



Université de Montréal

**Le Délai entre le traumatisme médullaire et la chirurgie a-t-il un  
impact sur la survenue de complications durant la phase aigüe  
d'hospitalisation?**

par

Étienne Bourassa-Moreau

Département de chirurgie

Faculté de Médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître ès sciences (M.Sc.)

en Sciences biomédicales

option Mobilité et Posture

Avril, 2014

© Étienne Bourassa-Moreau, 2014



## Résumé

Le délai optimal entre une lésion médullaire traumatique (LMT) et la chirurgie demeure indéterminé. Cependant, la relation entre la prévention de complications et le délai chirurgical n'a jamais été spécifiquement étudiée.

L'objectif principal de ce travail était de détecter si les taux de complications chez des LMT étaient associés avec le délai chirurgical. L'objectif secondaire était d'identifier si le délai chirurgical est un prédicteur indépendant de la survenue de complications.

Un premier article présente l'analyse d'une cohorte rétrospective de 431 LMTs. Une chirurgie réalisée dans un délai inférieur à 24h (ou inférieur à 72h si un délai de 24h ne peut être respecté) prédisait une diminution du taux de l'ensemble des complications, du taux de pneumonies et du taux de plaies de pression. Les autres facteurs prédictifs de complications identifiés étaient : l'âge, la sévérité de l'atteinte neurologique de la lésion selon l'échelle ASIA, un traumatisme cervical plutôt que thoracique, la présence de comorbidités, la sévérité du traumatisme selon l'échelle ISS et la complexité de la chirurgie.

Les connaissances actuelles suggèrent qu'une opération chirurgicale rapide n'a que peu d'effet sur la récupération neurologique chez les LMTs complètes (interruption complète des fonctions sensorimotrices). Pour cette raison, notre second article analyse l'impact du délai chirurgical sur la survenue des complications à partir d'une sous-population de 197 LMTs complètes de notre cohorte. Un délai chirurgical supérieur à 24h prédisait une augmentation des complications, notamment les pneumonies et les infections urinaires.

Bien que des études prospectives randomisées sont nécessaires pour confirmer nos conclusions, nos études supportent un délai chirurgical rapide afin de diminuer le taux de complications non neurologiques chez les LMTs.

**Mots-clés** : Lésion Médullaire, Traumatisme, Délai chirurgical, Complications, Pneumonies, Infections Urinaires, Plaies de Pression, Chirurgie Spinale, Colonne Vertébrale

## **Abstract**

Optimal timing of surgery after traumatic spinal cord injury (SCI) is one of the most controversial subjects in spine surgery. However, the relationship between prevention of peri-operative complications and timing of surgical decompression was never specifically studied.

The primary goal of our study was to evaluate if the peri-operative complication rate was associated with surgical timing. The secondary goal of our study was to identify if surgical timing is an independent predictor of complications.

A first publication presents the analysis of a retrospective cohort of 431 cases of traumatic SCI. A reduction in the global rate of complications as well as the incidence of pneumonia and pressure ulcer were predicted by surgery performed earlier than 24 hours (or earlier than 72 hours if the surgery could not be performed within 24 hours following the SCI). Other predictors were statistically related to the occurrence of complications: increasing age, severity of neurological injury, a cervical rather than a thoracic lesion, medical comorbidities, the severity of trauma, and the complexity of surgery.

Previous studies suggest that early surgery is of little benefit for neurological recovery in complete traumatic SCI (with complete interruption of sensorimotor function). Therefore our second publication analyzed the impact of early surgical intervention in the sub-population of 197 complete SCI. Surgical timing later than 24 h was a predictor of complications, specifically pneumonia and UTI.

Although a randomized controlled trial is needed to confirm our findings, our studies support that early surgical timing after traumatic SCI (typically within 24 hours) could decrease the rate of non neurological complications.

**Keywords** : Spinal Cord Injury, Trauma, Surgical Timing, Complications, Pneumonia, Urinary Tract Infection, Pressure Wound, Spinal surgery, Spinal Column

# Table des matières

<b>RÉSUMÉ .....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>III</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>VIII</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>X</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1. CONSIDÉRATIONS HISTORIQUES .....</b>	<b>2</b>
<b>2. ANATOMIE, PHYSIOLOGIE ET CORRÉLATION CLINIQUE .....</b>	<b>4</b>
2.1 L'ANATOMIE DE LA COLONNE VERTÉBRALE .....	4
2.2 PHYSIOLOGIE DE LA COLONNE VERTÉBRALE.....	7
2.2.1 <i>Support postural</i> .....	7
2.2.2 <i>Mobilité vertébrale</i> .....	7
2.2.3 <i>Protection neurologique</i> .....	8
2.3 ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DE LA MOELLE ÉPINIÈRE .....	9
2.3.1 <i>Segments médullaires</i> .....	9
2.3.3 <i>Fonctions médullaires autonomes et réflexes médullaires</i> .....	15
<b>3. MÉCANISMES PATHOLOGIQUES CELLULAIRES ET MOLÉCULAIRES DE LA LÉSION MÉDULLAIRE .....</b>	<b>17</b>
<b>4. ÉPIDÉMIOLOGIE ET IMPACT SOCIOÉCONOMIQUE .....</b>	<b>19</b>
4.1 INCIDENCE ET PRÉVALENCE .....	19
4.2 ÉTIOLOGIE DE LA LMT .....	20
4.3 NIVEAU DE LA LÉSION.....	21
4.4 SÉVÉRITÉ DE LA LÉSION .....	22
4.5 LÉSIONS ASSOCIÉES.....	22
4.6 SURVIE DURANT LA PHASE AIGUË.....	23
4.7 ESPÉRANCE DE VIE .....	23
4.8 IMPACT FINANCIER.....	24

4.9 PARTICIPATION PROFESSIONNELLE.....	24
<b>5. IMPLICATIONS CLINIQUES SUIVANT LA LÉSION MÉDULLAIRE.....</b>	<b>25</b>
5.1 RÉCUPÉRATION NEUROLOGIQUE.....	25
5.1.2 <i>Évolution neurologique naturelle</i> .....	26
5.2 COMPLICATIONS INTRA-HOSPITALIÈRES.....	28
5.2.1 <i>Complications fréquentes</i> .....	29
5.2.2 <i>Facteurs prédicteurs des complications intra hospitalières</i> .....	35
5.2.3 <i>Délai chirurgical et complications : mécanisme physiologiques</i> .....	37
<b>6. LA PRISE EN CHARGE DU BLESSÉ MÉDULLAIRE.....</b>	<b>38</b>
6.1 PRISE EN CHARGE EN PÉRIODE AIGÛE.....	38
6.2 PRISE EN CHARGE CHIRURGICALE.....	39
6.3 CENTRES SPÉCIALISÉS DANS LA PRISE EN CHARGE DES LÉSIONS MÉDULLAIRES.....	40
<b>7. L'IMPACT DU DÉLAI CHIRURGICAL.....</b>	<b>40</b>
7.1 DÉLAI CHIRURGICAL ET RÉCUPÉRATION NEUROLOGIQUE.....	41
7.2 DÉLAI CHIRURGICAL ET COMPLICATIONS EN PHASE AIGÛE.....	44
7.2.1 <i>Délai chirurgical et complications : études cliniques</i> .....	44
<b>8. RÉSUMÉ DE LA PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE.....</b>	<b>47</b>
8.1 HYPOTHÈSES DE RECHERCHE.....	49
8.2 OBJECTIFS DE RECHERCHE.....	49
<b>9. MATÉRIEL ET MÉTHODE.....</b>	<b>51</b>
9.1 CRITÈRES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION.....	51
9.2 VARIABLE INDÉPENDANTE.....	51
9.3 VARIABLE DÉPENDANTE.....	52
9.4 COVARIABLES.....	52
9.5 ANALYSES STATISTIQUES.....	53
<b>10. PRÉSENTATION DES ARTICLES.....</b>	<b>53</b>
10.1 ARTICLE 1.....	53
10.2 ARTICLE 2.....	55
10.3 CONTRIBUTIONS DES AUTEURS AUX ARTICLES.....	56
<b>11. DISCUSSION.....</b>	<b>57</b>
11.1 DÉLAI CHIRURGICAL.....	58

11.2 ANALYSE DES COMPLICATIONS.....	61
11.2.1 Résultats de nos études .....	61
11.2.2 Détection des complications .....	62
11.2.3 Facteurs de risques des complications.....	64
11.2.4 Corticostéroïdes à haute dose et complications.....	65
11.2.5 Mécanismes de diminution des complications.....	66
11.3 EXCLUSION DES LMTs CENTROMÉDULLAIRES.....	67
11.4 PERSPECTIVES D'AVENIR.....	68
<b>12. CONCLUSION .....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>72</b>
<b>LISTE D'ABRÉVIATIONS .....</b>	<b>I</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>II</b>
ANNEXE 1 : AMERICAN SPINAL INJURY ASSOCIATION CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY.....	II
ANNEXE 2. ARTICLE 1: COMPLICATIONS IN ACUTE PHASE HOSPITALIZATION OF TRAUMATIC .....	IV
SPINAL CORD INJURY: DOES SURGICAL TIMING MATTER? .....	IV
ANNEXE 3. ARTICLE 2 NON-NEUROLOGICAL OUTCOMES AFTER COMPLETE TRAUMATIC SPINAL CORD .....	
INJURY: THE IMPACT OF SURGICAL TIMING .....	XI

## Liste des figures

Figure 1 - La Colone Vertébrale .....	5
Figure 2 - La Vertèbre et le Segment Intervertébral .....	6
Figure 3 - La Moelle Épinière.....	10
Figure 4 - Racines Nerveuses et Moelle Épinière.....	12
Figure 5 - Coupe de la Moelle Épinière.....	13
Figure 6 - Exemple d'Examen Radiologique du Blessé Médullaire .....	17

*Ce mémoire est dédié à mes parents, Pauline  
et Thierry qui m'ont transmis leur curiosité, et  
leur passion pour la connaissance.*

## Remerciements

Je tiens à remercier Cynthia Thompson, Valérie Desrosiers, Jean Paquet et tous les employés du centre de recherche de l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal pour leur aide et leur patience.

Je remercie la fondation de recherche en orthopédie à Montréal (FRÉOM) et l'organisme MENTOR (le programme de recherche en musculosquelettique des IRSC) pour leur support financier.

Je remercie Debbie Feldman et Dany Gagnon de l'IRGLM pour leur soutien et pour avoir partagé leur vision de la recherche.

Je remercie mon Co-directeur Stefan Parent pour le partage généreux de ses connaissances et de son expérience.

Je remercie mes parents Pauline et Thierry, ainsi que mes frères Félix, Julien, Benoît et Antoine pour leurs encouragements et leur support moral inconditionnel.

Je remercie ma conjointe Liliane pour ses judicieux conseils et pour m'avoir soutenu dans toutes les étapes de ce projet.

Je tiens finalement à remercier mon directeur de maîtrise, Jean-Marc Mac-Thiong pour son dynamisme inépuisable et pour l'encouragement au dépassement continu de soi.

## **Introduction**

La lésion médullaire traumatique (LMT) est dévastatrice, tant au plan physiologique, que fonctionnel et social. La compression de la moelle épinière interrompt la perception sensorielle et le contrôle moteur distalement à la lésion. Une perte de fonction des sphincters, de la marche, de la préhension et des muscles respiratoires peut survenir immédiatement suite au trauma. Après une période de quelques mois durant laquelle la récupération neurologique est possible, l'incapacité résiduelle perdurera pour le restant de la vie de l'individu. Elle s'accompagne d'un risque élevé de complications urinaires, cutanés et respiratoires qui entraînent une diminution de la qualité de vie et de l'espérance de vie. Sans contredit, la LMT bouleverse la participation sociale des victimes avec des conséquences familiales, psychologique et financières majeures.

Malgré de nombreuses avancées médicales, beaucoup de chemin reste à faire pour améliorer la survie et la qualité de vie des victimes. La période post-traumatique immédiate semble cruciale pour le devenir à long terme. Une stabilisation médicale et une intervention chirurgicale rapide avec une prise en charge ciblée sur les risques de complications pourraient améliorer le devenir des traumatisés médullaires.

Cet ouvrage étudiera l'association entre le délai chirurgical (temps écoulé entre un traumatisme médullaire et la chirurgie) et le taux de complications. Plus spécifiquement, il présentera l'étude d'une cohorte de patients LMTs pris en charge à l'hôpital du Sacré-Cœur de Montréal. Deux articles concernant cette cohorte ont été publiés dans des revues révisées par des pairs. Ces articles sont présentés dans ce mémoire.

# 1. Considérations historiques

Le décryptage d'un papyrus datant de 3000 à 2500 avant Jésus-Christ par Edwin Smith relate la première mention connue de la LMT et de son traitement médical.<sup>1</sup> La LMT y est décrite comme une *affection qu'il vaut mieux ne pas traiter* étant donné son sombre pronostic. Ce dogme de fatalité prédominera dans la culture médicale jusque dans les années 1940. Effectivement, l'histoire naturelle de la LMT comporte le risque de décès rapide par insuffisance respiratoire, une récupération neurologique imprévisible et une fin de vie précoce quasi inévitable en raison d'infections urinaires ou respiratoires.

Dans la Grèce antique, Hippocrate décrit une technique de réduction fermée et fut le premier à traiter des complications secondaires, notamment des plaies de pression. Au 2<sup>ème</sup> siècle, Galéen est le premier à reconnaître des patrons spécifiques de paralysie selon le niveau de transection médullaire.<sup>2</sup>

Au 7<sup>ème</sup> siècle après JC, le chirurgien byzantin Paul d'Égine décrit la première chirurgie de décompression et de laminectomie pour la LMT. L'importance du délai d'intervention est soulevée pour la première fois par le médecin italien Roland de Parma en 1210.<sup>3</sup>

Au début du 19<sup>ème</sup> siècle, une nouvelle controverse apparaît dans la communauté médicale. Les mérites de la décompression de la moelle épinière et de la laminectomie sont débattus par les chirurgiens britanniques Sir Astley Cooper et Charles Bell. Le développement de l'anesthésie, de l'asepsie, des transfusions sanguines et de l'imagerie médicale au courant du 19<sup>ème</sup> siècle rend la chirurgie spinale de plus en plus acceptable pour les LMTs.

Avec la première guerre mondiale, le développement d'unités de traitement spécialisées en LMT est instauré afin de répondre provisoirement à l'explosion du nombre de victimes. En 1916, George Riddoch, de la Grande-Bretagne, constate un taux de survie en phase aiguë qui passe de 10 % à 90% après l'instauration d'une unité de réadaptation de LMTs.

Les premières unités de traitement permanentes sont instaurées par Donald Munro en 1936 à Boston aux États-Unis et par Sir Ludwig Guttman au Royaume-Uni en 1944. Avant la deuxième guerre mondiale, l'espérance de vie des victimes de LMT est de quelques semaines alors qu'après la deuxième guerre, elle se trouve augmentée de 10 ans avec l'amélioration de la prévention des complications urinaires, respiratoires et cutanées. L'espérance de vie et la qualité de vie continueront de s'améliorer tout au long du 20<sup>ème</sup> siècle. Au cours des années 1980, les progrès de l'instrumentation chirurgicale avec Cotrel et Dubousset rendent plus acceptable la chirurgie de décompression extensive. L'instabilité de la biomécanique vertébrale suite à une décompression chirurgicale peut maintenant être compensée par une instrumentation rigide qui stabilise des segments de la colonne. Malgré une effervescence autour des thérapies neuroprotectrices et de multiples larges études cliniques sur le sujet, aucune thérapie n'a démontré son efficacité à améliorer de façon significative le pronostic neurologique chez les humains jusqu'à ce jour.<sup>3,4</sup>

L'histoire a donné tort au fatalisme longuement véhiculé au sujet des LMTs. Cette perspective historique met en valeur la pertinence de la recherche d'interventions novatrices visant à améliorer le pronostic et la qualité de vie des personnes souffrant de LMTs. Notre projet de recherche s'inscrit dans la quête visant à déjouer l'histoire naturelle catastrophique de la LMT.

## **2. Anatomie, physiologie et corrélation clinique**

La compréhension de l'anatomie et de la physiologie de la colonne vertébrale nous permet de comprendre l'impact de la lésion médullaire. Ce paragraphe résume les connaissances fondamentales pour comprendre les phénomènes discutés dans le cadre de ce mémoire.

### **2.1 L'Anatomie de la colonne vertébrale**

La colonne vertébrale est une structure segmentée constituée d'une série de vertèbres osseuses reliées par des structures ligamentaires et disques intervertébraux. On compte généralement 29 vertèbres : 7 vertèbres cervicales, 12 thoraciques, 5 lombaires et 5 sacrées fusionnées.

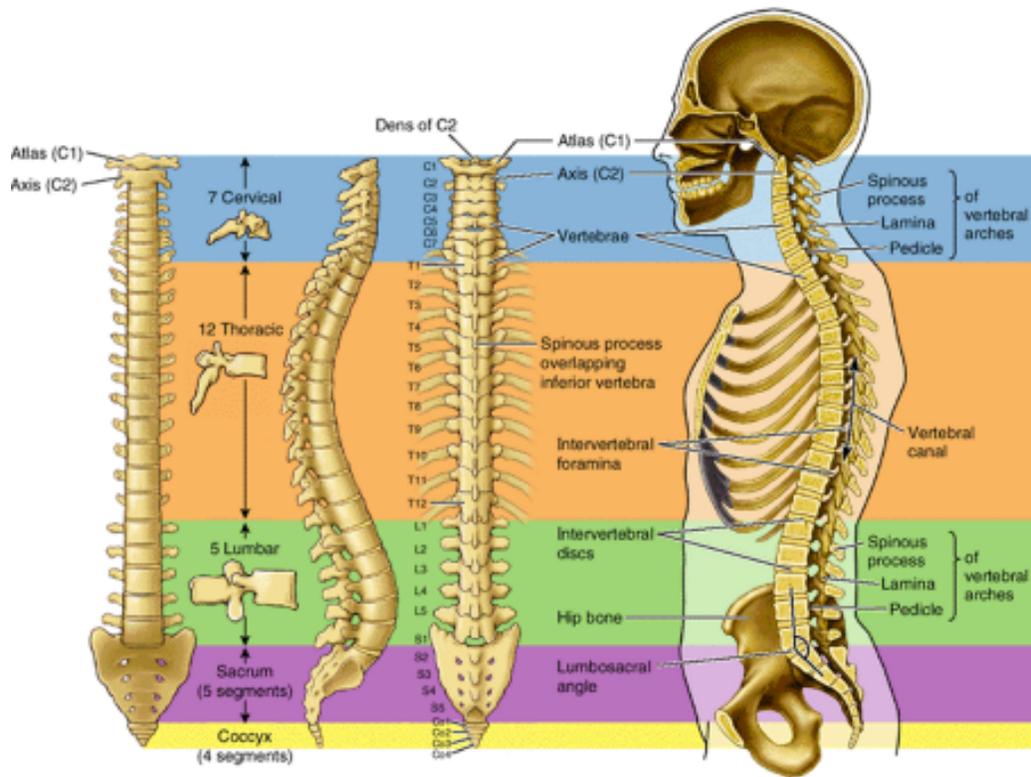


Figure 1 Représentation schématique de la colonne vertébrale dans son ensemble avec 7 vertèbres cervicales, 12 thoracique, 5 lombaires, 5 sacrées et 4 coccygienne. Tiré de Clinically Oriented Anatomy, 5th, p479<sup>5</sup>

Bien que chaque vertèbre possède des caractéristiques distinctes, elle présente un patron d'organisation général issu du développement embryologique. La portion antérieure de la vertèbre est appelée corps vertébral. Le corps vertébral est cylindrique et composé majoritairement d'os spongieux. Les corps vertébraux s'empilent successivement, séparés par des structures fibro-cartilagineuses appelées disques intervertébraux et connectées par les ligaments longitudinaux antérieurs et postérieurs.

Les éléments postérieurs de la vertèbre constituent une structure complexe composée majoritairement d'os cortical avec de multiples proéminences appelées apophyses. Les éléments postérieurs des vertèbres successives sont interconnectés à l'aide d'articulations

zygapophysaires, de capsules articulaires et de multiples ligaments reliant les apophyses osseuses.<sup>5</sup>

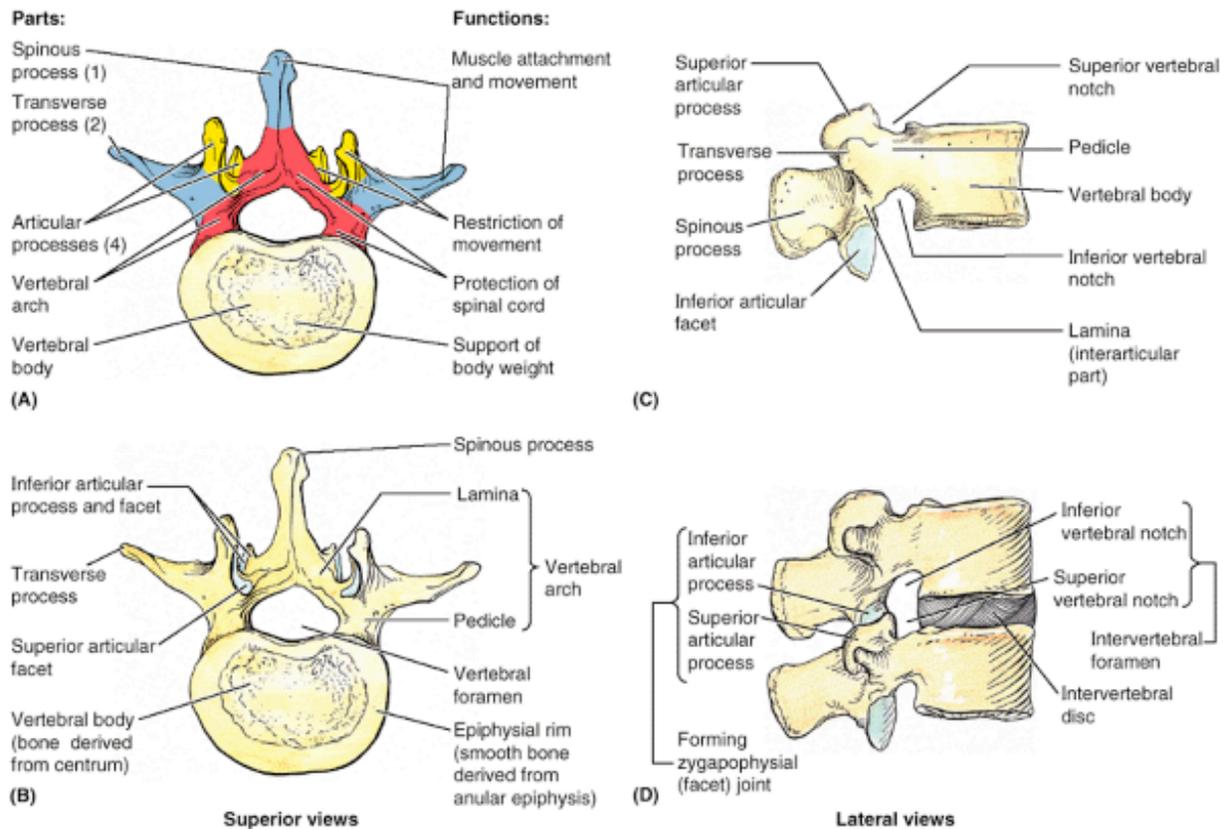


Figure 2 Représentation schématique des éléments osseux d’une vertèbre lombaire. Tiré de Clinically Oriented Anatomy, 5th, p480<sup>5</sup>

Les pédicules vertébraux sont des structures osseuses cylindriques reliant le corps vertébral aux éléments postérieurs. *Corrélation clinique : les pédicules peuvent servir de points d’insertion pour du matériel orthopédique au niveau des vertèbres thoraciques et lombaires.*

Les lames vertébrales constituent le recouvrement postérieur osseux de la moelle épinière et des méninges. *Corrélation clinique : l’exérèse chirurgicale de la lame vertébrale*

*(laminectomie) est une procédure permettant de décompresser la moelle épinière par une approche postérieure.*

## **2.2 Physiologie de la colonne vertébrale**

La colonne vertébrale a 3 rôles principaux : le support postural, la mobilité et la protection neurologique.

