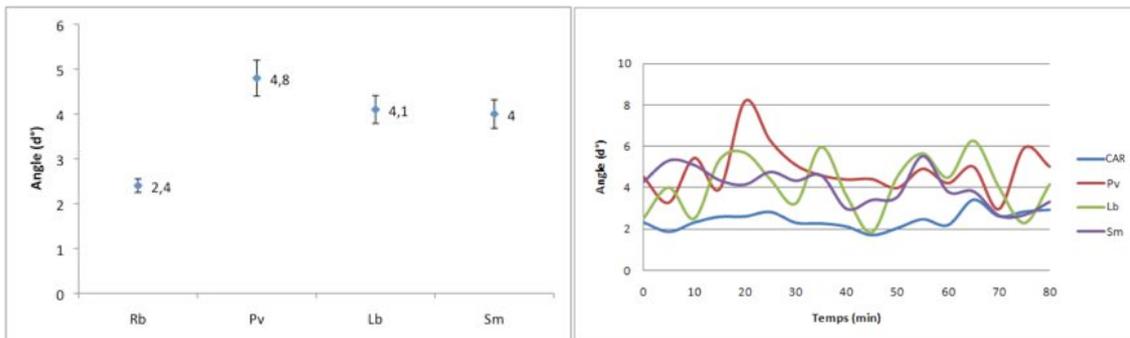


Figure 22 : Angles d'inclinaison du tronc pour les différentes conditions et leur évolution dans le temps.

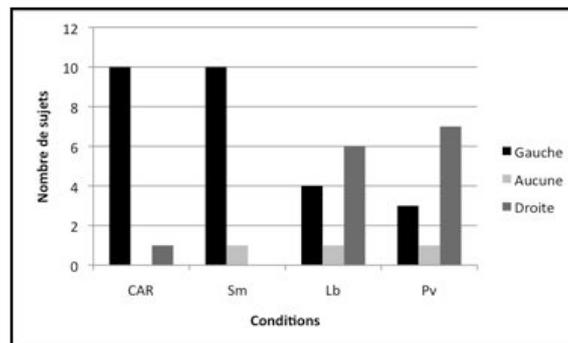


Figure 23 : Répartition des chirurgiens en fonction du côté de l'inclinaison latérale du tronc.

3.3.3. Rotation

- L'amplitude de rotation est significativement plus importante en situation Pv que pour les trois autres conditions opératoires. (Figure 24) La majorité des chirurgiens présente une rotation antihoraire du tronc quelque soit la situation. (Figure 25) La posture au robot et en situation Pv est plus stable que les 2 autres.

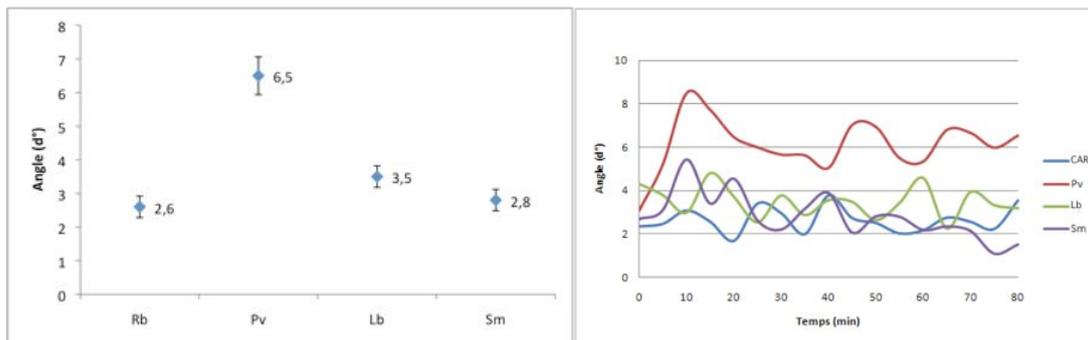


Figure 24 : Angles de rotation du tronc pour les différentes conditions et leur évolution dans le temps.

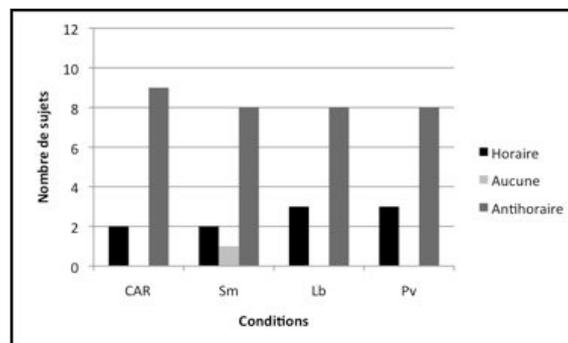


Figure 25 : Répartition des chirurgiens en fonction du sens de rotation du tronc.

PARTIE TROISIÈME

DISCUSSION

1. GÉNÉRALITÉS

Le but de cette étude était d'examiner les risques ergonomiques associés à la cœliochirurgie standard et assistée par robot.

Le sujet de cette étude est novateur. En effet, les conséquences physiques sur le chirurgien ont longtemps été ignorées devant les avantages clairement établis de la cœliochirurgie standard et sa forte demande par les patients. Pourtant, de plus en plus de chirurgiens pratiquant cette technique en viennent à se plaindre de douleurs directement liées à la pratique de cette technique. La cœliochirurgie assistée par robot a apporté une modification complète de la posture de travail du cœliochirurgien. Devant l'évidence d'un confort amélioré grâce à la position assise et les appuis, il était important de montrer objectivement dans quelles conditions cette nouvelle posture modifie la charge de travail du chirurgien. Prouver aux chirurgiens qu'une modification de leur posture permet de diminuer la charge de travail physique associée pousserait ceux-ci à mieux prendre conscience des solutions à apporter à leurs contraintes. De plus, même si le prix de cet instrument reste considérable, une ergonomie améliorée pour le chirurgien peut être un argument supplémentaire pour l'acquisition d'un tel outil.

L'originalité principale de cette étude réside dans l'approche multi-modale, réalisée avec l'aide de chargés d'étude en ergonomie au travail. Peu d'études ont permis d'étudier 3 aspects de la charge de travail aussi différents en même temps. L'électromyographie et les échelles d'évaluation de la charge de travail ont très souvent été utilisées pour étudier la charge de travail dans de nombreuses spécialités, mais elles n'ont qu'occasionnellement été utilisées en chirurgie. Par contre, la mise en application de la cinématique 3D est une première dans des conditions réelles. L'analyse simultanée de la perception de l'effort investi, de la charge de travail musculaire et de la posture permet une meilleure compréhension de la réponse des chirurgiens aux contraintes liées à la tâche opératoire.