### **2.2.1 Support postural**

Le support postural qui implique le support du poids des vertèbres supérieures et de la tête est principalement assuré par les corps vertébraux et les disques intervertébraux. Notons que les éléments postérieurs participent aussi au partage des forces compressives sur la colonne mais d'une façon moins importante. Normalement, les vertèbres s'alignent de façon rectiligne dans le plan coronal et adoptent des courbures harmonieuses dans le plan sagittal. Ceci permet le maintien d'un équilibre postural avec une dépense énergétique minimale.

*Corrélation clinique : un traumatisme vertébral peut perturber cet équilibre architectural et entraîner des déformations vertébrales aux conséquences fonctionnelles catastrophiques.*

### **2.2.2 Mobilité vertébrale**

La deuxième fonction fondamentale de la colonne vertébrale est la mobilité. Les muscles para-spinaux s'insèrent sur les éléments postérieurs des vertèbres. Leur contraction spécifique entraînera un mouvement de flexion, extension, flexion latérale et rotation. Les ligaments et disques intervertébraux s'étirent et génèrent une force tensile et une élasticité

permettant un degré de mouvement physiologique entre les vertèbres. De plus, les articulations zygapophysaires sont recouvertes de cartilage hyalin permettant un mouvement de glissement. Le degré de mouvement entre chaque vertèbre contribue partiellement à une mobilité vertébrale globale permettant une fonction normale.

*Corrélation clinique : Une lésion médullaire entraîne une perte de contrôle des muscles stabilisateurs du rachis sous le niveau lésionnel. Cette atteinte musculaire peut se manifester en spasticité, raideur, faiblesse ou atonie musculaire et affecte la fonction du patient.*

*La fusion vertébrale chirurgicale entraîne la formation d'un pont osseux entre plusieurs vertèbres qui sacrifie la mobilité d'un ou plusieurs segments vertébraux. Le mouvement compensatoire des segments adjacents permet au patient de maintenir une mobilité fonctionnelle adéquate. Un traumatisme qui déstabilise suffisamment un segment vertébral pour causer une lésion médullaire nécessite une fusion chirurgicale qui permettra la mobilisation du patient sans aggraver la compression médullaire.*

### **2.2.3 Protection neurologique**

Le troisième rôle de la colonne vertébrale est de protéger la moelle épinière et ses racines nerveuses. La moelle épinière est située dans une cavité cylindrique osseuse appelée le canal spinal. Le corps vertébral, les pédicules et les lames vertébrales forment une arche osseuse continue autour de chaque segment de moelle épinière. La superposition de ces arches osseuses constitue le canal spinal. Latéralement au canal spinal, les foramen intervertébraux se succèdent et constituent le point de sortie des racines nerveuses à chaque niveau.

*Corrélation clinique : la conséquence la plus tragique du traumatisme vertébral est la perte de protection neurologique et la lésion associée de la moelle épinière due à un rétrécissement*

*ou une déformation du canal spinal. La compression de la moelle peut survenir par une amplitude de mouvement extra physiologique ou par la migration d'un fragment osseux, ligamentaire ou discal dans le canal spinal. Un trauma pénétrant par balle ou par objet tranchant peut aussi entraîner une lacération du contenu neurologique rachidien. Un traumatisme neurologique iatrogénique est une complication hautement redoutée par les chirurgiens spinaux. Le mécanisme de trauma peut être une compression/lacération malencontreuse, le mal-positionnement d'implants, la formation d'un hématome post-opératoire ou l'étirement excessif du tissu neurologique lors de la correction d'une déformation posturale. Mentionnons que des lésions d'étiologie infectieuse, néoplasique ou inflammatoire peuvent aussi compromettre la protection du contenu neurologique rachidien.*

## **2.3 Anatomie et physiologie de la moelle épinière**

Nous avons décrit la structure ostéo-ligamentaire de la colonne vertébrale. Nous décrirons maintenant l'anatomie et la physiologie de la structure qu'elle protège : la moelle épinière.

### **2.3.1 Segments médullaires**

La moelle épinière est divisée anatomiquement en 8 segment cervicaux (dénotés C1 à C8), 12 thoraciques (T1 à T12), 5 lombaires (L1 à L5) et 5 sacrés (S1 à S5). Elle s'étend habituellement du foramen magnum jusqu'à la première ou deuxième vertèbre lombaire, où elle se termine en cône médullaire.

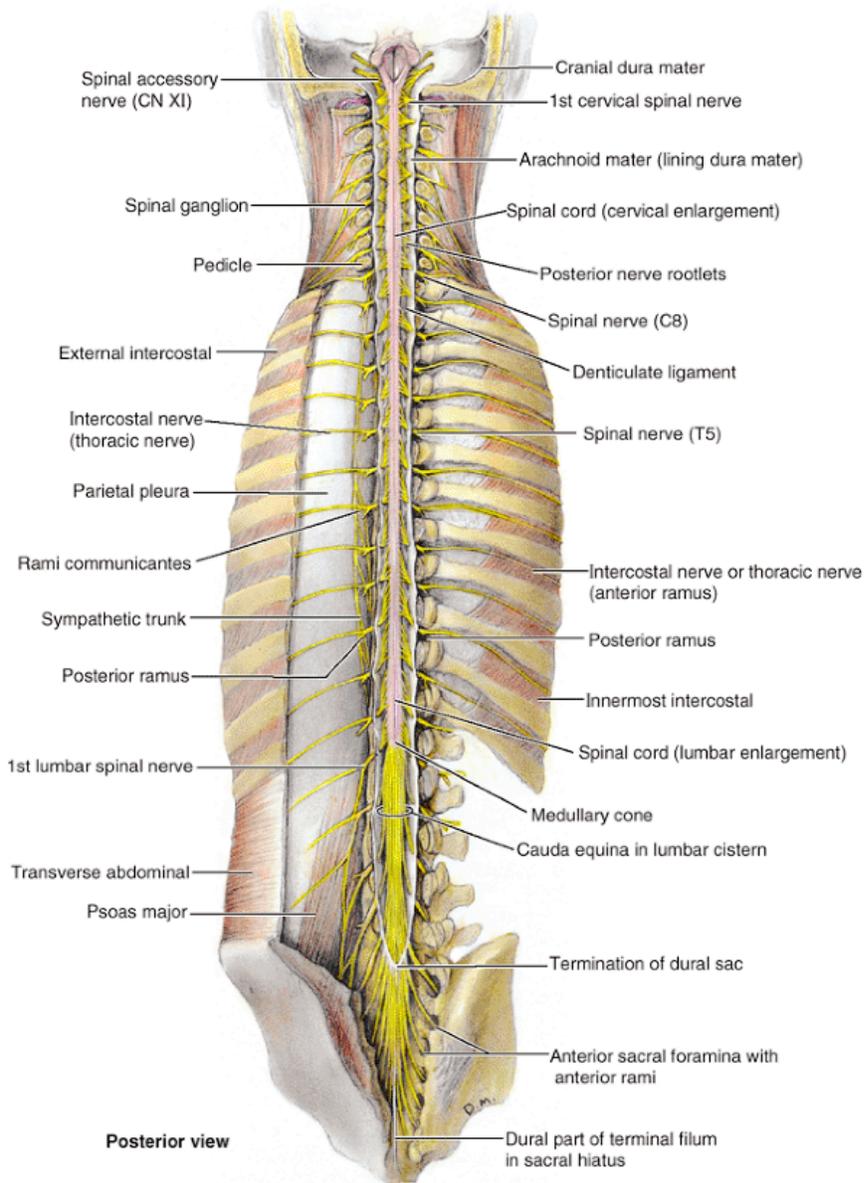


Figure 3 Illustration du tissu neurologique protégé contenue dans le rachis soit : la moelle épinière, le cône médullaire, la queue de cheval et les racines. Tiré de Clinically Oriented Anatomy, 5th edition, p522<sup>5</sup>

Caudalement à la deuxième vertèbre lombaire, le canal spinal contient seulement les racines nerveuses des niveaux vertébraux inférieurs qui forment ce que nous appelons communément la queue de cheval en raison de leur apparence filamenteuse.

La moelle épinière est divisée en segments responsables d'un territoire musculaire et sensitif prédictible. Par exemple, le muscle respiratoire du diaphragme est innervé par les niveaux cervicaux C3, C4 et C5, les membres supérieurs sont majoritairement innervés par les racines C5 à T1, les muscles abdominaux sont innervés par les niveaux T7 à T11, les membres inférieurs sont innervés par les niveaux lombaires L2 à S2 et les sphincters urinaires et anaux sont innervés par les racines sacrées S3 à S5.

*Corrélation Clinique : l'échelle de l'American Spinal Cord Injury Association (ASIA : voir Annexe 1) est largement acceptée par les cliniciens et scientifiques pour décrire la sévérité et le niveau de la lésion médullaire. La sévérité de la lésion se décline en 5 grades ASIA : A,B,C,D et E. Le grade ASIA A représente une lésion complète sensorimotrice alors que le grade ASIA E représente une fonction sensorimotrice normale. L'échelle ASIA sert aussi de référence pour les muscles et territoires sensitifs clés des segments médullaires permettant de déterminer le niveau d'atteinte médullaire.<sup>6, 7</sup>*

Pour chacun des segments, des racines ventrales (motrices) et dorsales (sensitives) sortent de la moelle vis-à-vis les cornes antérieures et postérieures de la substance grise médullaire (Figure 4). Les racines nerveuses font partie du système nerveux périphérique et non du système nerveux central comme la moelle épinière et le cerveau.

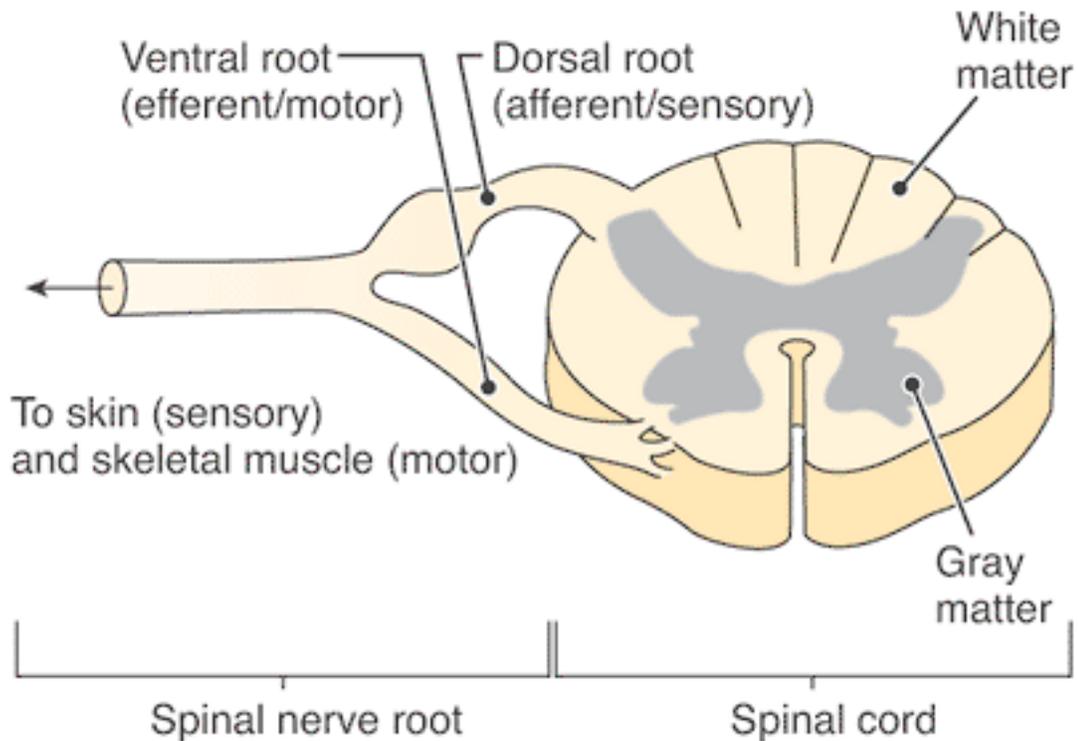


Figure 4 Les racines nerveuses et un segment de la moelle épinière. Tiré de Fundamental anatomy, 1<sup>st</sup> edition p202<sup>8</sup>

### 2.3.2 Voies sensibles et motrices

La moelle épinière assure la connexion neurologique motrice, sensorielle et autonome entre l'ensemble du corps et le cerveau. Les multiples voies motrices et sensibles représentent un regroupement de fibres nerveuses ayant un parcours et une fonction similaire. Une coupe transverse de la moelle démontre l'organisation des voies sensitivomotrices décrite ici-bas et permet de mieux comprendre la présentation clinique des lésions médullaires.

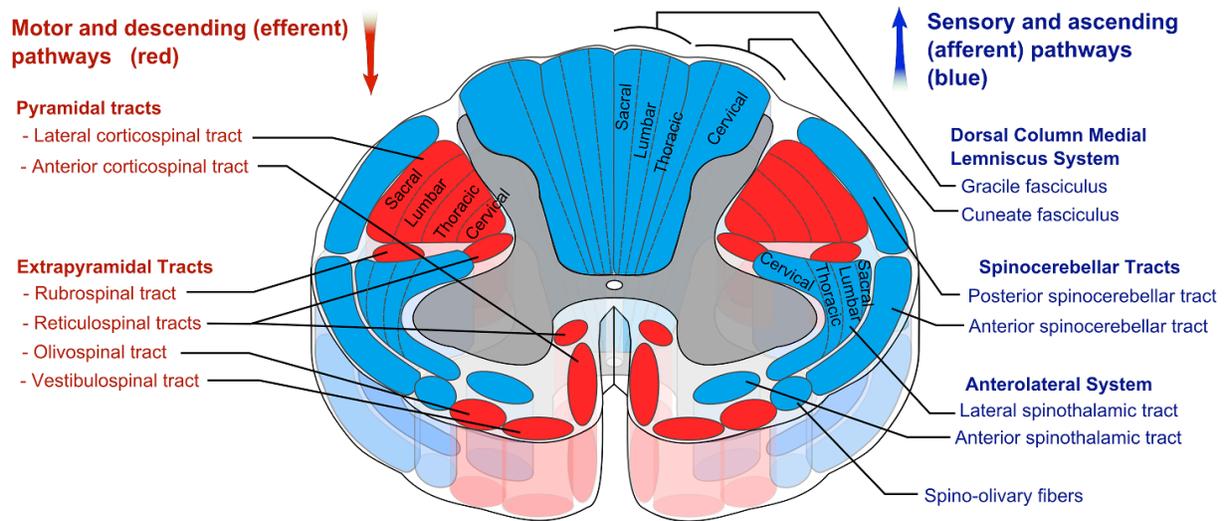


Figure 5 Coupe transverse dépitant les voies afférentes et afférente de la moelle épinière cervicale. Tiré de [http://en.wikipedia.org/wiki/Spinal\\_tracts#Structure](http://en.wikipedia.org/wiki/Spinal_tracts#Structure)<sup>9</sup>

Les voies cortico-spinale, antérolatérale, ainsi que celle des cordons postérieurs méritent une attention particulière.

La voie cortico-spinale est composée de motoneurones supérieurs dont le corps neuronal origine du cortex moteur. Les motoneurones projettent leur axone à travers la substance blanche de la moelle épinière. La décussation axonale s'effectue au niveau des pyramides du bulbe rachidien. Le motoneurone supérieur fera synapse avec le motoneurone inférieur au niveau de la corne antérieure de la matière grise. Le motoneurone inférieur projettera son axone dans la racine nerveuse qui constituera le nerf périphérique pour permettre le contrôle musculaire.

Il existe deux voies sensibles médullaires majeures : la voie antérolatérale spino-thalamique et la voie des cordons postérieurs. Ces deux voies reçoivent les influx sensitifs du

système nerveux périphérique et les acheminent vers le thalamus. Elles se différencient par leur fonction et leur trajet dans la moelle épinière.

Les neurones de la voie antérolatérale spino-thalamique sont responsables de la transmission de la nociception et de la thermoception. La décussation de leurs fibres se fait au niveau du segment médullaire à travers la commissure grise puis les fibres suivent un trajet ascendant via la voie antérolatérale jusqu'au thalamus.

La voie des cordons postérieurs transmet les influx proprioceptifs et les influx du toucher léger. Ces fibres voyagent au niveau des colonnes dorsales et elles font synapse au niveau du tronc cérébral avant de décusser et emprunter le faisceau du lemniscus médian jusqu'au thalamus.

*Corrélation Clinique : une lésion postérieure de la moelle épinière altère la proprioception et le toucher fin alors qu'une atteinte antérieure se manifeste par une atteinte motrice thermoceptive et nociceptive plus marquée. Une hémisection de la moelle se manifeste par le syndrome de Brown-Sequard, soit une perte de sensibilité fine, de proprioception et de motricité fine du côté ipsi-latéral à la lésion et une perte de la nociception et de la thermoception controlatérale à la lésion.*

Les voies motrices et sensitives de la moelle adoptent une disposition somatotopique prévisible (Figure 5). Les axones situés en périphérie innervent les segments médullaires associés au plancher pelvien et aux membres inférieurs alors que les axones situés plus centralement innervent les segments médullaires associés aux membres supérieurs. Cette disposition explique qu'une lésion centrale de la moelle épinière cervicale se manifeste le plus souvent en déficit des membres supérieurs en épargnant la fonction des membres inférieurs (syndrome centromédullaire).

### 2.3.3 Fonctions médullaires autonomes et réflexes médullaires

Le système nerveux autonome contrôle les mécanismes viscéraux autonomes. Il a un rôle important dans le contrôle des systèmes cardio-vasculaire, respiratoire, digestif, génito-urinaire et cutané. Il est divisé en système sympathique, responsable de la réponse au stress et parasympathique, responsable de la détente et de la digestion. Les fibres nerveuses sympathiques proviennent des niveaux thoraciques alors que les fibres parasympathiques proviennent du tronc cérébral et des niveaux sacrés de la moelle épinière.

*Corrélation clinique : La régulation inadéquate de la tension artérielle suivant la lésion médullaire peut contribuer aux épisodes d'hypotension orthostatique (associé aux changements de position). Le terme dysréflexie autonome décrit la survenue d'élévation brusque et intense (>20%) de la tension artérielle systolique en réponse à un stimulus nociceptif (par exemple une infection urinaire) sous un niveau lésionnel cervical ou thoracique haut. Cette hypertension subite s'accompagne d'hypersudation, de piloérection, de flushing facial, de céphalée, de vision embrouillée et de congestion nasale.*

La moelle épinière est un centre de réflexes majeur avec différents niveaux de complexité. L'étirement tendineux rapide entraîne une connexion synaptique médullaire directe du neurone propriocepteur sur le motoneurone inférieur innervant le muscle.

*Corrélation Clinique : Une lésion médullaire abolit la modulation corticale des réflexes médullaires inférieurs à la lésion. Cela résulte en une hyper-réflexie et une spasticité. Toutefois, ces phénomènes peuvent être absents initialement en raison d'un phénomène appelé choc spinal. Le choc spinal constitue une inhibition généralisée de la moelle épinière caudale à la lésion. Ceci se manifeste par une paralysie flasque et une aréflexie. Le choc spinal survient immédiatement après la lésion et peut durer de quelques heures à quelques jours.*

*Dans la période immédiate suivant le trauma médullaire, il est parfois impossible de statuer sur l'atteinte médullaire tant que le choc spinal n'est pas résolu. Le réflexe bulbo-caverneux est le plus caudal de la moelle épinière. Il n'a donc aucune chance d'être affecté par une lésion médullaire sauf pendant le délai du choc spinal. Pour cette raison, le réflexe bulbo caverneux est évalué pour déterminer si le choc spinal est résolu.*

En résumé, la colonne vertébrale est une structure ostéo-ligamentaire complexe, à la fois solide et flexible, contribuant à la posture et à la protection de la moelle épinière. Une lésion de la moelle épinière se manifeste par une atteinte motrice, sensitive et autonome dans un territoire spécifique déterminé par le segment de moelle épinière lésé.

### 3. Mécanismes pathologiques cellulaires et moléculaires de la lésion médullaire

Une lésion à la moelle épinière implique un bris de la continuité des éléments cellulaires et tissulaires de la moelle épinière. Un traumatisme implique un transfert d'énergie cinétique dans la colonne vertébrale qui surpasse la capacité physiologique de l'os, des ligaments et des disques intervertébraux. La colonne vertébrale devenue instable ne protège plus la moelle épinière.



Figure 6. Modalités radiologiques démontrant un trauma médullaire secondaire à une fracture-luxation C6-C7. Les Tiré de The Spine, 6th edition, p1350<sup>10</sup>

Selon l'importance du traumatisme, les tissus ostéoligamentaires peuvent oblitérer partiellement ou complètement le canal médullaire. Ceci entraîne une compression, une

contusion ou transection du tissu médullaire. Ce phénomène est appelé lésion primaire, par opposition à la lésion secondaire. La lésion secondaire est un concept impliquant des évènements délétères survenant à retardement par rapport au traumatisme initial. Les mécanismes identifiés dans la lésion secondaire impliquent des phénomènes vasculaires et la relâche de glutamate, de radicaux libres et de calcium.<sup>11, 12</sup> Ces phénomènes ont des répercussions d'ordre moléculaire cellulaire et histologique. Beaucoup d'énergie est déployée dans la recherche scientifique afin de minimiser la lésion secondaire. La cible de plusieurs traitements en investigation est d'intervenir sur les mécanismes de la lésion secondaire.<sup>13, 14</sup> Notamment, plusieurs études sur des modèles animaux divers ont démontré qu'un délai de décompression court suivant la contusion médullaire diminuerait la lésion secondaire et améliorerait donc la récupération neurologique.<sup>15-25</sup> Ce sont ces études qui sont la principale base scientifique permettant de justifier un délai chirurgical court en clinique.

## **4. Épidémiologie et impact socioéconomique**

Malgré un faible taux d'incidence, la LMT a un profil démographique particulier qui implique des conséquences socioéconomiques majeures. Ce chapitre résumera les connaissances sur les données démographiques, épidémiologiques et socio-économiques les plus récentes. De façon stéréotypée, la LMT survient chez deux populations distinctes : les patients jeunes et les patients âgés. La population plus jeune est majoritairement masculine, victime d'accident de la route ou de sport, chez qui nous retrouvons plus souvent des paraplégies et des lésions complètes. Chez les patients plus âgées, la proportion de femme est plus importante, plus souvent victime de chute qui engendre une tétraplégie incomplète. La réalité est néanmoins beaucoup plus nuancée que ce portrait simplifié.

### **4.1 Incidence et prévalence**

L'incidence mondiale des LMTs varie entre 10 et 60 cas par million d'habitants par année selon la région étudiée.<sup>26</sup> Au Canada, l'incidence des LMTs a été estimée par Noonan et al<sup>27</sup> en 2010 à 41 cas par million d'habitants. L'incidence des lésions médullaires non traumatiques serait de 68 par million d'habitants. Pirouzmand a décrit l'incidence de LMTs dans une population de patients traumatisés du centre spécialisé de trauma Sunnybrook en Ontario entre 1986 et 2006.<sup>28</sup> Parmi les patients traumatisés, 23,2% avaient un trauma spinal, 5,4% avaient une LMT et 3,0% avaient une lésion complète. Dans l'étude de Lenehan et al, l'incidence de la LMT en Colombie-Britannique a été établie à 37,5 cas par million par année et n'aurait pas varié significativement entre 1995 et 2004.<sup>29</sup>

La prévalence de lésion médullaire dans la population active est influencée par l'amélioration de la survie des patients avec LMT. Une revue des études publiées entre 1995 et 2005 suggère que la prévalence varie entre 223 et 755 (485) cas par million d'habitants.<sup>26</sup> Basé sur l'estimation actuarielle de Noonan et al, 85 556 canadiens vivaient avec les séquelles d'une LMT.<sup>27</sup>

L'âge moyen des patients au moment de leur trauma varie entre 33 et 50 ans selon les études canadiennes.<sup>27-31</sup> C'est chez les patients de 15 à 24 ans que l'incidence de LMTs est la plus importante, suivi des patients de plus de 65 ans. Les données démographiques canadiennes collectées depuis les dernières décennies démontrent un vieillissement de l'âge au moment du traumatisme qui va de pair avec le vieillissement général de la population.<sup>28-30</sup> Environ 3 fois plus d'hommes que de femmes subissent une LMT. Cette proportion est encore plus importante chez les jeunes et s'atténue chez les patients plus âgés. Toutefois plusieurs études démontrent que cette proportion est demeurée inchangée au courant des dernières décennies.<sup>28, 29, 32</sup>

## **4.2 Étiologie de la LMT**

L'étiologie principale de la LMT demeure les accidents de véhicules motorisés (35 à 57%), suivi des chutes (19 à 31%), des sport (10 à 18%), et des actes violents (2 à 18%).<sup>28, 29, 32, 33</sup> Les accidents de véhicules motorisés frappent particulièrement la tranche d'âge plus jeune de 16 à 45 ans, alors que les chutes frappent plus les personnes âgées de plus de 50 ans.<sup>28, 31-33</sup> Au courant des dernières décennies plusieurs auteurs ont observé une augmentation des chutes comme étiologie des LMTs, phénomène allant de pair avec le vieillissement de la population.<sup>28, 32, 33</sup>

### 4.3 Niveau de la lésion

Lorsqu'on parle de localisation de la lésion, il faut distinguer le niveau du traumatisme vertébral du niveau médullaire. Le niveau de la lésion est décrit en spécifiant le dernier niveau normal au niveau neurologique ou en utilisant la dénotation paraplégie ou tétraplégie. Pour cette discussion, nous emploierons le niveau médullaire comme référentiel. Plus une lésion est située à un niveau élevé, plus la perte de fonction sera importante puisque le nombre de muscles atteints sera plus significatif et qu'il y aura plus de risques d'atteinte des membres supérieurs et de la musculature respiratoire.

Le taux de lésions cervicales (par opposition à thoracique et lombaire) varie selon les populations étudiées de 29% à 75% et se situe généralement autour de 50%.<sup>28, 29, 31, 33</sup> Dans une étude sur l'ensemble de la population albertaine, Dryden et al ont établi à 54,1% le taux de tétraplégie par rapport à 45,9% de paraplégie.<sup>31</sup> Cette étude souligne que la majorité des LMTs décédées sur les lieux de l'accident ont souffert de lésions cervicales hautes (de C1 à C4). Les victimes plus jeunes souffrent plus souvent de paraplégie alors que chez les plus âgées, nous retrouvons d'avantage de tétraplégie.<sup>29, 31</sup> Les actes de violence sont fréquemment la cause de paraplégie plus que de tétraplégie.<sup>31, 32</sup> De plus, les patients souffrant de paraplégie ont plus souvent une atteinte médullaire complète alors que la tétraplégie est plus souvent associée aux lésions incomplètes.

Parmi la population de la Colombie-Britannique étudiée de 1995 à 2004, la distribution du niveau de la lésion se situe à C1-C4 chez 10,4% des patients; à C5-C7 chez 34,7% des patients; au niveau thoracique chez 24,5% des patients; au niveau lombosacrée chez 20,9% des patients et est non spécifié dans 9,5% des cas.<sup>29</sup> Plus les patients sont âgés, plus leur risque de lésion cervicale est élevé. Par exemple, chez les patients de moins de 50 ans, 80%

souffriront de paraplégie (par rapport à 20% de tétraplégie) alors que cette proportion chute à 50% chez les 50 à 74 ans et à 20% chez les plus de 75 ans. Chez les personnes âgées de plus de 75 ans, il semble que la présence de lésion cervicale haute (C1 à C4) soit encore plus importante.<sup>29,33</sup>

#### **4.4 Sévérité de la lésion**

Il y aurait une grande variation de proportion de lésion complète (ASIA grade A) selon la population étudiée. La plupart des études rapportent un taux de lésion complète de 45 à 50% parmi les LMTs.<sup>26, 29, 32</sup> Parmi tous les patients référés au centre tertiaire de Colombie-Britannique, la distribution de la sévérité de la lésion démontrait 45,3% de ASIA A; 9,3% de ASIA B; 13,3% de ASIA C; 24,7% de ASIA D; 5,2% de syndromes de la queue de Cheval et 2,3% d'atteintes neurologiques non spécifiées.

#### **4.5 Lésions associées**

Un traumatisme vertébral peut survenir de façon isolée mais survient fréquemment dans le cadre d'un polytraumatisme. On retrouve une association fréquente de TCC avec les traumatismes vertébraux cervicaux et les traumatismes thoraciques sont fréquemment associés aux fractures vertébrales thoraciques.<sup>34</sup> Des fractures des os longs et des traumatismes abdominaux accompagnent fréquemment les LMTs.<sup>35</sup> L'ISS est un indice de sévérité fréquemment utilisé pour décrire la sévérité des traumatismes. L'ISS est un score basé sur les régions anatomiques principales, soit : la tête et le cou, le visage, les extrémités, le thorax l'abdomen, la ceinture pelvienne et les surfaces externes. À chaque région est attribué un score de 0 à 5 et le score des trois régions les plus sévèrement atteintes est mis au carré et additionné

pour un score global de 0 à 75. L'ISS moyen associé aux LMTs dans la littérature varie de 10 à 40 en raison des critères de sélection différents d'une étude à l'autre.<sup>36-41</sup>

#### **4.6 Survie durant la phase aiguë**

Malgré les avancements de la médecine moderne, un risque de décès durant la phase d'hospitalisation aiguë demeure présent. Une étude sur la population de la Caroline du Sud de 1993 à 2003 a trouvé un taux de décès aussi élevé que 13% durant la phase d'hospitalisation aiguë.<sup>42</sup> Les facteurs de risque identifiés pour le décès en phase aiguë sont : l'âge de plus de 20 ans, une lésion cervicale haute, la sévérité de l'atteinte neurologique, la présence d'au moins une comorbidité médicale et la présence d'un TCC sévère.<sup>42, 43</sup> Le traitement dans un centre de trauma de niveau 1 a aussi été identifié comme un facteur de risque pour le décès en phase aiguë mais un biais de référence altère cette observation puisque ces patients sont plus souvent polytraumatisés.

#### **4.7 Espérance de vie**

Après avoir survécu à la phase aiguë, les patients avec LMT en phase chronique courent un risque de décès secondaire aux complications respiratoires, urinaires et cardiovasculaires.<sup>44</sup> Une étude australienne de 1998 comparant l'espérance de vie des LMTs à celle de la population générale estimait l'espérance de vie des LMTs tétraplégiques complètes à 70% de la moyenne, celle des paraplégiques complètes à 84% et celle des patients avec une motricité fonctionnelle à 90% de la moyenne.<sup>45</sup> Un âge avancé et un niveau neurologique plus proximal sont des prédicteurs de décès reconnus dans la population de LMTs chroniques.<sup>44</sup>

## **4.8 Impact financier**

Le coût social d'une LMT est considérable en raison des frais hospitaliers, des frais de réhabilitation et de la perte de participation sociale et professionnelle. Dryden a estimé le coût des soins de santé suivant une LMT en dollar canadien en se basant sur la population albertaine.<sup>46</sup> Selon cette étude, le coût moyen lié aux soins de santé pour une LMT complète serait de 121 600 \$ la première année puis de 5 400 \$ pour les années subséquentes. Pour une lésion incomplète le coût serait de 42 100 \$ la première année puis de 2 800\$ par année subséquente. Selon Winslow et al, la majorité des coûts et la durée de l'hospitalisation aiguë sont engendrées par les complications respiratoires.<sup>47</sup> Dans une récente étude menée à l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal une chirurgie dans un délais de moins de 24 heure était associée à une diminution des coûts d'hospitalisation en phase aiguë.<sup>48</sup>

## **4.9 Participation professionnelle**

L'objectif final de la réadaptation après la LMT est le retour à la participation à la vie active. Dans la littérature américaine, nous observons que 21% à 67% des patients ne retourneraient pas au travail après une LMT.<sup>49</sup>

Une méta-analyse d'études entre 1992 et 2005 suggère que, en Amérique du nord, seulement 30% des blessés médullaires retournaient au travail alors que cette proportion atteignait 50% en Europe. Cet écart serait possiblement attribuable aux différentes politiques de réinsertion au travail.<sup>50</sup> Les facteurs identifiés favorisant le retour au travail seraient: un plus jeune âge, un degré de scolarisation plus avancé, une bonne santé générale, une lésion moins sévère, des incitatifs financiers et des mesures institutionnalisées de réintégration. La race demeure un

sujet de controverse quant à sa valeur comme facteur pronostique de retour au travail. Il est à noter que le délai de retour au travail peut être ralenti par des besoins de réinsertion dans un nouveau milieu, spécialement pour les travailleurs manuels. Une étude récente dénote un délai médian de 539 jours avant le retour aux activités productives et un délai médian de 660 jours avant le retour au travail.<sup>51</sup>

## **5. Implications cliniques suivant la lésion médullaire**

### **5.1 Récupération neurologique**

Les études sur l'évolution naturelle des LMTs ont démontré qu'une récupération spontanée est possible surtout dans les premiers mois suivant la lésion médullaire. Toutefois, le corps médical demeure confronté à l'absence de modalités prouvées efficaces pour améliorer la récupération neurologique.

Il est capital de distinguer la récupération neurologique de la récupération fonctionnelle.<sup>52</sup> La récupération neurologique dépend de la ré-innervation de groupes musculaires et territoires sensitifs. L'échelle de gradation du ASIA permet la gradation de la sévérité de l'atteinte neurologique de A à E (Annexe 1). La gradation ASIA A représente une lésion avec interruption complète des fonctions sensorimotrice sous lésionnelles alors que ASIA E signifie une fonction sensorimotrice normale. Une lésion complète ASIA A est déterminée par l'évaluation sensorielle et motrice du segment médullaire le plus distal, soit la

sensation rectale profonde et la contraction volontaire du sphincter anal. Zariffa et al<sup>53</sup> soulignent qu'une faible proportion de patients (3,4%) peut avoir une préservation des fonctions motrices sous lésionnelles correspondant à un niveau fonctionnel (ASIA D) bien qu'ils soient catégorisés ASIA A en raison de l'absence de fonction et de sensation au niveau péri-anal. Il est donc possible d'avoir une fonction motrice et sensorielle aux membres inférieurs malgré une lésion ASIA A affectant majoritairement le sphincter anal. Les scores ASIA sensitifs et moteurs constituent la somme numérique des niveaux complètement ou partiellement préservés. L'échelle de gradation ASIA est largement inspirée de son prédécesseur, l'échelle de Frankel.<sup>44</sup> La récupération fonctionnelle représente plutôt la capacité de l'individu à accomplir une tâche de la vie quotidienne. Le Functional Independence Measure (FIM) et le Spinal Cord Injury Independence Measure (SCIM) sont des outils mesurant le degré de récupération fonctionnelle.

Toutefois, la récupération neurologique (ie échelle ASIA) demeure l'outil le plus utilisé dans les études sur les LMTs.<sup>54-58</sup>

### **5.1.2 Évolution neurologique naturelle**

Afin de déterminer l'évolution neurologique naturelle des LMTs, Fawcett et al<sup>56</sup> ont réalisé une revue de 7 essais cliniques randomisés avec placebo et ont cumulé les observations sur la récupération neurologique des patients ayant reçu un placebo. Toutes les études suggéraient un taux de conversion considérable du grade ASIA durant la première année suivant le traumatisme. Le taux de conversion semblait grandement influencé par le degré de lésion initiale. Une amélioration d'au moins un grade ASIA, soit 20% de conversion, était notée chez les personnes ASIA A. Toutefois, seulement 10% retrouvent un certain niveau de

fonction motrice (ASIA C) dans cette population. Chez les ASIA B, nous retrouvons un taux de conversion de 80%, dont 40% vers un niveau ASIA D.<sup>59, 60</sup> Cette étude suggère que le niveau lésionnel affecterait aussi la récupération neurologique puisque les LMTs paraplégiques avaient un potentiel de récupération inférieur au tétraplégique. Cette observation découlerait probablement d'un canal médullaire plus étroit et une vascularisation plus précaire au niveau thoracique par rapport aux niveaux cervicaux et lombaires. Une étude récente suggère que les patients avec lésion ASIA A thoracique haute (entre T2-T5) auraient un taux de conversion inférieur à ceux avec lésion thoracique moyenne (T6-T10) et basse (T10-12).<sup>53</sup>

La revue de Fawcett et al suggère que 80% de la récupération neurologique survient généralement dans les 3 premiers mois suivant le traumatisme et semble se stabiliser à 12 mois. À noter qu'un faible pourcentage de patients aurait une amélioration neurologique même après 1 an.

Au delà du grade ASIA, le score ASIA sensitif et moteur (sur 100 points) a été utilisé afin d'avoir une idée plus précise du volume lésionnel. Ce score est particulièrement intéressant pour les lésions cervicales. Pour les lésions ASIA A cervicales, plusieurs études montrent une amélioration naturelle de 10 à 14 points plafonnant à un an. Pour les LMTs incomplets, cette amélioration serait entre 30 et 50 points.

Plusieurs études ont examiné les indicateurs de récupération fonctionnelle chez les LMTs. Selon l'étude de Wilson et al, sur une cohorte de 396 patients LMT,<sup>61</sup> l'indépendance fonctionnelle à un an post trauma était prédite par : le grade ASIA, un score ASIA>50, l'âge au moment du traumatisme et la présence d'œdème ou d'hémorragie médullaire à l'IRM. Dans leur échantillon, 39,4% des patients atteignaient une indépendance fonctionnelle un an

après le trauma. Van Middendorp et al<sup>62</sup> ont présenté un modèle de prédiction simple de marche autonome un an post trauma. Ce modèle est basé sur l'âge ( $\geq 65$ ans ou  $< 65$ ans) et la fonction sensitive et motrice segmentaire L3 (quadriceps) et S1 (fléchisseurs plantaires) présente initialement suite au trauma. Leur modèle simple a démontré une excellente capacité de discrimination lors de sa validation dans un groupe prospectif indépendant de 99 patients LMT.

Plusieurs interventions visant à favoriser la récupération neurologique ont été étudiées avec des stratégies visant la neuro-protection ou la neuro-régénération. Notamment les stéroïdes à haute dose (Étude NASCIS II et III),<sup>54, 55</sup> le GM-1 Ganglioside (Sygen),<sup>63</sup> les anticorps anti Nogo et les antagonistes des récepteurs NMDA. Pour le moment aucune modalité thérapeutique n'est prouvée efficace pour favoriser la récupération neurologique.

## **5.2 Complications intra-hospitalières**

Une lésion médullaire augmente fortement le risque de développer des complications non neurologiques de nature pulmonaire, cutanée et génito-urinaire. Ces complications constituent un facteur de risque de mortalité<sup>64</sup> et de ré-hospitalisation.<sup>65</sup> Historiquement, une lésion médullaire était inévitablement fatale en raison des complications non neurologiques.<sup>3</sup> Aujourd'hui, bien que la prévention et la prise en charge contribuent à la meilleure espérance de vie des patients, les complications constituent la principale cause de décès dans cette population.<sup>64</sup>

## **5.2.1 Complications fréquentes**

Les complications de nature pulmonaire, urinaire et cutanée sont les plus fréquentes suivant une LMT traumatique.

### **5.2.1.1 Complications pulmonaires**

Le traumatisme médullaire prédispose aux complications pulmonaires en raison de multiples phénomènes : perte de fonction des muscles respiratoires, mouvement thoracique respiratoire paradoxal, rigidité de la cage thoracique, risque accru d'aspiration, hypersécrétion endo-trachéale, diminution de la fonction de toux, bronchospasme, atélectasie d'immobilisation, surcharge volumique lors de la réanimation initiale et présence d'un traumatisme thoracique associé.

Les complications pulmonaires sont les plus fréquentes avec une incidence variant de 36% à 83% durant la phase aiguë d'hospitalisation.<sup>66-68</sup> Elles causeraient 80% des décès chez les blessés médullaires cervicaux lors de l'hospitalisation aiguë. Le coût et la durée de l'hospitalisation sont davantage expliqués par les complications pulmonaires que par le niveau de la lésion neurologique chez les LMTs cervicales.<sup>47</sup> Les pneumonies et l'atélectasie sont les complications pulmonaires les plus fréquentes.

La pierre angulaire de la prise en charge pulmonaire des blessés médullaires est une toilette pulmonaire agressive avec lavage broncho alvéolaire au besoin. Des exercices de respiration à pression positive aident à prévenir l'atélectasie et une ventilation percussive intra pulmonaire diminue la rétention de sécrétions. Avec les lésions médullaires cervicales hautes, l'intubation est souvent indiquée dès le premier signe de détresse respiratoire. Pour les patients

ayant besoin d'intubation prolongée, la trachéostomie joue un rôle pour faciliter le sevrage respiratoire.

### **5.2.1.2 Complications urinaires**

La physiopathologie des complications urinaires varie selon le niveau de la lésion médullaire. Une LMT au-dessus de la région sacrée isole les centres mictionnels sacrés des centres responsables de la coordination vésico-urétérale (au niveau pontique et cortical).<sup>69</sup> Après une brève période d'aréflexie, l'absence de contrôle supérieur entraîne une hyper-réflexie et un dys-synchronisme vésico-urétral. Les pressions de vidange et de remplissage de la vessie sont donc augmentées. À cela s'ajoute un risque plus élevé de reflux vésico-urétéral avec des lésions entre T10 et L2. Avec une lésion sacrée de la moelle épinière ou une lésion de la queue de cheval, la vessie devient complètement paralytique et atone. Toutefois la vessie est peu compliant au remplissage et de hautes pressions sont générées par de petits volumes urinaires. Ces anomalies expliquent l'augmentation drastique du risque d'infection urinaire suivant la lésion médullaire et ce risque sera d'autant plus élevé que la lésion sera sévère. Le facteur de risque d'infection urinaire le plus important est l'usage prolongé d'une sonde urinaire. En comparaison, l'usage de cathétérisation intermittente, d'un condom cathéter ou d'une sonde sus pubienne diminuent le risque de bactériurie chez les LMTs.<sup>69</sup>

Le foyer de sepsis le plus commun est d'origine pulmonaire lors de la phase aiguë d'hospitalisation et d'origine urinaire durant la phase de réadaptation chronique.<sup>70</sup> Les infections urinaires expliquent 45% des sepsis et augmentent significativement le risque de décès chez les blessés médullaires. En moyenne, les patients avec LMT auraient 2,5 épisodes d'infection urinaire par année.<sup>71</sup>

L'infection urinaire est définie comme la présence de Bactériurie  $> 10^5$  bactérie par ml associée à un épisode de fièvre et une atteinte physique telle la douleur, une augmentation de spasticité ou une sudation profuse.

Pour le traitement de l'infection urinaire chez le patient LMT, il est recommandé de traiter sur courte période de temps avec un antibiotique au spectre étroit et ciblé sur le pathogène. Il est aussi recommandé de changer le cathéter vésical permanent régulièrement ou d'adopter une stratégie de cathétérisme intermittent pour diminuer les volumes intra-vésicaux.

La définition de bactériurie a été établie par consensus à  $> 10^2$  CFU par ml d'urine via cathéter vésical,  $> 10^4$  CFU par ml dans un spécimen récolté au méat urinaire ou la présence de bactérie dans un spécimen de ponction sus pubienne.<sup>72</sup>

L'indication de traiter la bactériurie asymptomatique demeure un sujet de controverse. Malgré un consensus d'expert recommandant de ne pas traiter, plusieurs centres rapportent le traitement systématique de cette condition. Il a été noté que les LMTs avaient en moyenne 18,4 épisodes de bactériurie par année mais que seulement 10% de ces épisodes s'accompagnaient de fièvre.<sup>73</sup> Les bactéries les plus souvent incriminées sont E.Coli, Klebsiella et une augmentation de l'incidence de Pseudomonas, Proteus et Serratia a été notée.<sup>74</sup>

### **5.2.1.3 Complications cutanées**

L'incidence des plaies de pression durant la phase aiguë d'hospitalisation varie d'une étude à l'autre entre 4,6% et 57,1% et dépend beaucoup du niveau de spécialisation de l'unité d'hospitalisation.<sup>66, 67, 75-77</sup>

Les sites les plus fréquents sont les points de contact du corps avec le lit, soit le sacrum, les talons, l'occiput et les ischions. La pression exercée par le poids du corps s'oppose

à la pression hydrostatique vasculaire au niveau de ces points de contact avec le sol, ce qui diminue localement l'apport sanguin d'oxygène et de nutriment. De nombreux facteurs de risque ont été identifiés afin de prédire la survenue d'une plaie de pression dans la population hospitalière. L'altération de la sensibilité et de la motricité suivant la LMT prédisposent spécialement à la survenue de plaie de pression puisque le patient perd son mécanisme de détection et protection de la peau le plus fondamental. D'autres facteurs de risque dans la population hospitalière sont les comorbidités, l'état nutritionnel et le niveau cognitif des patients.<sup>78</sup> La sévérité de la plaie de pression est généralement classifiée selon la profondeur de la plaie par le National Pressure Ulcer Advisory Staging System (NPUASS).

(Stade I : érythème local sans bris cutané, Stade II : perte partielle de l'épaisseur de l'épiderme ou du derme, Stade III : perte totale de l'épaisseur de la peau sans extension dans les fascia profonds, Stade IV : destruction extensive impliquant le muscles, l'os ou le tendon)<sup>79</sup>

L'étude de Idowu suggère que le manque de ressource et le délai de consultation dans un centre spécialisé augmente drastiquement le risque de plaie de pression.<sup>75</sup> La prévention de la progression d'une plaie vers un stade avancé est possible avec des ressources adaptées à la population LMT. Cette prévention pourrait épargner au patient des traitements plus invasifs, une hospitalisation prolongée et un délai d'initiation de la réadaptation. Les stratégies de prévention de plaies sont la gestion des apports nutritionnels, le traitement des comorbidités médicales, l'usage d'une surface thérapeutique<sup>77</sup> et la mobilisation fréquente par le personnel hospitalier.<sup>80</sup> La majorité des plaies de pression apparaissent dans les 30 jours suivant la LMT. Durant cette période, le risque accru d'aggravation neurologique, secondaire à l'instabilité de la lésion vertébrale, rend la mobilisation du patient particulièrement difficile. La chirurgie de stabilisation vertébrale a l'avantage de permettre la mobilisation rapide d'une

lésion vertébrale instable et donc, possiblement, causer une réduction du risque de plaies de pression.