2. ANALYSE GLOBALE

On peut tout d'abord retenir que la cœliochirurgie standard impose au chirurgien une charge de travail physique nettement plus importante que la cœliochirurgie assistée par robot. Cette différence est particulièrement importante dans la perception des efforts investis, où non seulement cette charge de travail est supérieure en CS, mais elle a tendance à s'accroître au cours des procédures, atteignant au bout de 75 minutes des intensités qui sont considérées comme pénibles par l'ensemble des chirurgiens pour le cou, le dos et les 2 épaules. Aux pénibilités de ces 3 régions sont associées d'importantes sollicitations des Erector Spinae et des Trapezius, responsables de l'apparition d'une fatigue musculaire en fin d'intervention pour les épaules. Cette fatigue participe elle aussi grandement à la pénibilité ressentie en fin d'intervention. L'ensemble de ces résultats sont valables pour les 75 minutes de procédures, mais il est probable que les signes de fatigue et de contraintes seraient majorés si les sollicitations venaient à continuer, se déclarant comme de réels TMS.

A l'inverse, l'intensité de l'effort reste faible et stable en CAR pour tous les segments corporels, la charge de travail musculaire restant modérée et la fréquence cardiaque stable, signifiant un investissement physique moindre. En plus de l'intérêt de la position assise pour le confort des jambes, cette position présente également 3 appuis supplémentaires pour les avant-bras et la tête, qui permettent ainsi un relâchement global de l'opérateur.

Les contraintes physiques (perçues et musculaires) apparaissent donc comme étant les principaux facteurs de charge de travail différenciant les 2 techniques. En effet, ni la performance, ni la contrainte temporelle, ni l'expérience, ni la frustration (ensemble d'items qui permettraient d'approcher la notion de stress mental) ne semblent modifier la charge de travail. La similarité entre les 2 techniques pour ces items est probablement due aux qualifications des chirurgiens. La plupart des chirurgiens étaient seniors dans leurs spécialités en cœliochirurgie, donc avec une expérience chirurgicale importante. Cette expérience acquise leur permet donc de maîtriser et de s'adapter à toutes situations inhabituelles lors des 2 techniques. De précédentes études avaient pourtant montré que le stress mental était différent entre ces 2 techniques, à l'avantage de la CAR ^[10,26,40]. Cependant, la majorité de ces études étaient expérimentales (simulateurs, pelvitainers), et n'engageaient que des étudiants novices de toute cœliochirurgie, expliquant probablement cette différence : l'apport de la 3D,

les mouvements dans les 7 dimensions, et les autres avantages du robot ont, pour ces sujets novices, plus d'influence que sur des chirurgiens seniors.

Enfin, il faut noter que la charge de travail physique joue une part considérable dans la perception que le chirurgien a de son intervention. En effet, celui-ci est beaucoup plus à l'écoute des contraintes physiques qu'il expérimente qu'au stress mental. L'expérience acquise par la répétition des interventions permet, comme nous l'avons déjà évoqué, de diminuer ce stress mental, alors que les contraintes physiques restent présentes et leur retentissement peut même s'aggraver avec l'âge. On peut d'autant mieux expliquer le fait que certains chirurgiens en viendront à orienter le choix de leur approche chirurgicale en fonction des contraintes subies antérieurement. Il est naturel et humain que l'on ne veuille pas répéter une expérience associée à des efforts physiques trop importants, responsables de douleurs et fatigues, et que l'on veuille choisir une autre voie si elle est disponible, la CAR dans ce cas précis. De plus, ces sollicitations importantes seront responsables d'une crispation physique et d'un stress supplémentaire au début des interventions, et participeront à l'apparition des TMS. On tombe donc dans un cercle vicieux que la diminution des contraintes physiques permettrait de rompre.

3. LE TRONC

Les muscles Erector Spinae ont une action importante dans la verticalisation du rachis. Ils participent par leur action dynamique au redressement du rachis et par leur action statique au maintien de la posture en empêchant la chute en avant du tronc.

3.1. Cœliochirurgie standard

En cœliochirurgie standard, et quelque soit la situation, le rachis est le lieu de contraintes physiques fortement perçues par le chirurgien, et d'intensité croissante au cours des procédures. Ces contraintes sont liées à 2 mouvements du rachis :

- Inclinaison antéro-postérieure : l'inclinaison du tronc se fait toujours en flexion quelque soit la situation cœliochirurgicale, signe que la posture est en déséquilibre mais maintenue par les Erector Spinae. Ce déséquilibre peut avoir plusieurs causes, les principales étant

l'accompagnement par le tronc des mouvements profonds des instruments, ou encore le fait de se rapprocher du moniteur pour avoir une meilleure vision du site opératoire. (Figure 26)



Figure 26 : Exemple d'inclinaison antérieure du tronc afin d'obtenir une meilleure vision de l'image sur le moniteur.

- Inclinaison latérale, de côté variable, expliquant l'activité asymétrique des Erector Spinae. Cette inclinaison latérale est fortement liée au positionnement des trocarts, ainsi qu'à l'utilisation des pédales de diathermie qui provoquent un déséquilibre du bassin compensé par l'inclinaison du tronc.

La variabilité de l'inclinaison (dans les plans antéro-postérieur et latéral), mais de faible amplitude, est le signe d'une posture qui, tout en restant globalement stable, s'accompagne de petits mouvements dus à la manipulation des instruments et qui permettent de soulager la charge de travail du tronc.

En prenant en compte le tronc dans son référentiel et en comparant les valeurs des angles obtenus aux normes AFNOR (tableau 2), la posture du chirurgien apparaît dans des zones d'amplitudes articulaires ergonomiquement acceptables pour les 3 référentiels anatomiques analysés. La pénibilité des efforts perçus au cours du temps et la charge de travail musculaire semblent donc majoritairement liées au maintien de ces postures déséquilibrées sur un seul support (le sol) qu'aux seules valeurs d'inclinaisons et de torsion. Ces contraintes

correspondent en partie aux facteurs du risque de TMS cités plus tôt (travail en position maintenue).

	acceptable	non recommandé	à éviter
inclinaison antéro-postérieure	0-20°	20°-60°	>60°
	Pv, Sm, Lb	CAR	
inclinaison latérale	0-20°	20°-60°	>60°
	CAR, Pv, Sm, Lb		
rotation	0-10°		>10°
	CAR, Pv, Sm, Lb		

Tableau 2 : Répartition des différentes situations dans le référentiel AFNOR en fonction des zones articulaires enregistrées.