#### **5.2.1.4 Complications thromboemboliques**

La LMT prédispose aux phénomènes thromboemboliques par l'augmentation de la stase veineuse (immobilisme), l'hypercoagulabilité (contexte de trauma) et le dommage endothélial fréquemment associé. Les études de surveillance systématiques par doppler chez les LMTs démontrent une incidence d'évènements thromboemboliques dépassant les 50%. Toutefois, moins de 20% des patients ont une répercussion clinique. Waring et Karunas ont étudié l'incidence clinique des embolies pulmonaires (EP) et thrombophlébites profondes (TPP) dans une cohorte prospective de 1419 patients atteints de LMT entre 1986 et 1989. Les auteurs ne font pas mention de l'usage de thromboprophylaxie. Leur étude suggère une incidence d'EP de 4,6% et de TPP de 14,5% durant la phase aiguë d'hospitalisation. Le décès suivant l'embolie pulmonaire survient chez 14% des patients quadraplégiques de plus de 40 ans et chez seulement 0,37% des patients paraplégiques de moins de 40 ans.<sup>81</sup>

Étant donné l'incidence majeure de TPP et d'EP dans la population de LMTs, une thromboprophylaxie avec héparine de bas poids moléculaire est recommandée pour toute la durée de l'hospitalisation aiguë.<sup>82</sup> La durée de la thromboprophylaxie devrait s'étendre jusqu'à la fin de la réhabilitation, pour un minimum de 3 mois, à moins d'un risque de saignement majeur. La thromboprophylaxie mécanique avec bas compressifs ou à compression intermittente devrait être débutée dès que possible bien qu'elle ne doive pas être utilisée seule. Le filtre de la veine cave inférieure ne devrait pas être employé de façon systématique.

L'usage d'ultrason de dépistage n'est pas nécessaire de façon systématique mais pourrait avoir une utilité pour les patients pour qui la thromboprophylaxie a été retardée.<sup>83</sup>

### **5.2.1.5 Complications cardiovasculaires**

La population de LMTs est à risque de complications cardiovasculaires, notamment la dysréflexie autonome, les arythmies cardiaques et l'hypotension orthostatique.

La dysréflexie autonome est une manifestation de la réaction anormale à un stimuli nocif sous le niveau lésionnel, le plus souvent une distension vésicale ou intestinale dont le patient n'a pas conscience. Les LMTs supérieures au niveau T6 peuvent présenter des épisodes d'élévation de tension artérielle systolique de plus de 20%, accompagnés d'autres signes ou symptômes d'hyperréactivité autonome (hypersudation, pylo-érection, rhinorrhée, céphalée, vision embrouillée).

Les lésions cervicales et thoracique hautes privent le mécanisme de conduction intracardiaque de la régulation sympathique. Les troubles du rythme cardiaque, notamment la bradycardie sinusale, s'observent fréquemment durant les premières semaines suivant la LMT. Moins fréquemment, nous observons aussi des anomalies de repolarisation, des blocs auriculo-ventriculaires, des tachycardies supra-ventriculaires, des tachycardies ventriculaires et des arrêts cardiaques.

L'hypotension orthostatique est fréquente durant la période d'hospitalisation aiguë et découlerait de la perte du tonus sympathique veineux sous lésionnel, de l'hypovolémie et du déconditionnement cardiovasculaire.

Le risque de survenue de ces complications justifie la prise en charge initiale des LMTs par les soins intensifs pour monitorer la thérapie vasopressive, l'usage de réplétion volumique intensive et l'administration de chronotropes.

### **5.2.2 Facteurs prédicteurs des complications intra hospitalières**

La survenue de complications fait partie de l'évolution naturelle sans traitement de lésions médullaires. Toutefois, avec la prise en charge moderne, il devient essentiel d'identifier les patients à risque de complications pour mieux cibler les efforts de prévention.

Claxton et al.<sup>43</sup> ont étudié les facteurs de risque de mortalité chez 72 patients avec lésion médullaire cervicale entre 1981 et 1994. Ils ont identifié l'âge, le niveau neurologique et le GCS comme facteurs indépendants de prédiction de mortalité.

Wilson et al.<sup>67</sup> ont effectué une sous-analyse de 411 patients avec LMT cervicale de la cohorte du STASCIS afin d'établir un modèle prédictif de complications durant la phase aiguë d'hospitalisation. Une sévérité plus importante au score ASIA, un mécanisme de trauma à haute énergie, l'âge et l'absence d'administration de Corticostéroïdes (CS) prédisaient la survenue de complications dans un modèle multivarié. Le délai chirurgical n'a pas été soulevé comme facteur prédictif dans cette étude.

Grossman et al.<sup>66</sup> ont étudié la survenue de complications post-opératoires de tout type dans une base de données de 315 patients avec LMT cervicale, thoracique et lombaire. Parmi tous les patients, 57,8% avaient au moins une complication. Cette proportion atteignait 84,1% chez les ASIA A, mais seulement 25,3% chez les ASIA D. Des études de régression ont identifié le grade ASIA, un traumatisme pénétrant, un GCS <8 points, la présence de traumatisme

thoracique et le tabagisme comme prédicteurs globaux de complications. Le niveau de la lésion cervical, l'âge, le sexe, les comorbidités et l'association d'un traumatisme abdominal ne démontraient pas une tendance significative à la prédiction de complications. L'impact du délai chirurgical n'a pas été adressé dans cette étude.

Dimar et al.<sup>84</sup> se sont intéressés à la survenue de complications post-opératoires chez des patients avec traumatisme thoraco-lombaire dont la moitié étaient neurologiquement intacts. La présence de lésion neurologique, l'âge, la présence de comorbidités (CCI) et l'usage de CS à haute dose selon le protocole de NASCIS II prédisaient la survenue de complications dans un modèle multivarié. Le délai chirurgical de plus de 72h ne prédisait pas la survenue de complications dans cette population.

Mc Henry et al.<sup>85</sup> ont examiné rétrospectivement 1042 fractures thoraciques et lombaires d'une base de données afin de déterminer les prédicteurs d'insuffisance respiratoire. Environ 30% de ces patients avaient une lésion neurologique. Les patients ayant développé une insuffisance respiratoire étaient plus âgés, avaient un traumatisme plus sévère, plus de traumatismes thoraciques associés et un délai chirurgical plus long. Un âge de plus de 35 ans, un ISS >25 points, un GCS<12 points, un traumatisme thoracique et un délai chirurgical > 2 jours prédisaient le risque d'insuffisance respiratoire dans un modèle multivarié.

À l'opposé Aarabi et al.<sup>86</sup> ont étudié 86 patients avec LMT (cervicale, thoracique et lombaire) et n'ont identifié que le grade ASIA comme prédicteur significatif de la survenue de complications pulmonaires. La petitesse de leur échantillon pourrait expliquer l'absence de détection d'autres facteurs prédictifs significatifs.

Lee et al.<sup>87</sup> ont révisé 1591 cas de chirurgies spinales diverses afin de déterminer les facteurs de risque de complications avec un suivi minimal de 2 ans. Bien que non applicable à la

population d'intérêt de ce mémoire, cette étude souligne que l'agressivité chirurgicale (SII) pourrait être mise en cause dans le risque de complications post-opératoires en chirurgie spinale.

En résumé cette revue de littérature souligne que des facteurs liés au patient (âge, comorbidités), au traumatisme (sévérité du traumatisme, niveau de la lésion, sévérité de l'atteinte neurologique, TCC associé) et au traitement (délai chirurgical, administration de CS, agressivité chirurgicale) pourraient prédire la survenue de complications suivant la LMT. Seulement deux études ont analysés la population de LMT, soit celle de Grossman<sup>66</sup> et celle de Wilson<sup>67</sup>, en considérant le taux de complications spécifiques et totales. Le délai chirurgical n'a malheureusement pas été adressé comme facteur prédictif dans ces deux études. Le délai chirurgical est un prédicteur d'importance capitale à étudier car il est possiblement modifiable.

### **5.2.3 Délai chirurgical et complications : mécanisme physiologiques**

Plusieurs publications associent un délai chirurgical court à une diminution du taux de complications. Toutefois, le mécanisme de cette relation demeure imprécis. Deux mécanismes ont été suggérés pour expliquer l'effet du délai chirurgical sur la survenue de complications.

Le premier mécanisme serait l'amélioration de la fonction neurologique. Un délai chirurgical court favorise possiblement la récupération neurologique. La sévérité de l'atteinte neurologique est un facteur de risque pour la survenue de complications. Un délai chirurgical court pourrait donc favoriser la prévention de complications associées à la sévérité de l'atteinte neurologique. Toutefois, l'amélioration neurologique avec un délai chirurgical court n'a pas été démontrée hors de tout doute. De plus, ce mécanisme n'explique pas l'effet positif du délai chirurgical court chez les traumatisés spinaux neuro-intacts.

Le second mécanisme suggéré est une diminution du temps passé en décubitus. Une mobilisation initiale rapide permet de favoriser la toilette pulmonaire, l'enseignement de la gestion des sécrétions, le cathétérisme vésical intermittent et le positionnement préventif pour les plaies de pression. En contrepartie, une immobilisation initiale est obligatoire pour prévenir le déplacement d'une lésion vertébrale instable. La chirurgie spinale de stabilisation vertébrale rend possible la mobilisation sécuritaire du patient. Ainsi, un délai chirurgical court permet de débiter rapidement les mesures préventives pour limiter la survenue de complications.

## **6. La prise en charge du blessé médullaire**

### **6.1 Prise en charge en période aigüe**

La prise en charge initiale suivant le traumatisme médullaire est ciblée sur la stabilisation des signes vitaux, des voies respiratoires, de la fonction respiratoire, des mécanismes circulatoires et des déficits neurologiques. La stabilisation de la colonne vertébrale instable, avec collet cervical et planche spinale, permet de limiter une compression mécanique de la moelle épinière durant le transport pré hospitalier. Cette compression mécanique serait due aux mouvements anormaux qui peuvent survenir dans une colonne vertébrale instable. L'immobilisation thérapeutique des lésions vertébrales instables est maintenue jusqu'à la stabilisation chirurgicale ou la guérison naturelle de la fracture.

L'admission rapide des patients à l'unité de soins intensifs ou l'unité spécialisée en blessés médullaires est essentielle. Le risque de survenue de complications respiratoire, urinaire, hémodynamique et thromboembolique doit être reconnu et adressé par une prévention active.<sup>88</sup> Au niveau respiratoire, la prise en charge consiste initialement en une

intubation au besoin, ainsi qu'en des exercices de toux, une toilette pulmonaire, le sevrage de support respiratoire et la reconnaissance du besoin de trachéostomie par la suite. Les soins intensifs permettent le monitoring hémodynamique et la prise en charge du choc neurogénique, de la réplétion volumique, de la bradycardie et d'épisodes de dysrèflexie autonome. Une sonde urinaire doit rapidement être installée et sera maintenue tant que l'instabilité hémodynamique persistera afin de monitorer le débit urinaire. La sonde urinaire doit être remplacée par le cathétérisme urinaire intermittent dès que possible afin de rétablir une physiologie urinaire plus normale. Une thrombo-prophylaxie mécanique ou pharmacologique doit rapidement être initiée afin de prévenir la thrombose veineuse profonde et l'embolie pulmonaire.

Plusieurs interventions visant à promouvoir la récupération neurologique ont été décrites, mais aucune n'a démontré son efficacité clinique. L'étude NASCIS suggère que l'administration de CS à haute dose améliorerait la fonction neurologique, mais la méthodologie de cette étude a largement été critiquée.<sup>55</sup> L'étude NASCIS a aussi révélé un risque de sepsis sévère et de saignements intestinaux possiblement associé à l'usage de CS à haute dose. Ce traitement est donc largement tombé en défaveur dans de nombreuses unités cliniques et demeure une option thérapeutique à la discrétion de l'équipe traitante.<sup>89</sup> Le maintien de la tension artérielle moyenne au-dessus de 85 mmHg pour 5 à 7 jours suivant le trauma est une autre option thérapeutique dont l'efficacité n'a pas été démontrée.<sup>90</sup>

## **6.2 Prise en charge chirurgicale**

L'indication de procéder à une chirurgie est basée sur un standard de soins puisqu'aucune étude clinique randomisée ne peut être réalisée en raison de considérations

techniques et éthiques. Les objectifs chirurgicaux sont de permettre une mobilisation rapide afin de diminuer le risque de complications et de promouvoir la réadaptation fonctionnelle pour ainsi optimiser la récupération neurologique. Malgré que le délai entre la lésion médullaire et la chirurgie a été extensivement étudié, son impact clinique n'est pas clairement établi à ce jour.

### **6.3 Centres spécialisés dans la prise en charge des lésions médullaires**

La lourdeur et la spécificité de la prise en charge des LMTs ont mené à la création d'unités qui leur sont spécialement dédiées. Ces unités sont spécialisées dans la détection des facteurs de risques de complications médicales. Des équipes multidisciplinaires organisent des soins de prévention coordonnés. L'existence de ces unités est justifiée par la performance inférieure des centres non spécialisés en LMTs. En fait, une revue systématique par Parent et al.<sup>91</sup> suggère qu'un transfert rapide dans une institution spécialisée en LMTs serait associé avec une diminution de la mortalité et un taux plus faible du nombre et de la sévérité des complications.

## **7. L'impact du délai chirurgical**

Le délai chirurgical se définit comme le temps passé entre le traumatisme médullaire et la procédure chirurgicale visant la décompression médullaire et la stabilisation rachidienne. Les deux arguments principaux évoqués en faveur d'un délai chirurgical court sont la récupération neurologique et la diminution des complications.

## 7.1 Délai chirurgical et récupération neurologique

Suivant la LMT, la moelle épinière est comprimée par les structures ostéo-ligamentaires lésées du canal spinal ou par un hématome. Il est logique de penser qu'une décompression chirurgicale rapide puisse réduire les dommages secondaires causés au tissu neurologique. Cette hypothèse a été vérifiée dans le modèle animal chez les chiens et les rats. Toutefois, chez les humains, plusieurs obstacles cliniques complexifient la vérification de cette hypothèse. Notamment, la variabilité de la sévérité et de la localisation des lésions, la présence de lésions associées et les comorbidités complexifient l'analyse de ces données.

Vaccaro et al.<sup>92</sup> ont réalisé une étude prospective randomisée sur la population de LMT cervicale, comparant 34 patients opérés en <72h (moyenne de 1,8 jours) à 28 patients opérés en plus de 5 jours (moyenne de 16,8 jours). Aucune différence entre les deux groupes n'a été détectée au niveau de la durée d'hospitalisation, la durée du séjour aux soins intensifs et la récupération neurologique au dernier suivi (suivi moyen 387 jours). Les complications n'ont pas été répertoriées dans cette étude. Il est possible que la puissance de cette étude soit insuffisante pour démontrer une différence statistique dans les issues principales et secondaires puisqu'il n'y a pas de mention de calcul de taille d'échantillon. Plusieurs études animales suggèrent qu'après 24h de compression neurologique il y ait un plafonnement du bénéfice neurologique de la décompression chirurgicale. Dans cette étude, la comparaison de délais chirurgicaux trop importants pour observer l'effet biologique d'une décompression chirurgicale rapide explique probablement l'absence de résultat positif.

Cenzig et al.<sup>93</sup> ont réalisé une étude prospective sur 27 LMTs thoracolombaires, randomisées selon le jour de la semaine à deux délais chirurgicaux opérés <8 heures (12 patients) et >72

heures (15 patients) après le traumatisme initial. Les résultats démontraient une récupération nettement supérieure dans le groupe opéré avant 8 heures ainsi qu'une diminution des complications pulmonaires. Toutefois, le petit nombre de patients et un devis non applicable à la clinique limite la validité interne et externe de cette étude. Ajoutons que l'attribution du traitement basée sur le jour de la semaine n'est pas une randomisation dans le sens stricte et est sujette à un biais puisque l'étiologie des LMTs n'est pas prise en cause.

Fehlings et al. ont réalisé l'étude *Surgical Timing for Acute Cervical Spinal Cord Injury Study* (STASCIS) publiée en 2012.<sup>57</sup> Cette étude prospective multicentrique non randomisée sur 313 LMTs cervicales, comparant 182 patients opérés en moins de 24 heures à 131 patients opérés plus tardivement. Le suivi à 6 mois démontrait un plus grand nombre de patients ayant récupéré deux grades ASIA parmi les patients opérés en moins de 24 heures. Une tendance non significative à la diminution de complications était notée avec la chirurgie précoce ( $p=0,21$ ). Beaucoup d'espairs ont été mis sur cette étude. Compte tenu des problèmes éthiques et pratiques d'une étude prospective randomisée, elle constituerait les meilleures évidences. Toutefois, un grand nombre de pertes au suivi (27%) et une répartition inégale du grade ASIA et de l'âge dans les deux groupes limitent la validité interne de cette étude. De plus, les conclusions de cette étude se limitent à la population de LMTs cervicales.

L'étude STASCIS suggère que le délai de 24 heures est une opportunité de promouvoir la récupération neurologique. Malheureusement, chez de nombreux patients, il est impossible de maintenir un délai chirurgical sous la limite des 24h pour des raisons logistiques. Le STASCIS n'indique pas s'il est bénéfique de se presser à opérer lorsque 24h se sont déjà écoulées depuis la LMT.

LaRosa et al.<sup>58</sup> ont réalisé une méta-analyse des études de 1966 à 2000. Leur recherche a permis de retrouver 226 patients opérés <24h, 567 en >24h et 890 traités non chirurgicalement. Cette analyse suggère un bénéfice neurologique à la chirurgie dans un délai <24h pour les LMT complètes et incomplètes (p<0,001). Elle suggère aussi la supériorité du traitement chirurgical sur une approche non chirurgicale. La grande majorité des études avait un pauvre niveau d'évidence (niveau II et III). À travers ces études, il existait une grande variabilité de la définition et de l'évaluation de l'atteinte neurologique ainsi qu'une grande hétérogénéité des études concernant les LMTs complètes et non chirurgicales. Les auteurs reconnaissent qu'aucune conclusion définitive ne puisse être tirée de ces études.

Mirza et al.<sup>40</sup> ont réalisé une étude rétrospective sur 43 patients LMTs cervicales entre 1989 et 1991. Un groupe de délai chirurgical <72h était comparé à un second groupe traité initialement par réduction fermée, suivi d'une chirurgie 10 à 14 jours plus tard. Bien que cette étude suggère qu'une chirurgie précoce favorise la récupération neurologique, le délai chirurgical et la prise en charge étudié ne correspond pas au standard de soin actuel de la population LMT.

Fehlings et al. ont questionné 971 chirurgiens spinaux à travers le monde sur le délai chirurgical idéal pour les LMTs.<sup>94</sup> La majorité des chirurgiens préconisaient un délai chirurgical inférieur à 12h pour les LMTs incomplètes et inférieur à 24h pour les LMTs complètes. Le délai chirurgical chez les patients LMTs atteints de syndromes centromédullaires était beaucoup plus variable. Ces résultats reflètent le manque d'évidence clinique et fondamentale justifiant une intervention rapide chez les LMTs avec syndromes centromédullaires. Toutefois un taux de réponse de 48,7% (971 répondants /2000) pourrait

introduire un biais de volontariat dans lequel les chirurgiens motivés à opérer plus hâtivement auraient été plus nombreux à répondre.

## **7.2 Délai chirurgical et complications en phase aigüe**

La diminution des complications post-opératoires représente un objectif d'un délai chirurgical optimal.

### **7.2.1 Délai chirurgical et complications : études cliniques**

Plusieurs études cliniques ont analysé l'effet du délai chirurgical sur la survenue de complications en traumatologie spinale.

Chipman et al.<sup>36</sup> ont réalisé une étude rétrospective sur 146 patients avec fractures thoraco-lombaires, comparés selon deux délais chirurgicaux (<72h et >72h) et la sévérité du trauma (15>ISS et 15<ISS). Les résultats démontraient un taux moindre des complications chez les patients opérés plus tôt et avec ISS>15, et ce, plus spécifiquement pour les complications respiratoires non-infectieuses. Toutefois, le petit nombre de patients et la comparaison de groupes d'âges différents limite la validité interne et externe de cette étude.

Frangen et al.<sup>95</sup> ont réalisé une étude rétrospective de 160 traumatismes thoraco-lombaires séparés en patients opérés en <72h et en >72h. Des analyses de sous-groupes ont permis d'identifier les patients qui ont bénéficié le plus de la chirurgie rapide pour diminuer le nombre de jours d'hospitalisation, le nombre de jours aux USI et la durée passée sous ventilation mécanique. Les patients polytraumatisés sévères (ISS>38) avec LMT complète et insuffisance respiratoire bénéficiaient le plus de la chirurgie précoce. Similairement, Schinkel et al.<sup>41</sup> ont identifié 298 traumas vertébraux thoraciques du registre de traumatisés allemands.

Ils ont comparé les patients opérés <72h à ceux opérés après 72h et ont remarqué une diminution du nombre de jours d'hospitalisation, du jours aux USI, ainsi qu'une diminution du nombre de jours sous ventilation mécanique. Dans ces deux études, les complications n'étaient toutefois pas directement étudiées. De plus, les analyses de sous-groupes menaient à des analyses sur de petits nombres de patients dont les variables cliniques et démographiques de base différaient.

Croce et al.<sup>37</sup> ont revu rétrospectivement 291 patients avec traumatisme spinal (cervical, thoracique et lombaire) dont 50% avaient une atteinte neurologique. Les patients opérés dans un délai de 3 jours du traumatisme avaient un risque diminué de pneumonie, un séjour plus court aux USI, un nombre moindre de jours sous ventilation mécanique et un coût d'hospitalisation moindre. Toutefois, l'âge, les traumatismes thoraciques associés et la présence de TCC différaient dans les deux groupes. Des analyses de sous-groupes ont donc été réalisées pour tenir compte de ces différences. Les patients avec traumatismes thoraciques, lésion médullaire, âge >50 ans, ISS>25 semblaient bénéficier d'avantage du délai chirurgical <3 jours. Malheureusement, seules les pneumonies étaient prise en compte dans cette étude, sans regard sur les autres complications.

McLain et al.<sup>39</sup> ont prospectivement suivis 27 patients avec fracture thoraco-lombaire et polytraumatisme (ISS>26) dont 17 avaient une lésion médullaire associée. Les patients opérés <24h étaient comparés aux patients opérés entre 24 et 72h. Le nombre de complications chirurgicales, le retour au travail et les décès étaient similaires entre les deux groupes. Cette étude suggère qu'il est probablement sécuritaire d'opérer rapidement les patients polytraumatisés avec trauma thoraco-lombaire bien que le petit nombre de patients étudiés limite la puissance de cette conclusion.

Kerwin et al.<sup>38</sup> ont évalué l'efficacité d'un protocole visant à établir un délai chirurgical de moins de 72h pour les fractures rachidiennes. Ils ont étudié une cohorte rétrospective de 174 patients ayant été opérés <72h et 125 patients >72h. La durée de séjour était plus courte chez les patients avec délai chirurgical <72h alors qu'aucune différence n'a été démontrée par rapport au séjour aux USI, au coût d'hospitalisation et à la survenue de pneumonie. Les analyses de sous-groupes démontraient que les blessés médullaires thoraciques bénéficiaient davantage du délai chirurgical court. Les LMTs thoraciques opérés<72h avaient une durée de séjour totale moindre, un séjour aux USI moindre ainsi qu'un taux de pneumonie moindre. Toutefois ces analyses étaient sur un petit groupe de patient (15 vs 45) et la pneumonie était la seule complication répertorié.