Il est cependant important de noter que l'inclinaison et la rotation du corps ne sont pas limitées aux seuls mouvements du tronc. Les articulations des hanches et des chevilles participent également à l'adaptation de la posture de travail. On obtient ainsi une somme de mouvements articulaires, qui indépendamment les uns des autres ne se trouvent pas dans des zones ergonomiquement inacceptables, mais qui additionnés entraînent une posture déséquilibrée et source d'un inconfort supplémentaire. (Figure 27)

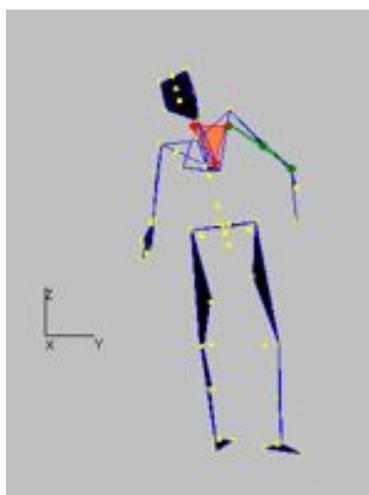


Figure 27 : Exemple de posture déséquilibrée. Vue postérieure. On remarque l'inclinaison des jambes et du bassin en plus de l'inclinaison du tronc.

La posture du chirurgien et particulièrement le tronc en CS apparaît ainsi avec un centre de gravité dévié et ne se trouvant plus dans le polygone de sustentation. Le déséquilibre qui en résulte est source d'une charge musculaire et d'un désagrément physique augmenté.

3.2. Cœliochirurgie assistée par robot

Au contraire de la CS, la flexion du tronc apparaît dans une zone d'amplitude articulaire peu recommandable (20-60°) ^[1], flexion qui dans l'absolu ne pourrait être maintenue pendant l'intégralité des procédures que cela soit en position debout ou assise. Cette flexion reste également très stable au cours du temps, stabilité qui devrait théoriquement être associée avec un inconfort (Figure 28). Pourtant, comparativement à la CS, l'effort physique perçu pour le dos en CAR est plus faible. On y voit l'intérêt des 4 points d'appuis (bras X2, front et fesses) qui permettent de maintenir et relâcher une posture qui devrait être très contraignante. Qui plus est, l'analyse de l'évolution dans le temps de la perception de l'effort investi au niveau du dos et du cou montre que cette posture non ergonomique peut être maintenue dans le temps sans subir de contraintes majeures. Ce soulagement de la posture grâce aux différents appuis explique également les plus faibles sollicitations enregistrées des Erector Spinae. Inclinaison et torsion restent dans des valeurs faibles et relativement stables, indiquant une posture restant certes fixe mais confortable grâce à ces appuis.

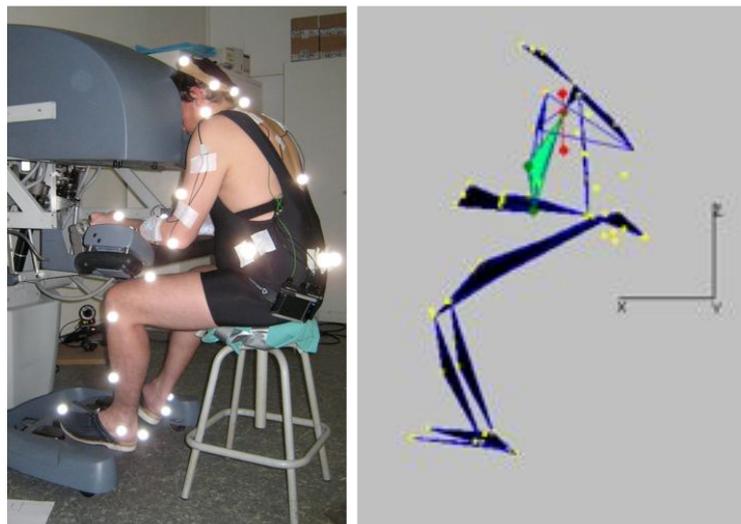


Figure 28 : Exemple de posture en situation robot : on remarque la flexion du tronc et les différents appuis (tête, coudes et fesses).

Ainsi, malgré une posture du tronc se situant dans des zones articulaires à risque, les différents appuis et la possibilité d'alterner leur importance permettent réellement de diminuer la charge de travail physique (perçue et objective) du dos, rendant cette situation de travail plus ergonomique.

Cependant, le bas du dos reste le lieu d'une charge musculaire persistante mais faible, montrant que le relâchement du rachis n'est pas optimal. En effet, en absence de contraintes posturales, l'activité électromyographique des Erector Spinae devrait théoriquement être nulle. Comme cela avait déjà été évoqué par certains ergonomistes (en comparant la position du chirurgien à la console à celle de l'opérateur à un microscope), le chirurgien est amené à redresser son dos afin d'optimiser la vision des 2 écrans dans la console, faisant donc participer les Erector Spinae à cette posture ^[30]. Nos observations per-opératoires notent que cette position redressée est la plupart du temps associée à une mauvaise adaptation de la hauteur du tabouret ou de la hauteur de la console. (Figure 29)



Figure 29 : Exemple de posture du dos redressée (image de gauche).
La hauteur de la cabine aurait dû être abaissée afin d'obtenir
une cyphose dorsale signe de relâchement du tronc (image de droite).

4. LES ÉPAULES

Les épaules apparaissent comme des articulations très sollicitées lors de la cœliochirurgie standard. De précédentes études montraient que ces articulations étaient le lieu de prédilection de douleurs et crampes musculaires chez les cœliochirurgiens, et que les muscles Trapezius étaient tout particulièrement sollicités. Nous avons donc centré nos analyses électromyographiques sur ces muscles.

4.1. Cœliochirurgie standard

En cœliochirurgie standard, les mouvements des instruments dépendent majoritairement de la liberté de mouvements des épaules, articulations permettant une mobilité des bras dans toutes les directions. Les mouvements d'abduction et de rétropulsion de l'épaule sont ainsi dus en partie à l'action des Trapezius. Ces études avaient montré que l'activité de ce muscle dépendait beaucoup de la hauteur de la table. En effet, plus la table était haut positionnée, plus les bras devaient être surélevés pour manipuler les instruments, amenant l'épaule en abduction.

La charge musculaire élevée des Trapezius en CS est donc principalement liée à une attitude en abduction des épaules, ce qui est cohérent avec les premiers résultats de l'analyse angulaire actuellement en cours sur les épaules. La nécessité de garder une bonne mobilité des avant-bras impose au chirurgien de maintenir les épaules en abduction, maintien qui est responsable des fortes contraintes ressenties par le chirurgien tout au long des procédures.

Il faut noter l'existence pour cette articulation du «syndrome de cendrillon», qui participe probablement aux contraintes ressenties. Ce syndrome se traduit par des myalgies de la ceinture cervico-scapulaire (crispations) touchant les muscles Trapezius et sus-épineux et est liée à une activation continue de certaines unités motrices lors d'un travail musculaire statique. Ce syndrome est principalement présent chez les sujets travaillant sur des postes informatiques, et pourrait être applicable aux cœliochirurgiens.