McKinley et al.<sup>76</sup> ont étudié une population de 779 LMTs cervicales et thoraco-lombaires. Le groupe était divisé en 176 patients traités non chirurgicalement, 307 opérés en <72h et 296 en >72h. Comparativement aux patients opérés en <72h, les patients opérés >72h souffraient plus de tétraplégie incomplète suivant une chute et étaient plus âgés. Chez les patients opérés en <72h, le coût et la durée d'hospitalisation et le taux de pneumonie étaient moindre. Malheureusement, les auteurs n'ont pas fait d'ajustement statistique pour les facteurs confondants identifiés. Les analyses statistiques ANOVA utilisées par les auteurs permettent la détection d'une différence entre les trois groupes de patients à l'aide d'un seul test statistique. Toutefois, ce test à lui seul ne permet pas de détecter entre lesquels des trois groupes il y a une différence statistique. Ainsi il est impossible d'identifier laquelle des combinaisons de groupe de patients démontrait une différence statistiquement significative (non chirurgical versus <72h, <72h versus >72h ou non chirurgical versus >72h).

## 8. Résumé de la problématique de recherche

La décision d'opérer plus ou moins précocement après une lésion médullaire traumatique se fait souvent en lien avec le potentiel de récupération neurologique du patient. Cependant, au-delà de la récupération neurologique, un délai chirurgical peut aussi procurer d'autres avantages, tels qu'une diminution des complications. La revue de littérature n'a pas démontré d'évidence scientifique de qualité confirmant l'hypothèse selon laquelle un délai chirurgical court chez les LMTs permet une diminution des complications. Malheureusement, il semble qu'une étude prospective randomisée ne pourrait être réalisée dans le contexte de soins actuels en raison de considération éthiques et pratiques. Cela nous contraint à la réalisation de devis observationnels pour répondre à cette épineuse question. Néanmoins, aucun devis observationnel n'est à l'abri de biais induits par des facteurs confondants tel les comorbidités, l'âge, la sévérité de l'atteinte neurologique, la présence de TCC, etc. Une étude de régression multiple constitue une alternative intéressante pour déterminer l'impact du délai chirurgical en tenant compte d'autres prédicteurs possibles de complications.

Plusieurs études sur le risque de complications selon le délai chirurgical se sont intéressées aux traumatismes spinaux en général.<sup>36-38, 41, 84, 85, 95</sup> Pourtant, la pathophysiologie des complications post-opératoires des LMTs diffère de celle des traumatisés spinaux sans atteinte neurologique. Seuls McKinley et al. ont étudié cette question spécifiquement dans la population de LMTs. Cependant, le devis de cette étude est largement critiquable étant donné la répartition inégale des variables confondantes dans les groupes étudiés et l'absence de comparaison statistique définitive entre les différents groupes de délais chirurgicaux.<sup>76</sup> Ce

manque d'évidence souligne la nécessité d'études supplémentaires pour élucider le rôle du délai chirurgical dans la survenue de complications chez les LMTs.

Plusieurs auteurs ont répertorié la survenue de complications respiratoires en relation avec le délai chirurgical en traumatologie spinale. Toutefois, aucune étude n'a évalué la survenue de complications cutanées et urinaires spécifiquement chez les LMTs. Il est pourtant clair que les complications cutanées et urinaires représentent une nuisance majeure dans cette population car elles nécessitent des soins et des coûts additionnels. La connaissance de l'impact du délai chirurgical sur la survenue de complications spécifiques est nécessaire, ne serait-ce que pour s'assurer de l'absence d'effet délétère.

Les lésions médullaires complètes constituent une autre zone d'incertitude. Dans le modèle animal, il semble que les moelles épinières sévèrement contuses répondent moins bien à une décompression rapide et aucune donnée ne suggère de bénéfices neurologiques pour une transection médullaire.<sup>15</sup> En clinique il est bien reconnu que les lésions médullaires complètes ont un pauvre pronostic de récupération neurologique,<sup>56</sup> les bénéfices d'une décompression chirurgicale dans cette population n'ont pas été étudiés. La littérature nous indique qu'il existe une tendance à ne pas insister autant sur un délai chirurgical court chez les LMTs complètes en raison de leur pauvre pronostic neurologique.<sup>34, 94, 96</sup> Pourtant, cette population est particulièrement à risque de complications post-opératoires.<sup>66</sup> À ce jour, aucune étude spécifique n'a évalué l'impact du délai chirurgical en regard du risque de complications ou du coût d'hospitalisation dans cette population.

## 8.1 Hypothèses de Recherche

Considérant les définitions suivantes :

- Délai chirurgical : Un intervalle de temps entre le traumatisme et la chirurgie de stabilisation vertébrale.
- Complications : Complication non neurologique survenant durant la phase aiguë d'hospitalisation.

Notre hypothèses de recherche est que

**Un délai chirurgical prolongé augmente le risque de complications chez les LMTs.**

Nous formulons aussi des hypothèses spécifiques qui répondent à des questions cliniques particulièrement pertinentes.

Hypothèse spécifique 1: Chez les LMTs, il existe une relation entre le délai chirurgical et le risque de survenue de complications non neurologiques.

Hypothèse spécifique 2 : Un délai chirurgical court diminue le risque de survenue de complications chez les LMTs complets.

## 8.2 Objectifs de Recherche

**Objectif principal: Déterminer l'impact du délai chirurgical sur le risque de complications chez les LMTs.**

Objectif 1 : Comparer les taux de complications chez les blessés médullaires opérés en

fonction de différents délais chirurgicaux (avant 24h, entre 24h et 72h et plus de 72h après le traumatisme), en tenant compte des covariables pouvant influencer la survenue des complications.

Objectif 2 : Comparer le taux de complications des LMTs complets opérés dans un délai chirurgical inférieur et supérieur à 24h, en tenant compte des covariables pouvant influencer la survenue des complications.

## **9. Matériel et Méthode**

Nous procéderons à une revue rétrospective du registre prospectif des traumatisés du Québec entre avril 2000 et mars 2010 de l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal.

### **9.1 Critères d'inclusion et d'exclusion**

Les patients âgés de 16 ans ou plus ayant souffert d'un traumatisme vertébral avec lésion médullaire ayant nécessité une intervention chirurgicale seront inclus dans l'étude. Seuls les patients ayant eu une chirurgie à l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal seront inclus.

Les critères d'exclusion seront :

- 1) Traumatisme pénétrant du rachis
- 2) Grade ASIA initial non disponible ou lésion associée rendant impossible l'évaluation neurologique (ex. TCC sévère)
- 3) Les syndromes centromédullaires (lésions médullaires qui ne sont pas associées à une instabilité de la colonne vertébrale)
- 4) Traitement non chirurgical

### **9.2 Variable indépendante**

Pour l'hypothèse spécifique numéro 1, les patients seront stratifiés selon leur délai chirurgical:  $\leq 24$  heures, 24-72 heures et  $> 72$  heures, conformément aux différents délais précédemment étudiés dans la littérature. Pour l'hypothèse spécifique numéro 2 concernant les LMT complets, seulement un point de coupure (24 heures) sera utilisé afin de maintenir des groupes avec un nombre de patients supérieur à 30 afin de favoriser une puissance statistique adéquate.

### **9.3 Variable dépendante**

L'issue de l'étude sera les complications médicales survenant entre le jour du traumatisme et le congé de la phase aiguë d'hospitalisation suivant le traumatisme.

Les complications dont la prévalence est supérieure à 10% seront spécifiquement identifiées et analysées individuellement, soit : les pneumonies, les plaies de pression et les infections urinaires. Toute autre complication sera seulement identifiée et décrite.

De façon générale, les complications neurologiques constituent un risque inhérent à la chirurgie spinale. Les complications possibles sont une aggravation d'une atteinte médullaire incomplète, la progression proximale de cette atteinte ou l'apparition d'une nouvelle atteinte radiculaire. L'hypothèse qu'une décompression rapide suivant la LMT pourrait constituer une deuxième insulte à la moelle épinière avait été évoquée par certains auteurs. Seule l'étude de cohorte de Marchal et al. en 1987 a décrit un risque accru de détérioration neurologique avec un délai chirurgical inférieur à 5 jours.<sup>97</sup> Cette étude ne documentait pas l'amélioration neurologique ni la technique chirurgicale employée. En contrepartie, multiples études animales et cliniques suggèrent plutôt un bénéfice de la décompression neurologique avec un délai chirurgical court. De plus, pour avoir une appréciation exacte des complications neurologiques, une étude de la récupération neurologique se doit d'être faite en parallèle. Pour ces raisons, nous avons décidé de ne pas étudier la survenue de complications neurologiques.

### **9.4 Covariables**

Plusieurs autres variables confondantes seront prises en compte dont : l'âge, le sexe, le niveau et la sévérité de l'atteinte neurologique, la sévérité du traumatisme, les comorbidités médicales. La sévérité du traumatisme, les comorbidités, et la sévérité de l'atteinte

neurologique sont comptabilisées à l'aide d'outils validés et standardisés soit : l'ISS, le CCI, et le Grade ASIA respectivement.

## **9.5 Analyses Statistiques**

Les analyses statistiques seront effectuées avec le logiciel PASW Statistics 18.0 (SPSS Inc Chicago, IL, É-U). Des statistiques comparatives entre les différents groupes seront effectuées à l'aide de tests de t Student pour les variables continues et des tests de chi carré pour les variables catégoriques, en considérant un seuil de signification de 0.05. Un modèle statistique de régression logistique multivariée permettra d'évaluer l'effet du délai chirurgical sur la survenue des complications par le biais de rapport de cotes et d'intervalles de confiance à 95%, en tenant compte des covariables.

# **10. Présentation des Articles**

## **10.1 Article 1**

L'article 1 présente les résultats de notre étude rétrospective sur l'ensemble de la population de LMT. L'analyse de l'article 1 est innovante dans la stratification du délai chirurgical qui utilise deux points de coupure de 24h et 72h. La littérature suggère que le bénéfice neurologique potentiel d'une décompression chirurgicale rapide soit grandement dissipé environ 24h après le traumatisme médullaire. La méthodologie de l'article 1 est conçue pour détecter l'effet d'un délai chirurgical <72h, même chez les patients ayant dépassé la fenêtre de

24h qui représente le délai chirurgical privilégié par la majorité des chirurgiens. Cet article a été publié dans le Journal of Trauma and Acute Care Surgery en Avril 2013.

## **10.2 Article 2**

L'article numéro deux présente les résultats de notre étude rétrospective sur la population de LMT complètes Grade ASIA A. L'intérêt de la méthodologie de l'article 2 est de se concentrer sur les patients ayant un pronostic de récupération neurologique et fonctionnel très sombre: les LMT complètes. L'article analyse les complications non neurologiques et les coûts d'hospitalisation qui peuvent aussi justifier la nécessité d'un délai chirurgical court. Cet article a été publié dans le Journal of Neurotrauma en septembre 2013.

### **10.3 Contributions des Auteurs aux Articles**

La contribution de chacun des auteurs aux manuscrits des Articles 1 et 2 est décrit comme suit :

*Étienne Bourassa-Moreau* a contribué à la création du design de l'étude, la cueillette des données dans les dossiers médicaux, la planification et la réalisation des analyses statistiques, la revue de littérature, la rédaction de l'article, la création des figures, la soumission dans une revue révisée par les pairs et la corrections des commentaires suggérés par les reviseurs.

*Jean-Marc Mac-Thiong* a contribué à l'élaboration du design de l'étude et des analyses statistiques, à la supervision du déroulement de l'étude ainsi qu'au subventionnement de l'étude.

*Debbie Feldman* a contribué à suggérer des corrections au manuscrit et des modifications aux analyses statistiques.

*Cynthia Thompson* a contribué à la collecte de données, à la gestion de la base de données ainsi qu'à la révision du manuscrit.

*Stefan Parent* a contribué à l'élaboration du design de l'étude, à la révision du manuscrit et au subventionnement de l'étude.

## 11. Discussion

Les études réalisées clarifient l'effet du délai chirurgical sur la survenue de complications dans la population de blessés médullaires traumatiques. Dans les études précédentes sur le délai chirurgical chez les LMTs, la récupération neurologique était le plus souvent considérée comme l'issue principale. Pour la première fois dans la littérature, nous avons analysé cette problématique clinique avec les complications post-opératoires comme issue principale. Les complications post-opératoires sont pourtant la source principale de mortalité et morbidité du patient atteint de LMTs.

Les deux études présentées supportent l'importance d'un délai chirurgical court chez les LMTs, plus particulièrement chez les LMTs complètes. Ce bénéfice se traduit par une diminution du taux de complications totales et spécifiques telles les pneumonies, les infections urinaires et les plaies de pression. Plusieurs autres prédicteurs de complications ont été identifiés tels le niveau de lésion médullaire, la sévérité de la lésion, la sévérité du traumatisme, la présence de comorbidités, l'âge et l'étendue de la chirurgie. Notre analyse de régression logistique démontrait l'importance du délai chirurgical comme prédicteur indépendant de complications durant la phase aiguë d'hospitalisation.

Il devient de plus en plus accepté cliniquement qu'un délai chirurgical plus court améliore le pronostic neurologique des LMTs.<sup>94</sup> La justification d'un délai chirurgical court chez les LMTs repose en grande partie sur les études animales précliniques suggérant une fenêtre d'opportunité dans les premières heures suivant une compression médullaire aiguë.

Ces études se basent sur la minimisation de la lésion secondaire, qui consiste en des phénomènes délétères vasculaires, bio-cellulaires et biochimiques survenant dans les heures suivant le trauma. Dans le modèle animal, une décompression médullaire rapide diminue l'effet des lésions secondaires, diminue le volume lésionnel et favorise la récupération fonctionnelle. Toutefois, après que 24h se soient écoulées après le traumatisme, il semble que les bénéfices neurologiques de la décompression chirurgicale plafonnent. Similairement, une étude randomisée clinique chez l'humain n'a pas démontré de bénéfice neurologique avec le point de coupure de 72h.<sup>92</sup> L'étude STASCIS<sup>57</sup> parue en janvier 2012 est considérée comme la meilleure évidence que l'on puisse éthiquement obtenir concernant le délai chirurgical pour les lésions cervicales. Cette étude non randomisée a été fortement critiquée en raison de sa méthodologie expérimentale et statistique.<sup>98</sup> Bien que le délai chirurgical court (inférieur à 24h) soit largement accepté,<sup>94</sup> il persiste une grande incertitude quant au bénéfice neurologique de cette approche.

### **11.1 Délai chirurgical**

Il est parfois difficile de maintenir un délai chirurgical inférieur à 24 heures en raison de contraintes cliniques et pratiques. Effectivement le délai chirurgical inférieur à 24h a pu être réalisé chez seulement 21% des patients au sein de notre cohorte totale de LMTs et 25% des patients ont été opérés dans un délai dépassant 72h. Comparativement, 58% des patients dans l'étude STASCIS ont été opérés en moins de 24h. Cette différence étonnante découle de plusieurs facteurs, notamment de la situation géographique québécoise, d'un pauvre accès au bloc opératoire, des besoins de stabilisation médicale et des croyances fatalistes de certains intervenants par rapport à la prise en charge des LMTs. La prémice du STASCIS suggérait un

meilleur pronostic neurologique avec un délai chirurgical court. L'enrôlement prospectif des patients pouvait inciter les chirurgiens à opérer plus hâtivement (effet Hawthorne). À l'opposé, notre cohorte rétrospective représente un portrait plus fidèle de la pratique sans l'influence de l'étude STASCIS.

Les LMTs référées à plus de 24h ou opérées après 7 jours ont été exclues de l'étude STASCIS alors qu'elles étaient incluses dans notre étude. Cette différence dans les critères d'inclusion pourrait expliquer cette différence puisque près de 157 patients/470 ont été exclus du STASCIS pour divers critères. L'issue finale de notre étude justifie la différence de critères d'exclusions avec le STASCIS.

Parmi les 110 patients opérés après 72h, 34 ont été opérés après 7 jours. Leur âge moyen était de 53,59, leur ISS de 23, leur CCS de 0,58 et 23% avaient une atteinte ASIA A. Cette population constituait le segment le plus âgé, et avait plus de comorbidités que tous les autres groupes de délais chirurgicaux. Il est possible que l'état de santé plus précaire de cette population ait eu un impact sur la décision de retarder leur chirurgie. Les analyses de régression logistique ont tenu compte de ces facteurs confondants. Le transfert international de patient est une autre raison de la prolongation importante du délai. Parmi ces patients, 47% ont eu une complication, ce qui équivaut au taux moyen de complications dans l'ensemble de notre cohorte de LMTs. Ce taux ne semble donc pas avoir biaisé anormalement les données parmi les patients opérés après 72h. Toutefois, notons qu'il demeure supérieur aux taux observés dans les groupes de patients opérés en moins de 72 heures. La présence de patients ayant bénéficié d'un délai de chirurgie tardif rappelle qu'il existe des conditions cliniques et logistiques incompatibles avec un délai chirurgical inférieur à 24h. Malgré cela, notre étude inclut cette catégorie de

patients et souligne l'importance de maintenir un délai chirurgical court peu importe le délai déjà écoulé à l'arrivée en centre hospitalier.

Même si seulement 20% de notre cohorte était exposée à un délai chirurgical inférieur à 24h, cela représente un nombre de 90 patients. Le profil démographique de ces patients était suffisamment varié pour permettre de réaliser des analyses de régression valides. Cela nous a permis d'ajuster nos observations pour les facteurs confondants potentiels. Dans l'ensemble de notre cohorte, les patients opérés plus hâtivement étaient généralement plus jeunes, plus souvent atteints de LMTs complètes, avaient plus de lésions associées, moins de comorbidités et étaient plus souvent paraplégiques que quadraplégiques. Ces différences importantes justifient davantage l'ajustement pour les variables confondantes à l'aide des analyses de régression.

Il devient clair que les conclusions de l'étude numéro 1 peuvent s'appliquer directement aux populations de LMTs pour lesquelles le délai inférieur à 24h peut être difficile à obtenir. Ces populations bénéficieraient d'un délai chirurgical inférieur à 72h, notamment pour diminuer le risque de complications totales, les pneumonies et les plaies de pression.

À l'instar des études précédentes, aucune information n'était disponible sur la justification du délai chirurgical dans notre cohorte de patients. Le transport paramédical, la prise en charge et la stabilisation médicale, la décision du chirurgien, la motivation de l'équipe chirurgicale et l'accès au bloc opératoire sont des contributeurs potentiels de ce délai. Les délais de transfert vers un centre hospitalier spécialisé, les délais d'accès à l'imagerie par résonance magnétique et les délais d'accès au bloc opératoire sont tous modifiables selon

l'organisation des ressources du réseau de santé. Dans le futur, une collecte prospective de données incluant la justification du délai chirurgical permettrait une analyse plus exacte de son impact et permettrait aux administrateurs et cliniciens d'identifier les aspects modifiables de celui-ci.

## **11.2 Analyse des complications**

### **11.2.1 Résultats de nos études**

Nos études visaient principalement à déterminer des taux de complications des patients LMTs lors de la phase aiguë d'hospitalisation. Les taux de complications totales et spécifiques (pneumonie, plaie de pression, et infection urinaire) des patients opérés après 72h étaient plus élevés que ceux opérés entre 24 et 72h et que ceux opérés avant 24h. Ces différences étaient seulement statistiquement significatives pour les pneumonies. La distribution inégale de facteurs confondants invalide les conclusions basées sur ces observations. Les patients opérés plus tôt, étaient plus jeunes et avaient moins de comorbidités et de traumatismes thoraciques. Ces caractéristiques biaisent nos conclusions en faveur d'une chirurgie précoce. Toutefois, un score ISS et un grade ASIA plus sévère chez les patients opérés plus précocement neurologique biaiserait nos conclusions vers l'hypothèse nulle. Les modèles de régressions prennent en compte l'ensemble des variables prédisant la survenue de complication afin de déterminer l'impact indépendant de chacune des variables.

Les modèles réalisés suggèrent que le taux total de complications, de pneumonies et de plaies de pression est moindre chez les patients opérés en moins de 72h et en moins de 24h. Plus spécifiquement, les LMTs opérés entre 24 et 72h avaient un risque moindre que ceux opérés

après 72h. Le délai chirurgical n'influçait pas le taux d'infections urinaires dans nos modèles de régression.

L'article 2 analyse la cohorte de LMTs complètes dans la perspective ou cette cohorte pourrait voir son délai chirurgical négligé en raison du pauvre pronostique neurologique. La comparaison directe entre les LMTs opérés en moins de 24h et en plus de 24h démontrait un taux total de complications, de pneumonies, et d'infections urinaires plus élevé chez les patients opérés après 24h. Les analyses de régression démontraient un taux total de complications, pneumonies et d'infections urinaires plus élevé pour les patients opérés après 24h. Le délai chirurgical n'était pas un facteur de risque significatif pour la survenue de plaies de pression chez les LMTs complètes. De façon intéressante, les LMTs complètes sont une sous population qui semble particulièrement bénéficier d'un délai chirurgical court pour diminuer le taux de complications.

### **11.2.2 Détection des complications**

Un taux global de 47,1% de complications a été établi dans l'ensemble de notre population de LMTs et de 57% dans la sous-population ASIA A. La population de l'étude de Grossman et al<sup>66</sup> s'apparente particulièrement à la nôtre et l'incidence de complications retrouvée était de 57,8% dans la population générale et de 83,1% chez les ASIA A. Cette incidence est supérieure à celle trouvée dans notre étude, possiblement en raison d'un système prospectif de détection de complication plus sensible et d'une population de LMTs cervicales avec un taux élevé de comorbidités (66%). Cette différence suggère que certaines complications n'aient pas été détectées étant donné la nature rétrospective de notre étude. Toutefois, il s'agit d'un biais systématique pour tous les patients puisque les données ont été collectées de façon standardisée

par un archiviste qui ne connaissait pas la nature de notre étude. Ce biais devrait surtout affecter la détection de complications n'ayant pas suffisamment d'impact clinique pour avoir été notées dans les dossiers médicaux. L'étude de Wilson et al<sup>67</sup> démontre une incidence de complications de 39,0% chez 411 LMTs cervicales recrutées dans le STASCIS. Ce taux de complications relativement faible pourrait être secondaire au faible taux de comorbidités et à l'exclusion des patients admis à l'hôpital plus de 24h après le traumatisme, ainsi qu'au fait que l'étude des complications n'était pas l'issue primaire de cette étude. Le délai chirurgical du STASCIS nettement plus court que celui retrouvé dans notre cohorte aurait aussi pu avoir l'effet de diminuer le taux de complications observées.

Les complications étaient répertoriées dans les dossiers médicaux par des archivistes médicaux de façon systématique à partir des notes cliniques, afin de compiler les données des registres des traumatisés du Québec. Malheureusement, les critères diagnostiques des diverses complications n'étaient pas préétablis. Ce biais de détection est systématique. Il pourrait entraîner une sous détection des complications, spécialement celles de moindre sévérité. Les diagnostics étaient posés par l'équipe médicale. Cette équipe est composée de médecins résidents et de patrons d'orthopédie et d'autres spécialités médicales. Il est probable que cela induise une variabilité dans les critères diagnostiques. Toutefois, notre institution est pourvue d'une infirmière spécialisée en blessés médullaires qui dépiste de façon indépendante et systématique les complications courantes des LMTs. La présence de cette infirmière spécialisée renforce l'uniformité de la détection des complications. Certaines études prospectives sur le délai chirurgical chez les LMTs ont utilisé des formulaires d'identification des complications.<sup>66, 67</sup> De tels systèmes d'identification n'étaient pas utilisés dans notre étude ni dans les études rétrospectives précédemment publiées.<sup>36-38, 76</sup> À l'instar de notre étude,

aucune étude n'a utilisé de critères diagnostique de complications préétablis. Basé sur la méthodologie et le taux de complications, il semble que notre méthode de détection de complications était comparable à l'ensemble de la littérature.