En différenciant les côtés, on remarque une tendance à l'asymétrie de charge musculaire : l'épaule droite semble être celle qui a la charge de travail physique la plus importante, ce que l'on a pu confirmer en per-opératoire : l'ensemble des chirurgiens étant droitiers, c'est en effet cette épaule qui participe aux mouvements les plus fréquents et les plus importants pour

le travail intra-corporel et le changement d'instruments. De plus, lors de la majorité des interventions, l'aide qui tient la caméra se tient à la droite du chirurgien. Celui-ci doit donc surélever le bras et l'épaule pour pouvoir manipuler les instruments sans gênes.

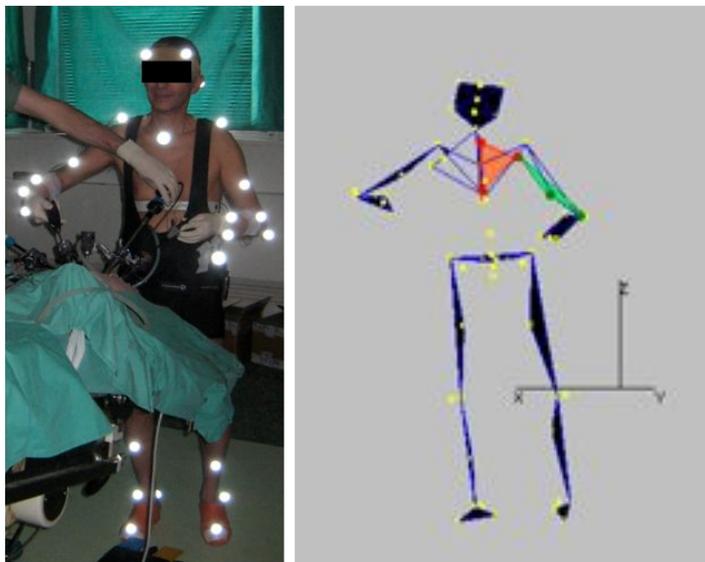


Figure 30 : Exemple d'abduction des épaules en situation Sm (vue face)

4.2. Cœliochirurgie assistée par robot

Dans cette situation, les différents appuis permettent également une diminution de la charge de travail : diminution des efforts perçus et de la charge musculaire.

Pourtant, nous avons observé que les épaules du chirurgien à la console sont systématiquement en abduction et les coudes en appuis, car cela permet :

- Une meilleure mobilité des avant-bras en permettant d'éviter les collisions des poignets lorsque les manettes sont ramenées au centre.
- Une meilleure stabilité du haut du corps (le centre de gravité du haut du corps est dévié à cause de la flexion du tronc) en élargissant le polygone de sustentation (les appuis des coudes jouent alors le même rôle que les pieds lors de la position debout : plus les pieds sont écartés, meilleur est l'équilibre). (Figure 31)

Les appuis permettent ainsi de soulager la charge de travail musculaire des Trapezius en permettant une abduction passive des épaules.

De plus, comme les épaules se trouvent au repos (les appuis du front, coudes et fesses « bloquent » l'épaule), les efforts perçus sont faibles, montrant que cette technique apporte une véritable confort pour cette région du corps.

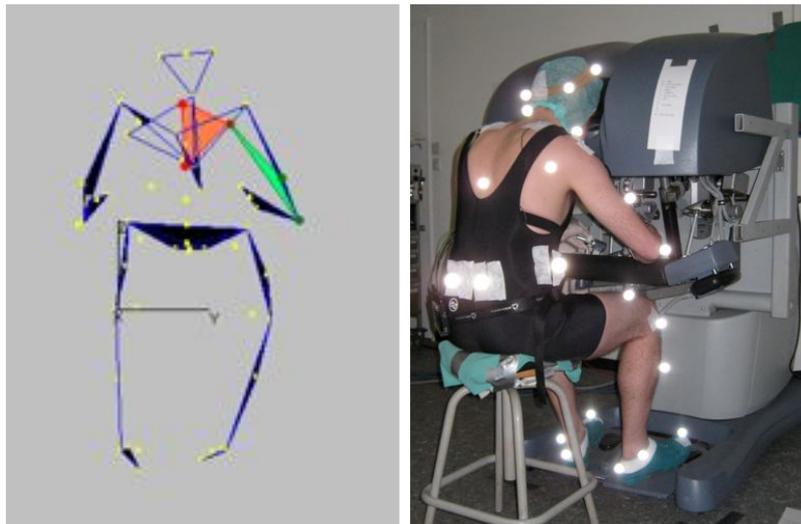


Figure 31 : Exemple d'abduction des épaules en situation CAR

5. ANALYSE PLUS PRÉCISE DE LA SITUATION PELVIS

5.1. Problématique posée

La posture du tronc et des épaules en situation pelvis apparaît comme un exemple caractéristique des postures non ergonomiques imposées au cœliochirurgien. La position du chirurgien de côté par rapport à la table opératoire, le moniteur au pied de la table, la gêne par le bras gauche de l'assistant, les trocarts éloignés de l'axe du corps du chirurgien et la pédale de diathermie sont responsables des contraintes posturales importantes (Figure 32) :

- torsion du tronc à laquelle se rajoutent des plans de rotation au niveau des chevilles et des hanches responsables de contraintes de cisaillement qui majorent la charge de travail

physique et l'inconfort. La torsion du tronc se fait majoritairement dans le sens antihoraire, afin de replacer les épaules tangentiellement à la table pour manipuler les instruments et orienter la vision sur le moniteur ;

- inclinaison du tronc majoritairement vers la droite, permettant d'accompagner les mouvements de l'épaule droite induits par la manipulation des instruments ;
- abduction importante de l'épaule droite ;
- appui unipodal.

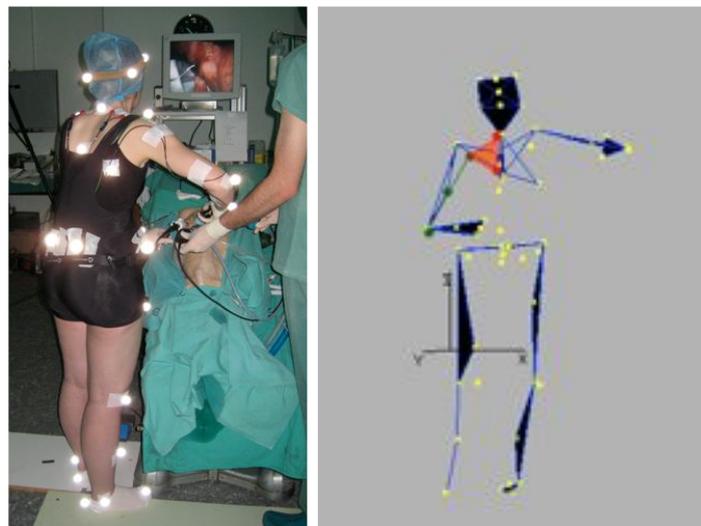


Figure 32 : Exemple de posture en situation pelvis. On remarque l'abduction de l'épaule droite pour chevaucher le bras de l'aide, ainsi que la torsion du tronc dans le sens antihoraire (pieds face à la table et épaules perpendiculaires)

Ces contraintes posturales produisent une charge musculaire importante des muscles correspondants (Erector Spinae et Trapezius), et sont également responsables de la pénibilité de l'effort perçu en fin d'intervention.