Une étude préliminaire de notre propre base de données nous a permis de dépister les complications avec la plus forte prévalence. Notons que les pneumonies, plaies de pression et infections urinaires ont été spécifiquement étudiées en raison de leur leur prévalence supérieure à 10%. Bien que ce critère soit établi de façon arbitraire, il s'agit des complications dont l'impact clinique populationnel est le plus important.

### **11.2.3 Facteurs de risques des complications**

Des analyses de régression visaient à déterminer les facteurs de risque des complications dans une population de LMTs à l'instar de plusieurs études précédemment publiées.<sup>43, 66, 67, 84-87</sup>

Outre le délai chirurgical, notre étude a identifié le grade ASIA, la tétraplégie, le ISS le SII comme prédicteurs de l'ensemble des complications. Comparativement, dans l'étude de la cohorte de LMTs de Grossman<sup>66</sup>, le grade ASIA, un trauma pénétrant, un GCS <8 points, la présence de trauma thoracique et le tabagisme ont été identifiés comme prédicteurs de complications globales. Dans cette dernière étude, le niveau de lésion cervical, l'âge, le sexe, les comorbidités et l'association d'un traumatisme abdominal démontraient seulement une tendance non significative. Contrairement à l'étude de Grossman, notre étude excluait les patients avec TCC sévères (GCS<8) et les traumas pénétrants. Ces critères d'exclusion étaient basés sur l'approche de délai chirurgical différente, introduisant un biais important d'attribution de traitement. Le TCC sévère a aussi été exclu car il constitue une entrave à l'évaluation valide de la lésion médullaire qui caractérise la population de notre étude.

D'autre part, la présence de traumatisme thoracique n'était pas enregistrée dans notre étude. Par contre, le ISS représente une appréciation de la sévérité du polytrauma qui englobe la présence de telles lésions.

Dans l'analyse de la cohorte du STASCIS par Wilson et al,<sup>67</sup> une sévérité plus importante au score ASIA, l'âge, les traumatismes à haute énergie, la présence de comorbidités et l'absence d'administration de stéroïde prédisaient la survenue de complications. Comparativement, dans notre cohorte, l'âge et les comorbidités prédisaient spécifiquement la survenue de pneumonies et non des complications totales. Wilson n'a pas identifié l'ISS comme prédicteur des complications, possiblement en raison d'une distribution avec ISS homogène et faible (12 comparativement à 26 dans notre étude). L'administration de CS et la mesure de l'énergie du traumatisme n'étaient pas disponibles dans notre étude.

#### **11.2.4 Corticostéroïdes à haute dose et complications**

Malheureusement, les informations sur l'usage de CS à haute dose n'étaient pas disponibles dans notre base de données. Le lien entre les complications post-opératoires et l'administration du protocole de NASCIS III<sup>55</sup> est controversé. Premièrement, la validité et la méthodologie statistique de l'étude NASCIS II et III ont été sévèrement critiquées<sup>99</sup> et il n'existe actuellement pas de preuve justifiant l'usage de corticostéroïde à haute dose pour favoriser la récupération neurologique.<sup>100</sup> L'étude NASCIS III a révélé un taux plus élevé de sepsis sévères ( $p=0,07$ ) et de pneumonies sévères ( $p=0,02$ ) associé à l'administration de CS à haute dose. D'autres études de facteurs de risque ont établi des résultats conflictuels quant au rôle des CS.<sup>67, 84</sup> Étant donné le haut taux de référence en provenance d'établissement

périphérique, l'administration de corticostéroïdes est difficile à déterminer à partir de notre revue rétrospective. L'application du protocole de NASCIS III a été appliqué de façon systématique à l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal et dans les hôpitaux référants à partir des années 2000. Il a été complètement abandonné à l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal en 2006 en lien avec les recommandations du guide de pratique de la Société canadienne du rachis, de sorte que la presque totalité des patients traités à partir de 2006 n'ont pas reçu de corticostéroïdes. Ainsi l'administration de CS à haute dose est donc un biais systématique.

### **11.2.5 Mécanismes de diminution des complications**

Un délai chirurgical court permet la mobilisation rapide du patient et cela favorise l'initiation du cathétérisme vésical intermittent, de la physiothérapie respiratoire, de la prévention et du monitoring de plaie de pression. Toutefois le délai d'initiation de ces thérapies n'est pas répertorié de façon standard dans les dossiers médicaux. Par conséquent, les données sont impossibles à analyser de façon rétrospective. La démonstration du lien entre le délai chirurgical court et l'initiation rapide de la prévention des complications renforcerait la confirmation de notre hypothèse.

Ce mécanisme de prévention des complications requiert que les interventions adéquates soient prodiguées par les soins infirmiers, les inhalothérapeutes, les orthophonistes et les physiothérapeutes. En l'absence de stratégie de prévention, les milieux non spécialisés dans la prise en charge de LMTs pourraient ne pas être en mesure de convertir un délai chirurgical court en diminution des complications. Notre étude a été réalisée dans un centre qui possède une unité multidisciplinaire spécialisée en LMTs. La validité externe de notre étude ne pourrait pas s'étendre à une unité non spécialisée en LMTs. En fait, la prise en charge des

LMTs dans des unités non spécialisées n'est pas recommandée car elle pourrait augmenter la mortalité, le taux de complications et leur sévérité.<sup>89</sup>

Il semble que la sous population de LMTs complètes bénéficie particulièrement d'un délais chirurgical court pour la diminution du taux de complications. L'immobilisme complet infligé par la LMT et l'absence de sensation cutanée et profonde précipitent davantage la survenue de complications par rapport aux LMTs incomplètes. Les mesures de mobilisations actives pour prévenir les complications ont probablement une importance encore plus capitale dans cette population par rapport aux LMTs incomplètes.

### **11.3 Exclusion des LMTs centromédullaires**

La population de blessés centromédullaires a été exclue des deux études pour des raisons pathophysiologiques. Dans cette population, le canal médullaire cervical est sténosé de façon chronique avant la survenue d'un traumatisme. Un traumatisme habituellement en hyperextension crée une sténose encore plus sévère du canal et une compression médullaire transitoire qui entraîne une contusion médullaire. Dans un syndrome centromédullaire classique, l'atteinte neurologique prédominante aux membres supérieurs est généralement transitoire et a un excellent potentiel de récupération. Ce patron de récupération diffère des lésions avec instabilité vertébrale et compression médullaire.<sup>101</sup> Il existe une controverse quant à la pertinence de procéder à une chirurgie durant la phase aiguë alors qu'aucun élément osseux ou ligamentaire ne cause une instabilité mécanique pouvant induire une compression additionnelle la moelle épinière, et qu'une récupération spontanée est attendue.<sup>102-104</sup> De plus, pour ces patients, la conduite par rapport au délai chirurgical varie beaucoup entre les chirurgiens de l'Hôpital du Sacré-Cœur, ce qui pourrait introduire un biais significatif.

## 11.4 Perspectives d'avenir

Quel devis pourrait aider à faire la lumière sur cette question épineuse dans un cadre éthiquement plus acceptable?

Notre revue exhaustive de la littérature suggère qu'aucune étude randomisée clinique ne supporte un délai chirurgical court. Pour des raisons éthiques, pratiques et cliniques, il est improbable qu'une telle étude soit réalisée dans le contexte des systèmes de santé occidentaux. Toutefois, une étude randomisée clinique sur le délai chirurgical des LMTs thoraco-lombaire serait actuellement en cours en Iran.<sup>105</sup> La situation socioéconomique de cette région rendrait éthique l'allocation aléatoire du délai chirurgical dans la population de LMTs. Néanmoins, la transférabilité de cette étude à la situation nord-américaine pourrait être mise en doute.

Les complications sont un phénomène complexe dont l'intensité, la qualité et la pathogénèse gagneraient à être mieux définies. Des études prospectives de cohortes pourraient implémenter un mécanisme de détection systématique des critères diagnostiques précis et une évaluation de la sévérité du grade des complications. L'administration des modalités de prévention des complications devrait être répertoriée afin de comprendre l'impact indirect du délai chirurgical sur le risque de complications.

Le délai chirurgical est d'origine multifactoriel. Certaines causes du délai sont techniquement impossibles à améliorer alors que d'autres contributeurs du délai chirurgical sont modifiables. Les études prospectives futures sur le délai chirurgical devraient évaluer la part découlant du

transport pré-hospitalier, du transfert inter hospitalier, de la prise en charge médicale et de l'accès aux modalités radiologiques et au bloc opératoire.

Des études de cohortes prospectives de qualité permettraient une compréhension du délai chirurgical et l'élaboration d'un protocole de prise en charge rapide des LMTs plus efficace.

Une alternative à l'étude du délai chirurgical court comme variable indépendante serait l'étude prospective randomisée sur l'implantation de protocoles de prise en charge rapide des LMTs. Le standard de soins actuel pourrait être comparé à des périodes d'accès à un plateau technique dédié aux LMTs. Il s'agit d'un devis éthiquement plus acceptable. Ce type d'étude permet d'évaluer à la fois l'effet physiologique ainsi que les bénéfices de l'allocation de ressources dans cette population.

## 12. Conclusion

Maintenir un délai chirurgical court chez les LMTs demeure une stratégie thérapeutique considérés par certains comme standard de soins. À ce jour, l'efficacité de cette mesure n'a pas été démontrée hors de tout doute, tant pour l'amélioration neurologique que pour la diminution des complications.

Les études présentées dans ce mémoire suggèrent qu'un délai chirurgical court est bénéfique pour diminuer les complications durant la phases aiguë d'hospitalisation chez les LMTs. L'étude de population de LMTs démontrait que les patients opérés plus tôt avaient généralement moins de complications et que le délai chirurgical était un prédicteur indépendant de la survenue de complications durant la phase aiguë. L'étude des points de coupure de 24h et 72h démontrait une augmentation du taux de complications avec le délai chirurgical. Cela suggère que les LMTs non opérés après 24h bénéficient toujours d'un délai chirurgical inférieur à 72h pour diminuer le risque de complications. L'étude plus spécifique de la cohorte de LMTs complètes ASIA A suggère également que le délai chirurgical est un prédicteur significatif et indépendant des complications durant la phase aiguë d'hospitalisation.

Ce projet apporte des connaissances particulièrement pertinentes sur deux sous populations de LMTs, soit celles non opérés 24h après leur trauma et les complètes (ASIA A). Ces sous populations pourraient voir leur délai chirurgical négligé puisque aucun bénéfice neurologique n'est attendu et peu d'attention est portée au risque de complications.

Pour les études futures, l'élaboration de protocoles intégrés d'intervention cliniques visant un délai chirurgical plus court et sécuritaire dans la population de LMTs serait envisageable et souhaitable.

À la lumière de nos études, nous recommandons un délai chirurgical inférieur à 24h pour les LMTs, peu importe la sévérité de l'atteinte neurologique. Lorsque le point de coupure de 24h ne peut être respecté, nous recommandons de maintenir un délai chirurgical inférieur à 72h, pour limiter le risque de complications.

## Bibliographie

1. Hughes, J.T. (1988). The Edwin Smith Surgical Papyrus: an analysis of the first case reports of spinal cord injuries. *Paraplegia* 26, 71-82.
2. Knoeller, S.M. and Seifried, C. (2000). Historical perspective: history of spinal surgery. *Spine* 25, 2838-2843.
3. Schiller, M.D. and Mobbs, R.J. (2012). The historical evolution of the management of spinal cord injury. *Journal of clinical neuroscience : official journal of the Neurosurgical Society of Australasia* 19, 1348-1353.
4. Donovan, W.H. (2007). Donald Munro Lecture. Spinal cord injury--past, present, and future. *The journal of spinal cord medicine* 30, 85-100.
5. Moore, K.L., Dalley, A.F. and Agur, A.M.R. (2006). *Clinically oriented anatomy*. 5th ed. Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia.
6. Committee, M., Burns, S., Biering-Sorensen, F., Donovan, W., Graves, D.E., Jha, A., Johansen, M., Jones, L., Krassioukov, A., Kirshblum, S., Mulcahey, M.J., Read, M.S. and Waring, W. (2012). International standards for neurological classification of spinal cord injury, revised 2011. *Topics in spinal cord injury rehabilitation* 18, 85-99.
7. Kirshblum, S.C., Biering-Sorensen, F., Betz, R., Burns, S., Donovan, W., Graves, D.E., Johansen, M., Jones, L., Mulcahey, M.J., Rodriguez, G.M., Schmidt-Read, M., Steeves, J.D., Tansey, K. and Waring, W. (2014). International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury: Cases with classification challenges. *The journal of spinal cord medicine* 37, 120-127.
8. Hartwig, W.C. (2008). *Fundamental anatomy*. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia.
9. Håggström, P.a. (2010). *Spinal cord*.
10. Herkowitz, H.N., Rothman, R.H. and Simeone, F.A. (2006). *Rothman-Simeone, the spine*. 5th ed. Saunders Elsevier: Philadelphia.
11. Amar, A.P. and Levy, M.L. (1999). Pathogenesis and pharmacological strategies for mitigating secondary damage in acute spinal cord injury. *Neurosurgery* 44, 1027-1039; discussion 1039-1040.
12. Tator, C.H. and Fehlings, M.G. (1991). Review of the secondary injury theory of acute spinal cord trauma with emphasis on vascular mechanisms. *Journal of neurosurgery* 75, 15-26.
13. Kwon, B.K., Okon, E.B., Tsai, E., Beattie, M.S., Bresnahan, J.C., Magnuson, D.K., Reier, P.J., McTigue, D.M., Popovich, P.G., Blight, A.R., Oudega, M., Guest, J.D., Weaver, L.C., Fehlings, M.G. and Tetzlaff, W. (2011). A grading system to evaluate objectively the strength of pre-clinical data of acute neuroprotective therapies for clinical translation in spinal cord injury. *Journal of neurotrauma* 28, 1525-1543.
14. Kwon, B.K., Sekhon, L.H. and Fehlings, M.G. (2010). Emerging repair, regeneration, and translational research advances for spinal cord injury. *Spine* 35, S263-270.
15. Dimar, J.R., 2nd, Glassman, S.D., Raque, G.H., Zhang, Y.P. and Shields, C.B. (1999). The influence of spinal canal narrowing and timing of decompression on neurologic recovery after spinal cord contusion in a rat model. *Spine* 24, 1623-1633.

16. Brodkey, J.S., Richards, D.E., Blasingame, J.P. and Nulsen, F.E. (1972). Reversible spinal cord trauma in cats. Additive effects of direct pressure and ischemia. *Journal of neurosurgery* 37, 591-593.
17. Carlson, G.D., Gorden, C.D., Oliff, H.S., Pillai, J.J. and LaManna, J.C. (2003). Sustained spinal cord compression: part I: time-dependent effect on long-term pathophysiology. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 85-A, 86-94.
18. Carlson, G.D., Minato, Y., Okada, A., Gorden, C.D., Warden, K.E., Barbeau, J.M., Biro, C.L., Bahnuik, E., Bohlman, H.H. and Lamanna, J.C. (1997). Early time-dependent decompression for spinal cord injury: vascular mechanisms of recovery. *Journal of neurotrauma* 14, 951-962.
19. Delamarter, R.B., Sherman, J. and Carr, J.B. (1995). Pathophysiology of spinal cord injury. Recovery after immediate and delayed decompression. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 77, 1042-1049.
20. Dolan, E.J., Tator, C.H. and Endrenyi, L. (1980). The value of decompression for acute experimental spinal cord compression injury. *Journal of neurosurgery* 53, 749-755.
21. Guha, A., Tator, C.H., Endrenyi, L. and Piper, I. (1987). Decompression of the spinal cord improves recovery after acute experimental spinal cord compression injury. *Paraplegia* 25, 324-339.
22. Kobrine, A.I., Evans, D.E. and Rizzoli, H.V. (1979). Experimental acute balloon compression of the spinal cord. Factors affecting disappearance and return of the spinal evoked response. *Journal of neurosurgery* 51, 841-845.
23. Nystrom, B. and Berglund, J.E. (1988). Spinal cord restitution following compression injuries in rats. *Acta neurologica Scandinavica* 78, 467-472.
24. Tarlov, I.M. (1954). Spinal cord compression studies. III. Time limits for recovery after gradual compression in dogs. *A.M.A. archives of neurology and psychiatry* 71, 588-597.
25. Tarlov, I.M. and Klinger, H. (1954). Spinal cord compression studies. II. Time limits for recovery after acute compression in dogs. *A.M.A. archives of neurology and psychiatry* 71, 271-290.
26. Wyndaele, M. and Wyndaele, J.J. (2006). Incidence, prevalence and epidemiology of spinal cord injury: what learns a worldwide literature survey? *Spinal cord* 44, 523-529.
27. Noonan, V.K., Fingas, M., Farry, A., Baxter, D., Singh, A., Fehlings, M.G. and Dvorak, M.F. (2012). Incidence and prevalence of spinal cord injury in Canada: a national perspective. *Neuroepidemiology* 38, 219-226.
28. Pirouzmand, F. (2010). Epidemiological trends of spine and spinal cord injuries in the largest Canadian adult trauma center from 1986 to 2006. *Journal of neurosurgery. Spine* 12, 131-140.
29. Lenehan, B., Street, J., Kwon, B.K., Noonan, V., Zhang, H., Fisher, C.G. and Dvorak, M.F. (2012). The epidemiology of traumatic spinal cord injury in British Columbia, Canada. *Spine* 37, 321-329.
30. Kattail, D., Furlan, J.C. and Fehlings, M.G. (2009). Epidemiology and clinical outcomes of acute spine trauma and spinal cord injury: experience from a specialized spine trauma center in Canada in comparison with a large national registry. *The Journal of trauma* 67, 936-943.
31. Dryden, D.M., Saunders, L.D., Rowe, B.H., May, L.A., Yiannakoulias, N., Svenson, L.W., Schopflocher, D.P. and Voaklander, D.C. (2003). The epidemiology of traumatic spinal cord injury in Alberta, Canada. *The Canadian journal of neurological sciences. Le journal canadien des sciences neurologiques* 30, 113-121.

32. Jackson, A.B., Dijkers, M., Devivo, M.J. and Poczatek, R.B. (2004). A demographic profile of new traumatic spinal cord injuries: change and stability over 30 years. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 85, 1740-1748.
33. Pickett, G.E., Campos-Benitez, M., Keller, J.L. and Duggal, N. (2006). Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Canada. *Spine* 31, 799-805.
34. Petitjean, M.E., Mousselet, H., Pointillart, V., Lassie, P., Senegas, J. and Dabadie, P. (1995). Thoracic spinal trauma and associated injuries: should early spinal decompression be considered? *The Journal of trauma* 39, 368-372.
35. Stoner, H.B., Barton, R.N., Little, R.A. and Yates, D.W. (1977). Measuring the severity of injury. *British medical journal* 2, 1247-1249.
36. Chipman, J.G., Deuser, W.E. and Beilman, G.J. (2004). Early surgery for thoracolumbar spine injuries decreases complications. *The Journal of trauma* 56, 52-57.
37. Croce, M.A., Bee, T.K., Pritchard, E., Miller, P.R. and Fabian, T.C. (2001). Does optimal timing for spine fracture fixation exist? *Annals of surgery* 233, 851-858.
38. Kerwin, A.J., Frykberg, E.R., Schinco, M.A., Griffen, M.M., Murphy, T. and Tepas, J.J. (2005). The effect of early spine fixation on non-neurologic outcome. *The Journal of trauma* 58, 15-21.
39. McLain, R.F. and Benson, D.R. (1999). Urgent surgical stabilization of spinal fractures in polytrauma patients. *Spine* 24, 1646-1654.
40. Mirza, S.K., Krengel, W.F., 3rd, Chapman, J.R., Anderson, P.A., Bailey, J.C., Grady, M.S. and Yuan, H.A. (1999). Early versus delayed surgery for acute cervical spinal cord injury. *Clinical orthopaedics and related research*, 104-114.
41. Schinkel, C., Frangen, T.M., Kmetc, A., Andress, H.J., Muhr, G. and German Trauma, R. (2006). Timing of thoracic spine stabilization in trauma patients: impact on clinical course and outcome. *The Journal of trauma* 61, 156-160; discussion 160.
42. Varma, A., Hill, E.G., Nicholas, J. and Selassie, A. (2010). Predictors of early mortality after traumatic spinal cord injury: a population-based study. *Spine* 35, 778-783.
43. Claxton, A.R., Wong, D.T., Chung, F. and Fehlings, M.G. (1998). Predictors of hospital mortality and mechanical ventilation in patients with cervical spinal cord injury. *Canadian journal of anaesthesia = Journal canadien d'anesthesie* 45, 144-149.
44. Frankel, H.L., Coll, J.R., Charlifue, S.W., Whiteneck, G.G., Gardner, B.P., Jamous, M.A., Krishnan, K.R., Nuseibeh, I., Savic, G. and Sett, P. (1998). Long-term survival in spinal cord injury: a fifty year investigation. *Spinal cord* 36, 266-274.
45. Yeo, J.D., Walsh, J., Rutkowski, S., Soden, R., Craven, M. and Middleton, J. (1998). Mortality following spinal cord injury. *Spinal cord* 36, 329-336.
46. Dryden, D.M., Saunders, L.D., Jacobs, P., Schopflicher, D.P., Rowe, B.H., May, L.A., Yiannakoulis, N., Svenson, L.W. and Voaklander, D.C. (2005). Direct health care costs after traumatic spinal cord injury. *The Journal of trauma* 59, 443-449.
47. Winslow, C., Bode, R.K., Felton, D., Chen, D. and Meyer, P.R., Jr. (2002). Impact of respiratory complications on length of stay and hospital costs in acute cervical spine injury. *Chest* 121, 1548-1554.
48. Mac-Thiong, J.M., Feldman, D.E., Thompson, C., Bourassa-Moreau, E. and Parent, S. (2012). Does Timing of Surgery Affect Hospitalization Costs and Length of Stay for Acute Care following a Traumatic Spinal Cord Injury? *Journal of neurotrauma* 29, 2816-2822.

49. Anderson D, D.S., Azzaria L, Le Bourdais M, Noreau L (2007). Determinants of return to work among spinal cord injury patients: A literature review. *Journal of Vocational Rehabilitation* 27, 57-68.
50. Young, A.E. and Murphy, G.C. (2009). Employment status after spinal cord injury (1992-2005): a review with implications for interpretation, evaluation, further research, and clinical practice. *International journal of rehabilitation research. Internationale Zeitschrift fur Rehabilitationsforschung. Revue internationale de recherches de readaptation* 32, 1-11.
51. Phillips, V.L., Hunsaker, A.E. and Florence, C.S. (2012). Return to work and productive activities following a spinal cord injury: the role of income and insurance. *Spinal cord* 50, 623-626.
52. Ditunno, J.F. (2010). Outcome measures: evolution in clinical trials of neurological/functional recovery in spinal cord injury. *Spinal cord* 48, 674-684.
53. Zariffa, J., Curt, A., Group, E.S. and Steeves, J.D. (2012). Functional motor preservation below the level of injury in subjects with American Spinal Injury Association Impairment Scale grade A spinal cord injuries. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 93, 905-907.
54. Bracken, M.B., Shepard, M.J., Collins, W.F., Holford, T.R., Young, W., Baskin, D.S., Eisenberg, H.M., Flamm, E., Leo-Summers, L., Maroon, J. and et al. (1990). A randomized, controlled trial of methylprednisolone or naloxone in the treatment of acute spinal-cord injury. Results of the Second National Acute Spinal Cord Injury Study. *The New England journal of medicine* 322, 1405-1411.
55. Bracken, M.B., Shepard, M.J., Holford, T.R., Leo-Summers, L., Aldrich, E.F., Fazl, M., Fehlings, M., Herr, D.L., Hitchon, P.W., Marshall, L.F., Nockels, R.P., Pascale, V., Perot, P.L., Jr., Piepmeier, J., Sonntag, V.K., Wagner, F., Wilberger, J.E., Winn, H.R. and Young, W. (1997). Administration of methylprednisolone for 24 or 48 hours or tirilazad mesylate for 48 hours in the treatment of acute spinal cord injury. Results of the Third National Acute Spinal Cord Injury Randomized Controlled Trial. *National Acute Spinal Cord Injury Study. JAMA : the journal of the American Medical Association* 277, 1597-1604.
56. Fawcett, J.W., Curt, A., Steeves, J.D., Coleman, W.P., Tuszynski, M.H., Lammertse, D., Bartlett, P.F., Blight, A.R., Dietz, V., Ditunno, J., Dobkin, B.H., Havton, L.A., Ellaway, P.H., Fehlings, M.G., Privat, A., Grossman, R., Guest, J.D., Kleitman, N., Nakamura, M., Gaviria, M. and Short, D. (2007). Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury as developed by the ICCP panel: spontaneous recovery after spinal cord injury and statistical power needed for therapeutic clinical trials. *Spinal cord* 45, 190-205.
57. Fehlings, M.G., Vaccaro, A., Wilson, J.R., Singh, A., D, W.C., Harrop, J.S., Aarabi, B., Shaffrey, C., Dvorak, M., Fisher, C., Arnold, P., Massicotte, E.M., Lewis, S. and Rampersaud, R. (2012). Early versus delayed decompression for traumatic cervical spinal cord injury: results of the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS). *PloS one* 7, e32037.
58. La Rosa, G., Conti, A., Cardali, S., Cacciola, F. and Tomasello, F. (2004). Does early decompression improve neurological outcome of spinal cord injured patients? Appraisal of the literature using a meta-analytical approach. *Spinal cord* 42, 503-512.
59. Geisler, F.H., Coleman, W.P., Grieco, G., Poonian, D. and Sygen Study, G. (2001). Measurements and recovery patterns in a multicenter study of acute spinal cord injury. *Spine* 26, S68-86.

60. Marino, R.J., Ditunno, J.F., Jr., Donovan, W.H. and Maynard, F., Jr. (1999). Neurologic recovery after traumatic spinal cord injury: data from the Model Spinal Cord Injury Systems. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 80, 1391-1396.
61. Wilson, J.R., Grossman, R.G., Frankowski, R.F., Kiss, A., Davis, A.M., Kulkarni, A.V., Harrop, J.S., Aarabi, B., Vaccaro, A., Tator, C.H., Dvorak, M., Shaffrey, C.I., Harkema, S., Guest, J.D. and Fehlings, M.G. (2012). A clinical prediction model for long-term functional outcome after traumatic spinal cord injury based on acute clinical and imaging factors. *Journal of neurotrauma* 29, 2263-2271.
62. van Middendorp, J.J., Hosman, A.J., Donders, A.R., Pouw, M.H., Ditunno, J.F., Jr., Curt, A., Geurts, A.C., Van de Meent, H. and Group, E.-S.S. (2011). A clinical prediction rule for ambulation outcomes after traumatic spinal cord injury: a longitudinal cohort study. *Lancet* 377, 1004-1010.
63. Geisler, F.H., Coleman, W.P., Grieco, G., Poonian, D. and Sygen Study, G. (2001). The Sygen multicenter acute spinal cord injury study. *Spine* 26, S87-98.
64. Cao, Y., Krause, J.S. and Dipiro, N. (2013). Risk factors for mortality after spinal cord injury in the USA. *Spinal cord*.
65. Cardenas, D.D., Hoffman, J.M., Kirshblum, S. and McKinley, W. (2004). Etiology and incidence of rehospitalization after traumatic spinal cord injury: a multicenter analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 85, 1757-1763.
66. Grossman, R.G., Frankowski, R.F., Burau, K.D., Toups, E.G., Crommett, J.W., Johnson, M.M., Fehlings, M.G., Tator, C.H., Shaffrey, C.I., Harkema, S.J., Hodes, J.E., Aarabi, B., Rosner, M.K., Guest, J.D. and Harrop, J.S. (2012). Incidence and severity of acute complications after spinal cord injury. *Journal of neurosurgery. Spine* 17, 119-128.
67. Wilson, J.R., Arnold, P.M., Singh, A., Kalsi-Ryan, S. and Fehlings, M.G. (2012). Clinical prediction model for acute inpatient complications after traumatic cervical spinal cord injury: a subanalysis from the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study. *Journal of neurosurgery. Spine* 17, 46-51.
68. Berlly, M. and Shem, K. (2007). Respiratory management during the first five days after spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine* 30, 309-318.
69. Siroky, M.B. (2002). Pathogenesis of bacteriuria and infection in the spinal cord injured patient. *The American journal of medicine* 113 Suppl 1A, 67S-79S.
70. Waites, K.B., Canupp, K.C., Chen, Y., DeVivo, M.J. and Moser, S.A. (2001). Bacteremia after spinal cord injury in initial versus subsequent hospitalizations. *The journal of spinal cord medicine* 24, 96-100.
71. Esclarin De Ruz, A., Garcia Leoni, E. and Herruzo Cabrera, R. (2000). Epidemiology and risk factors for urinary tract infection in patients with spinal cord injury. *The Journal of urology* 164, 1285-1289.
72. Cardenas, D.D. and Hooton, T.M. (1995). Urinary tract infection in persons with spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 76, 272-280.
73. Waites, K.B., Canupp, K.C. and DeVivo, M.J. (1993). Epidemiology and risk factors for urinary tract infection following spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 74, 691-695.
74. Newman, E. and Price, M. (1977). Bacteriuria in patients with spinal cord lesions: its relationship to urinary drainage appliances. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 58, 427-430.

75. Idowu, O.K., Yinusa, W., Gbadegesin, S.A. and Adebule, G.T. (2011). Risk factors for pressure ulceration in a resource constrained spinal injury service. *Spinal cord* 49, 643-647.
76. McKinley, W., Meade, M.A., Kirshblum, S. and Barnard, B. (2004). Outcomes of early surgical management versus late or no surgical intervention after acute spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 85, 1818-1825.
77. McInnes, E., Jammali-Blasi, A., Bell-Syer, S.E., Dumville, J.C. and Cullum, N. (2011). Support surfaces for pressure ulcer prevention. *The Cochrane database of systematic reviews*, CD001735.
78. Salzberg, C.A., Byrne, D.W., Cayten, C.G., van Niewerburgh, P., Murphy, J.G. and Viehbeck, M. (1996). A new pressure ulcer risk assessment scale for individuals with spinal cord injury. *American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists* 75, 96-104.
79. (1989). Pressure ulcers prevalence, cost and risk assessment: consensus development conference statement--The National Pressure Ulcer Advisory Panel. *Decubitus* 2, 24-28.
80. Gillespie, B.M., Chaboyer, W.P., McInnes, E., Kent, B., Whitty, J.A. and Thalib, L. (2014). Repositioning for pressure ulcer prevention in adults. *The Cochrane database of systematic reviews* 4, CD009958.
81. Waring, W.P. and Karunas, R.S. (1991). Acute spinal cord injuries and the incidence of clinically occurring thromboembolic disease. *Paraplegia* 29, 8-16.
82. Geerts, W.H., Bergqvist, D., Pineo, G.F., Heit, J.A., Samama, C.M., Lassen, M.R., Colwell, C.W. and American College of Chest, P. (2008). Prevention of venous thromboembolism: American College of Chest Physicians Evidence-Based Clinical Practice Guidelines (8th Edition). *Chest* 133, 381S-453S.
83. Furlan, J.C. and Fehlings, M.G. (2007). Role of screening tests for deep venous thrombosis in asymptomatic adults with acute spinal cord injury: an evidence-based analysis. *Spine* 32, 1908-1916.
84. Dimar, J.R., Fisher, C., Vaccaro, A.R., Okonkwo, D.O., Dvorak, M., Fehlings, M., Rampersaud, R. and Carreon, L.Y. (2010). Predictors of complications after spinal stabilization of thoracolumbar spine injuries. *The Journal of trauma* 69, 1497-1500.
85. McHenry, T.P., Mirza, S.K., Wang, J., Wade, C.E., O'Keefe, G.E., Dailey, A.T., Schreiber, M.A. and Chapman, J.R. (2006). Risk factors for respiratory failure following operative stabilization of thoracic and lumbar spine fractures. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 88, 997-1005.
86. Aarabi, B., Harrop, J.S., Tator, C.H., Alexander, M., Dettori, J.R., Grossman, R.G., Fehlings, M.G., Mirvis, S.E., Shanmuganathan, K., Zacherl, K.M., Burau, K.D., Frankowski, R.F., Toups, E., Shaffrey, C.I., Guest, J.D., Harkema, S.J., Habashi, N.M., Andrews, P., Johnson, M.M. and Rosner, M.K. (2012). Predictors of pulmonary complications in blunt traumatic spinal cord injury. *Journal of neurosurgery. Spine* 17, 38-45.
87. Lee, M.J., Konodi, M.A., Cizik, A.M., Bransford, R.J., Bellabarba, C. and Chapman, J.R. (2012). Risk factors for medical complication after spine surgery: a multivariate analysis of 1,591 patients. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* 22, 197-206.
88. Stein, D.M., Menaker, J., McQuillan, K., Handley, C., Aarabi, B. and Scalea, T.M. (2010). Risk factors for organ dysfunction and failure in patients with acute traumatic cervical spinal cord injury. *Neurocritical care* 13, 29-39.

89. Markandaya, M., Stein, D.M. and Menaker, J. (2012). Acute Treatment Options for Spinal Cord Injury. *Current treatment options in neurology*.
90. (2002). Blood pressure management after acute spinal cord injury. *Neurosurgery* 50, S58-62.
91. Parent, S., Barchi, S., LeBreton, M., Casha, S. and Fehlings, M.G. (2011). The impact of specialized centers of care for spinal cord injury on length of stay, complications, and mortality: a systematic review of the literature. *Journal of neurotrauma* 28, 1363-1370.
92. Vaccaro, A.R., Daugherty, R.J., Sheehan, T.P., Dante, S.J., Cotler, J.M., Balderston, R.A., Herbison, G.J. and Northrup, B.E. (1997). Neurologic outcome of early versus late surgery for cervical spinal cord injury. *Spine* 22, 2609-2613.
93. Cengiz, S.L., Kalkan, E., Bayir, A., Ilik, K. and Basefer, A. (2008). Timing of thoracolumbar spine stabilization in trauma patients; impact on neurological outcome and clinical course. A real prospective (rct) randomized controlled study. *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 128, 959-966.
94. Fehlings, M.G., Rabin, D., Sears, W., Cadotte, D.W. and Aarabi, B. (2010). Current practice in the timing of surgical intervention in spinal cord injury. *Spine* 35, S166-173.
95. Frangen, T.M., Ruppert, S., Muhr, G. and Schinkel, C. (2010). The beneficial effects of early stabilization of thoracic spine fractures depend on trauma severity. *The Journal of trauma* 68, 1208-1212.
96. Vaccaro, A.R., Lehman, R.A., Jr., Hurlbert, R.J., Anderson, P.A., Harris, M., Hedlund, R., Harrop, J., Dvorak, M., Wood, K., Fehlings, M.G., Fisher, C., Zeiller, S.C., Anderson, D.G., Bono, C.M., Stock, G.H., Brown, A.K., Kuklo, T. and Oner, F.C. (2005). A new classification of thoracolumbar injuries: the importance of injury morphology, the integrity of the posterior ligamentous complex, and neurologic status. *Spine* 30, 2325-2333.
97. Marshall, L.F., Knowlton, S., Garfin, S.R., Klauber, M.R., Eisenberg, H.M., Kopaniky, D., Miner, M.E., Tabbador, K. and Clifton, G.L. (1987). Deterioration following spinal cord injury. A multicenter study. *Journal of neurosurgery* 66, 400-404.
98. van Middendorp, J.J. (2012). Letter to the editor regarding: "Early versus delayed decompression for traumatic cervical spinal cord injury: results of the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS)". *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* 12, 540; author reply 541-542.
99. Coleman, W.P., Benzel, D., Cahill, D.W., Ducker, T., Geisler, F., Green, B., Gropper, M.R., Goffin, J., Madsen, P.W., 3rd, Maiman, D.J., Ondra, S.L., Rosner, M., Sasso, R.C., Trost, G.R. and Zeidman, S. (2000). A critical appraisal of the reporting of the National Acute Spinal Cord Injury Studies (II and III) of methylprednisolone in acute spinal cord injury. *Journal of spinal disorders* 13, 185-199.
100. Sayer, F.T., Kronvall, E. and Nilsson, O.G. (2006). Methylprednisolone treatment in acute spinal cord injury: the myth challenged through a structured analysis of published literature. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society* 6, 335-343.
101. Merriam, W.F., Taylor, T.K., Ruff, S.J. and McPhail, M.J. (1986). A reappraisal of acute traumatic central cord syndrome. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 68, 708-713.
102. Lenehan, B., Fisher, C.G., Vaccaro, A., Fehlings, M., Aarabi, B. and Dvorak, M.F. (2010). The urgency of surgical decompression in acute central cord injuries with spondylosis and without instability. *Spine* 35, S180-186.

103. Dahdaleh, N.S., Lawton, C.D., El Ahmadieh, T.Y., Nixon, A.T., El Tecele, N.E., Oh, S., Fessler, R.G. and Smith, Z.A. (2013). Evidence-based management of central cord syndrome. *Neurosurgical focus* 35, E6.
104. Yoshihara, H. and Yoneoka, D. (2013). Trends in the treatment for traumatic central cord syndrome without bone injury in the United States from 2000 to 2009. *The journal of trauma and acute care surgery* 75, 453-458.
105. Rahimi-Movaghar, V., Saadat, S., Vaccaro, A.R., Ghodsi, S.M., Samadian, M., Sheykhmozaafari, A., Safdari, S.M. and Keshmirian, B. (2009). The efficacy of surgical decompression before 24 hours versus 24 to 72 hours in patients with spinal cord injury from T1 to L1--with specific consideration on ethics: a randomized controlled trial. *Trials* 10, 77.

## **Liste d'Abréviations**

ASIA : American Spinal Injury Association

LMT : Lésion Médullaire

CCI : Charlson Comorbidity Index

CS : Cortico Stéroïdes

GCS : Glasgow Coma Scale

ISS : Injury Severity Score

NASCIS : National Acute Spinal Cord Injury Study

NIRRU : Niveau d'Intensité Relative des Ressources Utilisées

SII : Surgical Invasiveness Index

STASCIS : Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study

TCC : Traumatisme Crânien Cérébral

# Annexes

## Annexe 1 : American Spinal Injury Association Classification of Spinal Cord Injury

Patient Name \_\_\_\_\_  
 Examiner Name \_\_\_\_\_ Date/Time of Exam \_\_\_\_\_

**ASIA** INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL **ISCOS**  
 AMERICAN SPINAL INJURY ASSOCIATION CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY

**MOTOR**  
KEY MUSCLES  
*(scoring on reverse side)*

	R	L	
C5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elbow flexors
C6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wrist extensors
C7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Elbow extensors
C8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Finger flexors (distal phalanx of middle finger)
T1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Finger abductors (little finger)

UPPER LIMB TOTAL (MAXIMUM)  +  =   
 (25) (25) (50)

Comments:

L2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hip flexors
L3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Knee extensors
L4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ankle dorsiflexors
L5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Long toe extensors
S1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ankle plantar flexors

(VAC) Voluntary anal contraction (Yes/No)

LOWER LIMB TOTAL (MAXIMUM)  +  =   
 (25) (25) (50)

**LIGHT TOUCH**      **PIN PRICK**

	R	L	R	L
C2				
C3				
C4				
C5				
C6				
C7				
C8				
T1				
T2				
T3				
T4				
T5				
T6				
T7				
T8				
T9				
T10				
T11				
T12				
L1				
L2				
L3				
L4				
L5				
S1				
S2				
S3				
S4-5				

TOTALS  +  =        +  =   
 (MAXIMUM) (56) (56)      (56) (56)

**SENSORY**  
KEY SENSORY POINTS

0 = absent  
 1 = altered  
 2 = normal  
 NT = not testable

(DAP) Deep anal pressure (yes/No)

PIN PRICK SCORE (max: 112)   
 LIGHT TOUCH SCORE (max: 112)

• Key Sensory Points

**NEUROLOGICAL LEVEL**  
The most caudal segment with normal function

**SINGLE NEUROLOGICAL LEVEL**

**COMPLETE OR INCOMPLETE?**   
Incomplete = Any sensory or motor function in S4-S5

**ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)**

**ZONE OF PARTIAL PRESERVATION** (in complete injuries only)  
Most caudal level with any innervation

**SENSORY MOTOR**

	R	L
SENSORY	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MOTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. REV 04/11

## Muscle Function Grading

- 0** = total paralysis
- 1** = palpable or visible contraction
- 2** = active movement, full range of motion (ROM) with gravity eliminated
- 3** = active movement, full ROM against gravity
- 4** = active movement, full ROM against gravity and moderate resistance in a muscle specific position.
- 5** = (normal) active movement, full ROM against gravity and full resistance in a muscle specific position expected from an otherwise unimpaired person.
- 5\*** = (normal) active movement, full ROM against gravity and sufficient resistance to be considered normal if identified inhibiting factors (i.e. pain, disuse) were not present.
- NT= not testable (i.e. due to immobilization, severe pain such that the patient cannot be graded, amputation of limb, or contracture of >50% of the range of motion).

## ASIA Impairment (AIS) Scale

- A = Complete.** No sensory or motor function is preserved in the sacral segments S4-S5.
- B = Sensory Incomplete.** Sensory but not motor function is preserved below the neurological level and includes the sacral segments S4-S5 (light touch, pin prick at S4-S5; or deep anal pressure (DAP)), AND no motor function is preserved more than three levels below the motor level on either side of the body.
- C = Motor Incomplete.** Motor function is preserved below the neurological level\*\*, and more than half of key muscle functions below the single neurological level of injury (NLI) have a muscle grade less than 3 (Grades 0-2).
- D = Motor Incomplete.** Motor function is preserved below the neurological level\*\*, and at least half (half or more) of key muscle functions below the NLI have a muscle grade  $\geq 3$ .
- E = Normal.** If sensation and motor function as tested with the ISNCSCI are graded as normal in all segments, and the patient had prior deficits, then the AIS grade is E. Someone without an initial SCI does not receive an AIS grade.

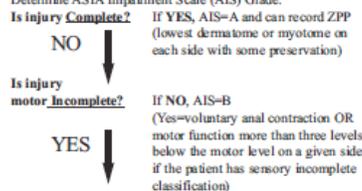
\*\*For an individual to receive a grade of C or D, i.e. motor incomplete status, they must have either (1) voluntary anal sphincter contraction or (2) sacral sensory sparing with sparing of motor function more than three levels below the motor level for that side of the body. The Standards at this time allow even non-key muscle function more than 3 levels below the motor level to be used in determining motor incomplete status (AIS B versus C).

NOTE: When assessing the extent of motor sparing below the level for distinguishing between AIS B and C, the *motor level* on each side is used, whereas to differentiate between AIS C and D (based on proportion of key muscle functions with strength grade 3 or greater) the *single neurological level* is used.

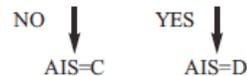
## Steps in Classification

The following order is recommended in determining the classification of individuals with SCI.

- Determine sensory levels for right and left sides.
- Determine motor levels for right and left sides.  
*Note: in regions where there is no myotome to test, the motor level is presumed to be the same as the sensory level, if testable motor function above that level is also normal.*
- Determine the single neurological level.  
*This is the lowest segment where motor and sensory function is normal on both sides, and is the most cephalad of the sensory and motor levels determined in steps 1 and 2.*
- Determine whether the injury is Complete or Incomplete. (i.e. absence or presence of sacral sparing)  
*If voluntary anal contraction = No AND all S4-5 sensory scores = 0 AND deep anal pressure = No, then injury is COMPLETE. Otherwise, injury is incomplete.*
- Determine ASIA Impairment Scale (AIS) Grade:



Are at least half of the key muscles below the single neurological level graded 3 or better?



If sensation and motor function is normal in all segments, AIS=E  
*Note: AIS E is used in follow-up testing when an individual with a documented SCI has recovered normal function. If at initial testing no deficits are found, the individual is neurologically intact; the ASIA Impairment Scale does not apply.*

**Annexe 2. Article 1: Complications in acute phase hospitalization of traumatic spinal cord injury: Does surgical timing matter?**

# Complications in acute phase hospitalization of traumatic spinal cord injury: Does surgical timing matter?

Étienne Bourassa-Moreau, MD, Jean-Marc Mac-Thiong, MD, PhD, Debbie Ehrmann Feldman, PhD, PT, Cynthia Thompson, PhD, and Stefan Parent, MD, PhD, Montréal, Canada

BACKGROUND:	Optimal timing of surgery after a traumatic spinal cord injury (SCI) is one of the most controversial subjects in spine surgery. We assessed the relationship between surgical timing and the occurrence of nonneurologic postoperative complications during acute hospital stay for patients with a traumatic SCI.
METHODS:	A retrospective cohort study was performed in a single institution. Four hundred thirty-one cases of traumatic SCI were reviewed, and postoperative complications were recorded from the medical charts. Patients were compared using two different surgical timing cutoffs (24 hours and 72 hours). Logistic regression analyses were modeled for complication occurrence. The effect of surgical timing on complication rate was adjusted for potential confounding variables such as the level of injury, American Spinal Injury Association (ASIA) grade, Injury Severity Score (ISS), age, sex, Charlson Comorbidity Index, and Surgical Invasiveness Index.
RESULTS:	Patients operated on earlier were younger, had less comorbidity, had a higher ISS, and were more likely to have a cervical lesion and a complete injury (ASIA A). A reduction in the global rate of complications as well as in the rate of pneumonias and pressure ulcers were predicted by surgery performed earlier than 72 hours and 24 hours. Increasing age, more severe ASIA grade, and cervical lesion as well as increased Charlson Comorbidity Index, ISS, and SII were also statistically related to the occurrence of complications.
CONCLUSION:	This study showed that a shorter surgical delay after a traumatic SCI decreases the rate of complications during the acute phase hospitalization. We suggest that patients with traumatic SCI should be promptly operated on earlier than 24 hours following the injury to reduce complications while optimizing neurologic recovery. If medical or practical reasons preclude timing less than 24 hours, efforts should still be made to perform surgery earlier than 72 hours following the SCI. ( <i>J Trauma Acute Care Surg.</i> 2013;74: 849Y854. Copyright * 2013 by Lippincott Williams & Wilkins)
LEVEL OF EVIDENCE:	Prognostic study, level III; therapeutic/care management study, level IV.
KEY WORDS:	Complications; spinal cord injury; surgical timing.