5.2. Les solutions à disposition

Les réponses à apporter à ces contraintes représentent un véritable dilemme : comment améliorer l'environnement de travail sans que cela altère le travail du chirurgien?

- La position du chirurgien par rapport au patient ne peut pas être modifiée. Le positionnement des trocarts répond actuellement à la meilleure stratégie chirurgicale.
- Le moniteur doit préférentiellement être positionné dans l'axe des instruments, et donc être positionné soit au bout de la table, soit légèrement décalé sur le côté opposé au chirurgien, permettant ainsi de réduire la torsion du cou et du tronc. Dans ce dernier cas, il est nécessaire de disposer d'un deuxième moniteur pour l'aide opératoire (la position du premier moniteur lui imposerait une torsion trop importante du cou).
- Pour réduire la torsion et l'inclinaison du corps, la position semi-assise pourrait être un compromis, permettant également d'ajouter un appui fessier et donc de soulager les contraintes des deux héli-corps supérieurs et inférieurs.
- L'activation de la diathermie à la main permettrait également de réduire l'inclinaison du bassin en les pieds au repos (ex ligasure®, ultracision®).
- Le chirurgien doit garder une légère abduction des épaules afin de garder une bonne mobilité des poignets et des avant-bras. Il faut donc diminuer l'abduction excessive causée par la hauteur trop élevée du plan de travail et l'aide (Figure 33).



Figure 33 : Exemples de postures de l'épaule droite en situation pelvis : posture de repos (image de gauche), et per-opératoire (image de droite). Pendant la phase de travail, l'abduction de l'épaule est importante, liée aux mouvements des instruments et à la gêne du bras gauche de l'assistant.

La position du chirurgien doit donc être surélevée par rapport à la position des trocarts : au mieux, les poignées des instruments doivent être situées entre -10° et 0° du niveau des coudes au repos, permettant ainsi de réduire efficacement la charge des Trapezius. (Figure 34)



Figure 34 : Effet de la surélévation du chirurgien par rapport au plan de travail (marchepied ou abaissement de la hauteur de la table) sur l'abduction de l'épaule droite en position pelvis. L'abduction de l'épaule est significativement réduite lorsque le chirurgien est plus élevé (image de droite). La ligne fine représente le niveau des coudes au repos.

Les chirurgiens ont d'ores et déjà adopté une solution par l'utilisation d'un marchepied. Cependant, cette solution temporaire ne peut pas être considérée comme une réponse ergonomique adaptée, car le marchepied augmente considérablement le risque de chute du chirurgien ou du personnel en salle.

La meilleure solution semble être d'abaisser la hauteur de la table. Cependant, les tables actuelles ne sont pas adaptées aux conditions de la cœliochirurgie et ne peuvent souvent pas descendre assez bas.

5.3. Discussion

Comme on peut le voir, la principale limite dans la lutte contre les contraintes posturales réside dans l'environnement de travail, le chirurgien devant s'adapter au matériel qu'il a à sa disposition.

Il est important que les chirurgiens aient une bonne information quant aux risques qu'ils encourent en ne maîtrisant pas suffisamment bien leur environnement de travail. Si ceux-ci prennent conscience de la nécessité de le modifier afin de préserver leur santé, tous les concepteurs intervenant dans l'élaboration de cet environnement de travail (allant de la forme des instruments à l'architecture de la salle opératoire) se sentiront obligés de proposer des solutions ergonomiques et réellement applicables.

Dans cette posture spécifique, la cœliochirurgie assistée par robot apparaît comme une réponse ergonomique adaptée à toutes ces contraintes posturales, en modifiant considérablement l'environnement de travail. Disparition de la rotation du tronc et soulagement des épaules associés une posture stabilisée et supportée grâce aux appuis apportent un meilleur confort et une meilleure endurance au cœliochirurgien.

PARTIE QUATRIÈME

CONCLUSION

L'observation des chirurgiens opérant en cœliochirurgie standard et assistée par robot, le recueil des expériences de chirurgiens laparoscopistes laissait à penser qu'il existait une différence dans les conditions de travail et dans leurs conséquences à court terme. Cette étude des contraintes physiques auxquelles est soumis le chirurgien dans chacune des approches chirurgicales, par une analyse subjective (Borg CR-10 et NASA-TLX) et physiologique (EMG-ECG, cinématique) montre objectivement que la cœliochirurgie assistée par robot requiert un travail physique moins important que la cœliochirurgie standard pour le dos, le cou et les épaules. Cette diminution de la charge de travail est également ressentie par le chirurgien qui trouve un confort physique amélioré. Une posture plus contraignante, un travail musculaire plus important, une fatigue musculaire plus précoce, un inconfort physique sont sources de développement de troubles musculo-squelettiques. La cœliochirurgie assistée par robot, tout en gardant le bénéfice de l'approche mini-invasive pour les patients, améliore le bien-être physique du chirurgien, lui permettant ainsi de garder plus longtemps un geste technique de qualité quelque soit le type d'intervention et la durée opératoire. A plus long terme, il est vraisemblable qu'elle permette ainsi de diminuer la fréquence des troubles musculo-squelettiques.

ANNEXES

Consulting Sportif Bisontin

0	Rien du tout	Pas de douleur
0,3		
0,5	Extrêmement faible	A peine perceptible
1	Très faible	
1,5		
2	Faible	Légère
2,5		
3	Modéré	
4		
5	Forte	Pénible
6		
7	Très forte	
8		
9		
10	Extrêmement forte	"Douleur max"
11		
—		
●	Maximum absolu	Plus élevée possible

Borg CR10 Scale

Gunnar Borg, 1981, 1982, 1998.

(Traduction A.Grolambert)

Annexe 1 : Echelle CR-10 selon Borg

Figure 8: NASA-TLX RATING SCALE DEFINITIONS

Title	Endpoints	Descriptions
MENTAL DEMAND	<i>Low/High</i>	How much mental and perceptual activity was required (e.g., thinking, deciding, calculating, remembering, looking, searching, etc.)? Was the task easy or demanding, simple or complex, exacting or forgiving?
PHYSICAL DEMAND	<i>Low/High</i>	How much physical activity was required (e.g., pushing, pulling, turning, controlling, activating, etc.)? Was the task easy or demanding, slow or brisk, slack or strenuous, restful or laborious?
TEMPORAL DEMAND	<i>Low/High</i>	How much time pressure did you feel due to the rate or pace at which the tasks or task elements occurred? Was the pace slow and leisurely or rapid and frantic?
PERFORMANCE	<i>good/poor</i>	How successful do you think you were in accomplishing the goals of the task set by the experimenter (or yourself)? How satisfied were you with your performance in accomplishing these goals?
EFFORT	<i>Low/High</i>	How hard did you have to work (mentally and physically) to accomplish your level of performance?
FRUSTRATION LEVEL	<i>Low/High</i>	How insecure, discouraged, irritated, stressed and annoyed versus secure, gratified, content, relaxed and complacent did you feel during the task?

Annexe 2 : Echelle NASA-TLX (d'après Hart)

• OREGÉ Feuille d'évaluation des amplitudes articulaires

FEUILLE A COMPLETER PAR L'UTILISATEUR

Date :	Évaluation :	Poste :	Opérateur :					
COU		Plan sagittal Plan frontal Plan transversal	Gauche	Action N°				
			Deux					
			Gauche					
			Deux					
EPAULE		Plan sagittal Plan frontal	Gauche	Action N°				
			Deux					
			Gauche					
			Deux					
COUDE		Plan sagittal	Gauche	Action N°				
			Deux					
			Gauche					
			Deux					
POIGNET		Plan sagittal	Gauche	Action N°				
			Deux					
			Gauche					
			Deux					

- ① = Acceptable
- ② = Pas recommandé
- ③ = À éviter

Note : Évaluer pour 1 ou 2 membres selon la nature de l'action.
 COMPLETER les cases avec les notes (1, 2, ou 3)
 Augmenter la note d'un point si la même posture est maintenue pendant plusieurs minutes.
 Ajouter un point à la note en cas d'abduction ou d'adduction extrêmes du poignet.

Annexe 3 : Référentiel OREGÉ

	RULA	OWAS	OSHA	OCRA	ED 797	1995-4	1995-5
Poignet							
Flexion							
Vert	0	-	0-20	0-45	0-10	-	0-45
Jaune	0-15	-	>20	>45	>10	-	>45
Rouge	>15	-	>20	>45	>10	-	>45
Extension							
Vert	0	-	0-30	0-45	0-30	-	0-45
Jaune	0-15	-	>30	>45	>30	-	>45
Rouge	>15	-	>30	>45	>30	-	>45
Déviat. radiale							
Vert	0	-	-	0-15	-	-	0-15
Jaune	0	-	-	>15	-	-	>15
Rouge	>0	-	-	>15	-	-	>15
Déviat. cubitale							
Vert	0	-	-	0-20	-	-	0-20
Jaune	0	-	-	>15	-	-	>15
Rouge	>0	-	-	>15	-	-	>15
Avant-bras							
Flexion							
Vert	60-100	-	-	Amp. < 60°	10-30 ?	-	Amp. < 60°
Jaune	0-60 ; >100	-	-	Amp. < 60°	-	-	Amp. < 60°
Rouge	-	-	-	Amp. > 60°	-	-	Amp. > 60°
Pronation							
Vert	0-45	-	-	0-45	-	-	0-45
Jaune	0-45	-	-	0-45	-	-	0-45
Rouge	proc. extr.	-	-	>45	-	-	>45
Supination							
Vert	0-45	-	-	0-45	-	-	0-45
Jaune	0-45	-	-	0-45	-	-	0-45
Rouge	proc. extr.	-	-	>45	-	-	>45
Epaule							
Flexion - extension							
Vert	0-20	-	-	0-20	0-20	0-20	< 60°
Jaune	-20-0 ; 20-90	M.S. > epau	M.S. > torse	20-60	< 0 ; > 20	20-60	pendant
Rouge	< -20 ; > 90	-	-	> 60	< 0 ; > 20	> 60	90% temps
Abduction - adduction							
Vert	0	M.S. > epau	M.S. > torse	0-20	0-20	0-20	< 60°
Jaune	>0	-	-	20-60	< 0 ; > 20	20-60	pendant
Rouge	>0	-	-	> 60	< 0 ; > 20	> 60	90% temps
Rotation inter.-exter.							
Vert	-	-	-	-	-	-	-
Jaune	-	-	-	-	-	-	-
Rouge	>0	-	-	-	-	-	-
Tronc							
Flexion - extension							
Vert	0-20	Droit	-	-	-	0-20	-
Jaune	20-60	-	-	-	-	20-60	-
Rouge	< 0 ; > 60	Penché	-	-	-	0 ; > 60	-
Inclinaison latérale							
Vert	0	0	-	-	-	0-10	-
Jaune	>0	-	-	-	-	-	-
Rouge	>0	penché	-	-	-	>10	-
Rotation							
Vert	0	0	-	-	-	0-10	-
Jaune	>0	-	-	-	-	-	-
Rouge	>0	tourné	-	-	-	>10	-
Cou							
Flexion - extension							
Vert	0-10	-	0-20	-	0-40	0-40	-
Jaune	10-20	-	-	-	-	-	-
Rouge	>20	-	>20	-	>40	>40	-
Inclinaison latérale							
Vert	0	-	-	-	-10-10	-10-10	-
Jaune	>0	-	-	-	-	-	-
Rouge	>0	-	-	-	-10 < >10	-10 < >10	-
Rotation							
Vert	0	-	-20-20	-	-	-45-45	-
Jaune	>0	-	-	-	-10-10	-	-
Rouge	>0	-	-20 < ; > 20	-	-10 < > 10	-45 < > 45	-

Annexe 4 : Tableau récapitulatif des différents référentiels concernant les zones articulaires de confort et à risque.

vert = acceptable, jaune = non recommandé, rouge = à éviter
(d'après Claudon et Marsot, INRS 2006)

BIBLIOGRAPHIE

1. AFNOR
Sécurité des machines, performance physique humaine, partie 4 : évaluation des postures et mouvements lors du travail en relation avec les machines
2005
2. AKL M.N., LONG J.B., GILES D.L., CORNELLA J.L., PETTIT P.D., CHEN A.H., MAGTIBAY P.M.
Robotic-Assisted Sacrocolpopexy: Technique and Learning Curve.
Surg Endosc, 2009, 23, 10, 2390
3. BAGRODIA A., RAMAN J.D.
Ergonomics Considerations of Radical Prostatectomy: Physician Perspective of Open, Laparoscopic, and Robot-Assisted Techniques.
J Endourol, 2009, 23, 4, 627
4. BERGUER R.
Surgery and Ergonomics.
Arch Surg, 1999, 134, 9, 1011
5. BERGUER R.
Ergonomics and Laparoscopic Surgery
http://www.laparoscopytoday.com/2005/01/ergonomics_and_.html.
6. BERGUER R., CHEN J., SMITH W.D.
A Comparison of the Physical Effort Required for Laparoscopic and Open Surgical Techniques.
Arch Surg, 2003, 138, 9, 967
7. BERGUER R., FORKEY D.L., SMITH W.D.
Ergonomic Problems Associated With Laparoscopic Surgery.
Surg Endosc, 1999, 13, 5, 466
8. BERGUER R., FORKEY D.L., SMITH W.D.
The Effect of Laparoscopic Instrument Working Angle on Surgeons' Upper Extremity Workload.
Surg Endosc, 2001, 15, 9, 1027
9. BERGUER R., RAB G.T., ABU-GHAIDA H., ALARCON A., CHUNG J.
A Comparison of Surgeons' Posture During Laparoscopic and Open Surgical Procedures.
Surg Endosc, 1997, 11, 2, 139
10. BERGUER R., SMITH W.
An Ergonomic Comparison of Robotic and Laparoscopic Technique: The Influence of Surgeon Experience and Task Complexity.
J Surg Res, 2006, 134, 1, 87

11. BERQUER R., SMITH W.D., DAVIS S.
An Ergonomic Study of the Optimum Operating Table Height for Laparoscopic Surgery.
Surg Endosc, 2002, 16, 3, 416
12. BORG G.
Borg's Perceived Exertion and Pain Scales
Human Kinetics, 1998, viii, 104
13. CNAMTS
Tms - Bilan Financier 2008
http://www.risquesprofessionnels.ameli.fr/atmp_media/TMS2008BILANFINANCIER.pdf.
14. DROUIN S.J., VAESSEN C., HUPERTAN V., COMPERAT E., MISRAI V., HAERTIG A., BITKER M.O., CHARTIER-KASTLER E., RICHARD F., ROUPRET M.
Comparison of Mid-Term Carcinologic Control Obtained After Open, Laparoscopic, and Robot-Assisted Radical Prostatectomy for Localized Prostate Cancer.
World J Urol, 2009, 27, 5, 599
15. FLOYD W.F., SILVER P.H.
The Function of the Erectores Spinae Muscles in Certain Movements and Postures in Man.
J Physiol, 1955, 129, 1, 184
16. GOFRIT O.N., MIKAHAIL A.A., ZORN K.C., ZAGAJA G.P., STEINBERG G.D., SHALHAV A.L.
Surgeons' Perceptions and Injuries During and After Urologic Laparoscopic Surgery.
Urology, 2008, 71, 3, 404
17. HANAVAN E.P.
A Mathematical Model of the Human Body
AMRL TR, 1964, 1
18. HART S.G., STAVELAND L.E.
Development of Nasa-Tlx (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research
Human Mental Workload, 1988, 1, 139
19. HEMAL A.K., SRINIVAS M., CHARLES A.R.
Ergonomic Problems Associated With Laparoscopy.
J Endourol, 2001, 15, 5, 499
20. HERMENS H., HÄGG G.
Seniam 8: European Recommendations for Surface Electromyography
SENIAM project, 1999

21. HUBERT J.
Robotic-Assisted Laparoscopy: General Principles
Ann Urol, 2007, 41, 6, 298
22. INRS
Les Troubles Musculo-Squelettiques (Tms) Du Membre Supérieur
http://www.inrs.fr/htm/les_troubles_musculosquelettiques_tms_membre.html.
23. INRS
Travailler Assis Ou Debout
<http://www.inrs.fr/dossiers/travaildebout.html>.
24. JUDKINS T.N., OLEYNIKOV D., NARAZAKI K., STERGIU N.
Robotic Surgery and Training: Electromyographic Correlates of Robotic Laparoscopic Training.
Surg Endosc, 2006, 20, 5, 824
25. LAWSON E.H., CURET M.J., SANCHEZ B.R., SCHUSTER R., BERGUER R.
Postural Ergonomics During Robotic and Laparoscopic Gastric Bypass Surgery: A Pilot Project
Journal of Robotic Surgery, 2007, 1, 1, 61
26. LEE E.C., RAFIQ A., MERRELL R., ACKERMAN R., DENNERLEIN J.T.
Ergonomics and Human Factors in Endoscopic Surgery: A Comparison of Manual Vs Telerobotic Simulation Systems.
Surg Endosc, 2005, 19, 8, 1064
27. LIN D.W., BUSH R.W., EARLE D.B., SEYMOUR N.E.
Performance and Ergonomic Characteristics of Expert Surgeons Using a Face-Mounted Display During Virtual Reality-Simulated Laparoscopic Surgery: An Electromyographically Based Study.
Surg Endosc, 2007, 21, 7, 1135
28. LORIN S., POUMARAT G., MEMETEAU Y., WATTIEZ A., TOSTAIN J.
Design of a Prototype Operating Seat With Sesam (Ergonomic System of Mobile Forearm Rests) Mobile Armrests Designed to Optimize the Surgeon's Ergonomy During Pelvic Laparoscopy
Prog Urol, 2004, 14, 6, 1181
29. LUTTMANN A., SOKELAND J., LAURIG W.
Electromyographical Study on Surgeons in Urology. I. Influence of the Operating Technique on Muscular Strain.
Ergonomics, 1996, 39, 2, 285

30. LUX M.M., MARSHALL M., ERTURK E., JOSEPH J.V.
Ergonomic Evaluation and Guidelines for Use of the Davinci Robot System.
J Endourol, 2010, 24, 3, 371
31. MANASNAYAKORN S., CUSCHIERI A., HANNA G.B.
Ergonomic Assessment of Optimum Operating Table Height for Hand-Assisted
Laparoscopic Surgery.
Surg Endosc, 2009, 23, 4, 783
32. MATERN U., FAIST M., KEHL K., GIEBMEYER C., BUSS G.
Monitor Position in Laparoscopic Surgery.
Surg Endosc, 2005, 19, 3, 436
33. MATERN U., WALLER P., GIEBMEYER C., RUCKAUER K.D., FARTHMAN E.H.
Ergonomics: Requirements for Adjusting the Height of Laparoscopic Operating Tables.
JSL, 2001, 5, 1, 7
34. NEELY G., LJUNGGREN G., SYLVEN C., BORG G.
Comparison Between the Visual Analogue Scale (Vas) and the Category Ratio Scale
(Cr-10) for the Evaluation of Leg Exertion.
Int J Sports Med, 1992, 13, 2, 133
35. NESBAKKEN R.
Ergonomic Guidelines in Handle Design-the Challenges of Laparoscopic Surgical
Instruments
<http://www.ivt.ntnu.no/ipd/forskning/artikler/2004.htm>.
36. NGUYEN N.T., HO H.S., SMITH W.D., PHILIPPS C., LEWIS C., DE VERA R.M.,
BERGUER R.
An Ergonomic Evaluation of Surgeons' Axial Skeletal and Upper Extremity Movements
During Laparoscopic and Open Surgery.
Am J Surg, 2001, 182, 6, 720
37. QUICK N.E., GILLETTE J.C., SHAPIRO R., ADRALES G.L., GERLACH D., PARK
A.E.
The Effect of Using Laparoscopic Instruments on Muscle Activation Patterns During
Minimally Invasive Surgical Training Procedures.
Surg Endosc, 2003, 17, 3, 462
38. ROBERTSON R.J., NOBLE B.J.
Perception of Physical Exertion: Methods, Mediators, and Applications.
Exerc Sport Sci Rev, 1997, 25, 407

39. STEFANIDIS D., WANG F., KORNDORFFER J.R.J., DUNNE J.B., SCOTT D.J.
 Robotic Assistance Improves Intracorporeal Suturing Performance and Safety in the Operating Room While Decreasing Operator Workload.
Surg Endosc, 2010, 24, 2, 377
40. VAN DER SCHATTE OLIVIER R.H., VAN'T HULLENAAR C.D., RUURDA J.P., BROEDERS I.A.
 Ergonomics, User Comfort, and Performance in Standard and Robot-Assisted Laparoscopic Surgery.
Surg Endosc, 2008, 23, 6, 1365
41. VAN DET M.J., MEIJERINK W.J., HOFF C., TOTTE E.R., PIERIE J.P.
 Optimal Ergonomics for Laparoscopic Surgery in Minimally Invasive Surgery Suites: A Review and Guidelines.
Surg Endosc, 2009, 23, 6, 1279
42. VAN DET M.J., MEIJERINK W.J., HOFF C., VAN VEELLEN M.A., PIERIE J.P.
 Ergonomic Assessment of Neck Posture in the Minimally Invasive Surgery Suite During Laparoscopic Cholecystectomy.
Surg Endosc, 2008, 22, 11, 2421
43. VAN VEELLEN M.A., JAKIMOWICZ J.J., KAZEMIER G.
 Improved Physical Ergonomics of Laparoscopic Surgery.
Minim Invasive Ther Allied Technol, 2004, 13, 3, 161
44. WAUBEN L.S., VAN VEELLEN M.A., GOSSOT D., GOOSSENS R.H.
 Application of Ergonomic Guidelines During Minimally Invasive Surgery: A Questionnaire Survey of 284 Surgeons.
Surg Endosc, 2006, 20, 8, 1268
45. WOLF J.S.J., MARCOVICH R., GILL I.S., SUNG G.T., KAVOUSSI L.R., CLAYMAN R.V., MCDUGALL E.M., SHALHAV A., DUNN M.D., AFANE J.S., MOORE R.G., PARRA R.O., WINFIELD H.N., SOSA R.E., CHEN R.N., MORAN M.E., NAKADA S.Y., HAMILTON B.D., ALBALA D.M., KOLESKI F., DAS S., ADAMS J.B., POLASCIK T.J.
 Survey of Neuromuscular Injuries to the Patient and Surgeon During Urologic Laparoscopic Surgery.
Urology, 2000, 55, 6, 831
46. WU G., SIEGLER S., ALLARD P., KIRTLEY C., LEARDINI A., ROSENBAUM D., WHITTLE M., D'LIMA D.D., CRISTOFOLINI L., WITTE H., SCHMID O., STOKES I.
 Isb Recommendation on Definitions of Joint Coordinate System of Various Joints for the Reporting of Human Joint Motion--Part I: Ankle, Hip, and Spine. International Society of Biomechanics.
J Biomech, 2002, 35, 4, 543

47. WU G., VAN DER HELM F.C., VEEGER H.E., MAKHSOUS M., VAN ROY P., ANGLIN C., NAGELS J., KARDUNA A.R., MCQUADE K., WANG X., WERNER F.W., BUCHHOLZ B.
Isb Recommendation on Definitions of Joint Coordinate Systems of Various Joints for the Reporting of Human Joint Motion--Part Ii: Shoulder, Elbow, Wrist and Hand.
J Biomech, 2005, 38, 5, 981
48. YOUNG G., ZAVELINA L., HOOPER V.
Assessment of Workload Using Nasa Task Load Index in Perianesthesia Nursing.
J Perianesth Nurs, 2008, 23, 2, 102

RÉSUMÉ DE LA THÈSE

La cœliochirurgie standard (CS) est connue pour les position anti-ergonomiques qu'elle impose au chirurgien, responsables d'une charge de travail physique et mentale pouvant mener à des troubles musculo-squelettiques. La cœliochirurgie assistée par robot (CAR), grâce à la position assise, offre de nouvelles conditions de travail.

Le but de cette étude est d'évaluer la charge de travail physique du chirurgien ainsi que sa posture dans ces 2 techniques.

Trois postures cœliochirurgicales (pelvis, lombaire et sus-mésocolique) et la posture au robot sont étudiées. Les procédures sont réalisées sur l'animal et reproduisent de véritables interventions. L'activité électromyographique (trapezius, erector spinae, flexor digitorum, extensor digitorum), la fréquence cardiaque et la posture (cinématique 3D) sont enregistrées. La charge de travail mentale est évaluée par les échelles Borg CR-10 et le NASA-TLX.

23 chirurgien ont réalisé 44 procédures (11 CAR, 11x3 CS). La CS est associée à une posture de travail contraignante ainsi qu'à une importante charge de travail physique objective et perçue. La position assise et soutenue en CAR diminue l'investissement physique ressenti ainsi que la charge de travail musculaire.

En conclusion, la cœliochirurgie assistée par robot apporte au chirurgien un confort physique amélioré.

TITRE EN ANGLAIS

Ergonomic assessment of physical workloads during standard and robotic assisted laparoscopic procedures.

A subjective, muscular and kinematics evaluation.

THÈSE : MÉDECINE SPÉCIALISÉE – ANNÉE 2010

MOTS CLEFS : ergonomie ; cœliochirurgie ; robot ; charge de travail ; EMG ; cinématique ; troubles musculo-squelettiques ; subjectif

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'U.F.R. :

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY-1
Faculté de Médecine de Nancy
9, avenue de la Forêt de Haye
54505 VANDOEUVRE LES NANCY Cedex