Optimal timing of surgery after traumatic spinal cord injury (SCI) is one of the most controversial subjects in spine surgery. The two main objectives of surgical intervention are to promote neurologic recovery and to stabilize the spine. Our understanding of SCI indicates that both primary mechanical compression of the spinal cord and secondary cascades of downstream events contribute to the neurologic injury. Preclinical studies suggest that neurologic recovery varies inversely with the time between the injury and the surgical decompression.<sup>1Y3</sup> A growing body of clinical literature also supports that surgery performed within the first 24 hours after trauma is associated with improved neurologic recovery.<sup>4Y9</sup>

Other authors have also evaluated the neurologic recovery with a surgery performed within 72 hours following the SCI as a cutoff for early surgery.<sup>10Y11</sup>

A major goal of early surgery is to allow for early mobilization, in an attempt to reduce the occurrence of complications caused by prolonged recumbency.<sup>4,11Y17</sup> McKinley et al.<sup>11</sup> studied the occurrence of deep venous thrombosis, pulmonary embolus (PE), pressure ulcer (PU), autonomic dysreflexia, pneumonia, and atelectasis during hospital stay after a SCI. They found pneumonia and atelectasis in 34.6% of patients operated on within 72 hours after trauma, whereas 45.4% of patients operated on later than 72 hours after the injury had sustained those complications. Croce et al.<sup>14</sup> found a statistically significant increase in the rate of pneumonia for patients who had a spinal trauma and were operated on less than 72 hours as compared with those who had their surgery later (21% and 33%, respectively). Oppositely, Kerwin et al.<sup>12</sup> compared patients with spine trauma operated on within and later than 72 hours after trauma and found a non-statistically significant increase in pneumonia rate with late surgery. Chipman et al.<sup>13</sup> studied the occurrence of infectious complications, respiratory failure, and any complications in a cohort of patient with thoracolumbar trauma. The impact of timing was significant for all complications for patients with severe trauma but not in the overall cohort. The surgical

Submitted: August 16, 2012, Revised: September 17, 2012, Accepted: September 19, 2012.

From the Faculty of Medicine (E.B.-M., J.-M.M.-T., D.F., S.P.), University of Montreal; Hôpital du Sacré-Coeur (E.B.-M., J.-M.M.-T., C.T., S.P.); CHU Sainte-Justine (J.-M.M.-T., S.P.); and Public Health Department (D.F.), Montreal, Canada.

This paper was presented in the following: American Spinal Injury Association 2012 Annual Meeting, Denver, Colorado, April 19, 2012; Rick Hansen Interdependence, Vancouver, Canada, May 12, 2012; and 19th International Meeting on Advanced Spine Techniques, Istanbul, Turkey, October 7, 2012.

Address for reprints: Jean-Marc Mac-Thiong, MD, PhD, Division of Orthopedic Surgery, Hôpital du Sacré-Coeur de Montréal 5400 Gouin Ouest, Montréal, Québec Canada H4J 1C5; [REDACTED]

timing in acute SCI study<sup>8</sup> (STASCIS) was designed to highlight neurologic improvement in cervical SCI with 24 hours as cutoff. A nonsignificant decrease in the global complication rate was observed in 131 patients operated on less than 24 hours following the injury, as compared with the rate found in the 91 patients operated on more than 24 hours after trauma (24.2% vs. 30.5%, respectively).

Other authors assessed the role of various predictors of complications in spine trauma, including patients with and without SCI. Dimar et al.<sup>18</sup> determined the predictors of postoperative complications in thoracolumbar spine injuries. American Spinal Injury Association (ASIA) grade, Charlson Comorbidity Index (CCI) and age were related to the occurrence of major complications, but the delay between injury and fusion surgery was not related. McHenry et al.<sup>19</sup> studied the risk factors for respiratory failure in 1,032 patients with a thoracolumbar spinal injury. Age (935 years), Injury Severity Score (ISS) (925), Glasgow Coma Scale (GCS) score (G12), blunt chest injury, and surgical stabilization performed more than 2 days after injury were identified as risk factors for respiratory failure. However, the presence of neurologic deficits was not a predictor for respiratory complications.

With various definitions of early surgery and the absence of studies specifically pertaining to nonneurologic SCI-related complications, the relationship between surgical timing and complications in that population still remains unclear. Unfortunately, no study specifically determined the role of surgical timing as a predictor of complications exclusively in a traumatic SCI using multivariate analyses.

The objective of this study was to assess the relationship between surgical timing and the rate of nonneurologic complications during acute hospital stay in patients with acute traumatic SCI associated with an unstable spine injury. More specifically, two cutoffs defining early surgery (G24 hours or G72 hours following the SCI) will be evaluated with regard to the occurrence of complications. A secondary goal was to identify other predictors of nonneurologic complications.

## PATIENTS AND METHODS

We performed a retrospective study of a prospective cohort of patients sustaining an acute traumatic SCI between April 2000 and March 2011 and treated in a single Level I trauma center. The study protocol has been approved by the institutional review board. Patients were identified using the Quebec Trauma Registry, which prospectively and systematically includes all patients that have been treated for a traumatic injury at a health care facility in the province of Quebec in Canada. Patients were included in our study if they fulfilled the following criteria:

- & Spinal fracture, dislocation or fracture-dislocation from C1 to L2;
- & Clinical evidence of SCI (ASIA A, B, C, and D);
- & Minimal age of 16 years; and
- & Spine surgery performed at our center.

Patients were excluded from our study if they had the following:

- & Penetrating trauma to the spine;
- & Nonsurgical management;
- & Central cord syndrome or absence of acute spine injury;
- & Unknown neurologic assessment; or
- & Associated neurologic disorders that preclude neurologic assessment including severe traumatic brain injury.

We included 431 of the 628 SCI patients in the Quebec Trauma Registry database. Among the 197 patients who were excluded, 165 had a central cord syndrome, 14 had severe traumatic brain injury (TBI), 6 had an undetermined ASIA grade, 1 patient had a penetrating spine trauma, and 11 patients had their surgery performed in another center. Demographic and clinical data of the entire group categorized by surgical timing groups are presented in Table 1.

## Variables

### Outcome

The dependent variable was the number of patients with any nonneurologic complications. A complication was defined as a disease or disorder occurring during the acute care hospitalization, which was not already present at the time of admission. The main complications studied were pneumonia, urinary tract infection (UTI), and PUs. Complications that occurred in less than 10% of patients were not included as individual categories but were instead classified altogether as other complications (PE, deep venous thrombosis, adult respiratory distress syndrome, atelectasis, ventilator failure, bronchospasm, septicemia, Clostridium difficile colitis, postoperative ileus, delirium, peptic ulcer disease, and surgical wound dehiscence). The complication rate refers to the number of patients for which the specified complication has occurred. The category “any complication” means that, whether a yes or a no, one patient sustained any complication. For instance, a patient sustaining UTI and PE is counted as one. The acute care hospitalization was the time between admission and

TABLE 1. Demographic and Clinical Variables

	G24 h	24Y72 h	972 h	Total	p
n	90	231	110	431	
Sex, % (n)	82.2 (74)	78.4 (181)	72.7 (80)	77.7 (335)	0.399
Age, mean (SD)	37.0 (15.9)	40.7 (17.3)	47.9 (18.0)	41.8 (17.6)	G10 <sup>†3</sup>
CCI, mean (SD)	0.10 (0.37)	0.19 (0.60)	0.38 (0.96)	0.22 (0.68)	0.011
ASIA grade, % (n)					
A	61.1 (55)	47.2 (109)	30.0 (33)	45.7 (197)	G10 <sup>†3</sup>
B	17.8 (16)	18.2 (42)	11.8 (13)	16.5 (71)	
C	8.9 (8)	16.5 (38)	13.6 (15)	14.2 (61)	
D	12.2 (11)	18.2 (42)	44.5 (49)	23.7 (102)	
Paraplegia, % (n)	67.8 (61)	56.3 (130)	32.7 (36)	52.7 (227)	G10 <sup>†3</sup>
TBI, % (n)	36.7 (33)	37.7 (76)	28.2 (31)	32.5 (140)	0.370
ISS, mean (SD)	28.2 (10.2)	26.6 (10.0)	23.5 (10.3)	26.2 (10.2)	0.003
SII, mean (SD)	12.5 (7.3)	12.7 (7.3)	10.9 (7.0)	12.2 (7.2)	0.101

Demographic and clinical characteristics of SCI patients depending on the surgical timing groups (mean [SD] for continuous variables; % (n) for categorical variables). p value represents the analysis of variance and W<sup>2</sup> test between the three timing groups (G24 hours, 24Y72 hours and 972 hours).

transfer to rehabilitation center. Criteria for transfer to rehabilitation were similar for all patients and were strictly respected. Patient's transfer occurred only after they were medically and psychologically stable with no surgery planned within the next 7 days.

### Exposure

The main independent variable was surgical timing, defined as the time between the accident and the skin incision. Timing information was collected from the medical charts. Each patient was assigned to one of three timing groups: less than 24 hours, 24 hours to 72 hours, and more than 72 hours.

### Confounding Variables

Patient-related confounding variables consisting of demographic and clinical characteristics that potentially affect the occurrence of complications<sup>18,21</sup> include age, sex, and CCI. The CCI was calculated by using algorithms from DRG International Classification of Diseases<sup>V9th Rev.</sup> and International Statistical Classification of Diseases<sup>V10th Rev.</sup> codes with the algorithm of Quan et al.<sup>22</sup> Injury-related confounding variables were neurologic level of injury (tetraplegia, C1 to T1; paraplegia, T2 to L1), severity of neurologic injury (Grade A to D from ASIA impairment scale), ISS, and the presence of mild or moderate TBI. We also adjusted for one treatment-related confounding variable specifically proposed to compare the rate of nonneurologic complications for patients undergoing spine surgery, namely, the Surgical Invasiveness Index (SII), which was specifically designed to measure the extent of a surgical procedure.<sup>23,24,25</sup>

### Statistical Methods

Demographic and clinical variables as well as the complication rates were compared in different groups with respect to surgical timing. We used two different surgical timing cut-offs (24 hours and 72 hours) since they reflect the two major trends in the clinical literature to define early spine surgery.<sup>7</sup> The differences between categorical variables were assessed with  $\chi^2$  tests, whereas differences in continuous variables were assessed with analysis of variance tests.

We used regression analyses to model the presence of complications as a function of the timing of surgery adjusted for the potential confounding variables described previously. Multivariate logistic regression analyses were separately performed for any complications, pneumonia, PU, and UTI. Logistic regression was not performed for death or complications classified as "other" because of their small number (G10%) and the heterogeneity of events occurring in these categories.

We used the backward elimination procedure, sequentially eliminating the variable associated with the highest p value after each iteration if the corresponding p value was greater than 0.05. Our model used the timing group more than 72 hours as the reference category compared with the timings less than 24 hours and 24 hours to 72 hours. For the ASIA grade, the ASIA D grade was used as the reference category.

All statistical analyses were performed with IBM SPSS Statistics 19 software for MAC (IBM, Chicago, IL). For all statistical tests, level of statistical significance was set at  $> G 0.05$ .

## RESULTS

Of the 431 patients, 90 were operated on within 24 hours, 231 between 24 hours and 72 hours, and 110 patients more than 72 hours after trauma. Patients operated on earlier were younger and had less comorbidity (lower CCI). Patients who underwent decompression surgery earlier tended to be paraplegic (as opposed to tetraplegic), were considered to be more severely injured (higher ISS), and had a more severe ASIA grade (Table 1). There were no differences in the other demographic and clinical variables with respect to surgical timing.

Table 2 describes complications in all timing groups. The total complication rate for all patients was 47.5%, indicating that 47.5% of patients had at least one complication. Statistical differences between complication rates from the univariate analyses were observed for pneumonia ( $p = 0.025$ ). There was a trend for an increase in PUs ( $p = 0.10$ ) with late timing.

Twelve patients died during the acute phase of hospitalization after surgery; three patients (3.3%) had their surgery within 24 hours after the injury, eight patients (3.5%) were operated on between 24 hours and 72 hours, and one patient was operated on more than 72 hours after trauma (0.9%). The difference in death rate between the three timing groups was not statistically significant ( $p = 0.393$ ).

The results from the multivariate logistic regression analysis are presented in Table 3. A decrease in the occurrence of any complications, pneumonia, and PU were predicted by surgical timing less than 24 hours and between 24 hours and 72 hours. Worsening ASIA grade and tetraplegia (as opposed to paraplegia) predicted the occurrence of all complications, pneumonia, and PU. ISS and SII predicted the occurrence of all complications and PUs. Age and CCI predicted the occurrence of pneumonia only. The occurrence of UTI was predicted by ASIA grade and higher ISS but not by surgical timing.

## DISCUSSION

This is the first study designed to assess the occurrence of complications in relation with surgical timing in traumatic SCI. We highlighted an increase in complications with late surgical timing, in agreement with previous studies on patients sustaining a vertebral trauma.

Clinical studies failed to demonstrate neurologic improvement with 72 hours as cutoff, most likely because this range

TABLE 2. Complication Occurrence in Timing Groups

	G24 h	24Y72 h	972 h	Total	p
n	90	231	110	431	
Any complication, % (n)	41.1 (37)	47.2 (109)	51.8 (57)	47.1 (203)	0.419
Pneumonia, % (n)	16.7 (15)	23.8 (55)	32.7 (36)	24.6 (106)	0.025
PU, % (n)	13.3 (12)	15.9 (37)	24.5 (27)	17.6 (76)	0.102
UTI, % (n)	20.0 (18)	23.8 (55)	25.5 (28)	23.4 (101)	0.709
Other, % (n)	12.2 (11)	15.9 (37)	16.5 (18)	15.3 (66)	0.656
Death, % (n)	3.3 (3)	3.5 (8)	0.9 (1)	2.8 (12)	0.393

Percentage and number of complications in the three timing groups.

TABLE 3. Logistic Regressions Models

All Complications		
	Odds Ratio	95% Confidence Interval
Timing G24 h	0.381*	0.195Y0.743
Timing 24Y72 h	0.536†	0.311Y0.925
Timing 972 h		Reference category
ASIA A	4.498‡	2.239Y9.034
ASIA B	5.283‡	2.555Y10.925
ASIA C	3.45*	1.642Y7.248
ASIA D		Reference category
Paraplegia	0.537†	0.338Y0.853
Tetraplegia		Reference category
ISS	1.036†	1.009Y1.063
SII	1.034†	1.003Y1.066
Pneumonia		
Timing G24 h	0.275*	0.121Y0.625
Timing 24Y72 h	0.473†	0.255Y0.877
Timing 972 h		Reference category
ASIA A	5.99‡	2.373Y15.11
ASIA B	9.192‡	3.546Y23.82
ASIA C	2.169	0.737Y6.382
ASIA D		Reference category
Paraplegia	0.262‡	0.147Y0.467
Tetraplegia		Reference category
ISS	1.051*	1.021Y1.083
SII	1.05†	1.014Y1.087
Age	1.017†	1.001Y1.032
CCI	1.409†	1.007Y1.971
PUs		
Timing G24 h	0.301*	0.133Y0.683
Timing 24Y72 h	0.406*	0.217Y0.761
Timing 972 h		Reference category
ASIA A	13.19‡	4.334Y40.18
ASIA B	11.74‡	3.581Y38.49
ASIA C	6.994*	2.019Y24.23
ASIA D		Reference category
Paraplegia	0.519†	0.298Y0.904
Tetraplegia		Reference category

Odd ratios with 95% confidence interval of variables predicting total complications, pneumonia, PUs, and UTIs.  
\*0.0005  $p \leq 0.005$ .  
†0.005  $p \leq 0.05$ .  
‡ $p \leq 0.0005$ .

(0Y72 hours) is too wide and therefore includes a group of patients that is too heterogeneous to be analyzed as a single group.<sup>10,11</sup> However, 72 hours as cutoff was beneficial for reducing complications in many clinical studies. This is why the current study distinguished between patients undergoing surgery before 24 hours or between 24 hours and 72 hours following the SCI. Analyzing surgical timing from three distinct groups enables to formulate specific clinical recommendations. Accordingly, this study showed that when compared with a surgical timing of 72 hours or more, the rate of com-

within the first 24 hours or between 24 hours and 72 hours after trauma).

Conducting studies in a single center may help minimize the variability in data compilation when compared with large multicenter studies. This represents a potential advantage of our study over multicenter studies with large number of patients. It can also contribute to the finding of increased complication rates with delayed surgery, as opposed to other multicenter studies that have not observed any influence of surgical timing on the occurrence of complications.<sup>8</sup>

This study is the first to determine the independent effect of surgical timing on complication rate exclusively in traumatic SCI. The adjustment for many confounding variables was neglected in most previous studies. Despite higher ISS and more severe neurologic trauma in the earlier surgical group, we found a trend in decreasing rate of complications in early surgical timing groups. However, surgical groups operated on less than 24 hours and 24 hours to 72 hours were also younger and had less comorbidity. This significant imbalance in demographic and clinical variables between timing groups justifies the need for a multivariate logistic regression model. In the logistic regression models, surgical timings of less than 24 hours and 24 hours to 72 hours were predictors of decreases in pneumonia, PUs, and global complications rates.

Shorter surgical timing most likely decreased complication occurrence by avoiding prolonged recumbence and by allowing earlier mobilization, pulmonary toilet, and physical therapy. In this study, predictors of UTI were the ISS, ASIA grade, but not surgical timing. It is well recognized that UTI occurrence is strongly associated with the use of urinary catheter. A more severe ASIA grade can be associated with urinary continence and often comes with the prolonged use of a urinary catheter. Severe polytrauma (high ISS) may also prolong the use of a urinary catheter. Withdrawal of the urinary catheter in SCI is probably not significantly affected by surgical timing.

We highlighted the importance of the severity (ASIA grade) and the level of SCI to predict any complications. In accordance with Dimar et al.<sup>18</sup> and McHenry et al.,<sup>19</sup> CCI and age were identified as predictors of pneumonia, while the severity of the trauma (ISS) predicted all complications and pneumonia. Pakzad et al.<sup>26</sup> studied a neurologically intact spinal multitrauma population and found that surgical timing, age, cervical fracture, and comorbidities were predictors of complications. Interestingly, the predictors of complications found in SCI were similar to predictors found in neurologically intact patients. Our study was the first to assess SII as a predictor of pneumonia. Since SII is a modifiable factor, as is surgical timing, future studies should compare the influence of different surgical options available for treating specific types of injuries, to decrease the rate of complications, while optimizing the neurologic recovery and decreasing the risk of revision surgery.

The aim of this study was to identify predictors of complications but not to identify subpopulations in which surgical timing may be harmful. Previous studies highlighted the safety of early surgery in subpopulations.<sup>5,6,27,28</sup> The safety of this intervention was confirmed in subpopulations stratified by age, neurologic injury, level of spinal injury, and

polytrauma.<sup>12,14,28</sup> Interestingly, patients with polytrauma (higher ISS) represent a subpopulation in which the nonneurologic benefits of early surgical timing were more evident.<sup>28,29</sup>

No statistical differences for the other complications and death rate were found in this study. Death rate was higher in patients operated within 72 hours of the injury, although it was not statistically significant. Patients who died were older and had more comorbidity. Their lesions were mostly cervical motor complete lesions.

Recent clinical evidence suggests that performing surgical decompression within the first 24 hours after the injury promotes neurologic improvement.<sup>4,8</sup> Accordingly, most spine surgeons recommend surgery within 24 hours of acute SCI.<sup>29</sup> Despite significant efforts, surgical timing less than 24 hours is often impossible to respect because of transfer delays to the specialized SCI center, unstable medical condition, and poor access to the operating room.<sup>8</sup> In this study, 79% of patients were operated on after 24 hours, including 54% of patients in the group having surgery between 24 hours and 72 hours after the injury. Indeed, this study shows that in practice, even if patients cannot undergo surgery earlier than 24 hours after the injury, efforts should be made to perform the surgery as early as possible. This recommendation comes from the fact that the group having surgery between 24 hours and 72 hours following the injury had less complications than the group undergoing surgery later than 72 hours following the SCI.

### Study Limitations

This study is retrospective and therefore potential biases in data collection may have occurred. However, it is important to mention that all variables included in the study (except surgical timing and SII) are collected routinely and prospectively for all patients sustaining a SCI at our institution.

The reason for surgical delay was not determined in the current study. Given the retrospective nature of the study, it is impossible to accurately determine if some medical conditions were considered contraindications for surgery by the trauma team. Surgical delay may be attributable to transport to trauma centre, medical stabilization, access to the operating theater, and surgeons' preferences. Further studies would be required to identify the precise reasons for delaying surgery in SCI population.

High-dose corticosteroid may be a risk factor for non-neurologic complications.<sup>16</sup> Administration of methylprednisolone was not accounted in this study because information on initial management in the reference center were lacking. In this study, only 8.6% of our patients were directly admitted in our center, whereas 91.4% were transferred from other centers, where they received initial management. NASCIS III protocol was routinely applied in our institution until the end of 2006, after which it was completely abandoned at our institution.

### CONCLUSION

Performing surgery within 72 hours after vertebral trauma decreased the occurrence of pneumonia, PUs, and any complication. Performing the surgery within 24 hours after the SCI further decreased the risk of complications. A more severe

neurologic impairment, severity of trauma, invasiveness of surgery, and a cervical lesion rather than a thoracolumbar injury were also associated with an increased complication rate. We found that surgical timing is a major modifiable risk factor associated with the complication rate after spinal surgery following an acute traumatic SCI owing to an unstable vertebral trauma. We recommend performing surgery of traumatic SCI within 24 hours to reduce complication rate and promote neurologic injury. When such timing is impossible to respect, surgery should still be performed earlier than 72 hours to reduce complication occurrence.

### AUTHORSHIP

E.B.-M., J.-M.M.-T., and D.F. designed this study. E.B.-M. and C.T. collected the data; E.B.-M. conducted the statistical analysis. All authors participated in writing the article, for which E.B.-M. prepared tables. J.-M.M.-T. and S.P. contributed funding.

### ACKNOWLEDGMENTS

We thank Valérie Desrosiers and Nicole Ste-Marie for their help in the data collection. The author wants to acknowledge the MENTOR program, a program from the Canadian Institute of Health Research.

### DISCLOSURE

No funding was received for this work from any of the following organizations: National Institutes of Health (NIH); Wellcome Trust; and the Howard Hughes Medical Institute (HHMI).

### REFERENCES

1. Carlson GD, Gorden CD, Oliff HS, Pillai JJ, LaManna JC. Sustained spinal cord compression: part I. Time-dependent effect on long-term pathophysiology. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85:86Y94.
2. Delamarter RB, Sherman J, Carr JB. Pathophysiology of spinal cord injury. Recovery after immediate and delayed decompression. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77:1042Y1049.
3. Dimar JR 2nd, Glassman SD, Raque GH, Zhang YP, Shields CB. The influence of spinal canal narrowing and timing of decompression on neurologic recovery after spinal cord contusion in a rat model. *Spine.* 1999; 24:1623Y1633.
4. Cengiz SL, Kalkan E, Bayir A, Ilik K, Basefer A. Timing of thoracolumbar spine stabilization in trauma patients; impact on neurological outcome and clinical course. A real prospective (RCT) randomized controlled study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128:959Y966.
5. McLain RF, Benson DR. Urgent surgical stabilization of spinal fractures in polytrauma patients. *Spine.* 1999;24:1646Y1654.
6. Papadopoulos SM, Selden NR, Quint DJ, Patel N, Gille-spie B, Grube S. Immediate spinal cord decompression for cervical spinal cord injury: feasibility and outcome. *J Trauma.* 2002;52:323Y332.
7. Furlan JC, Noonan V, Cadotte DW, Fehlings MG. Timing of decompressive surgery of spinal cord after traumatic spinal cord injury: an evidence-based examination of pre-clinical and clinical studies. *J Neurotrauma.* 2011;28:1371Y1399.
8. Fehlings MG, Vaccaro A, Wilson JR, Singh A, W Cadotte D, Harrop JS, Aarabi B, Shaffrey C, Dvorak M, Fisher C, et al. Early versus delayed decompression for traumatic cervical spinal cord injury: results of the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS). *PLoS One.* 2012;7:e32037.
9. Wilson JR, Singh A, Craven C, Verrier MC, Drew B, Ahn H, Ford M, Fehlings MG. Early versus late surgery for traumatic spinal cord injury: the results of a prospective Canadian cohort study. *Spinal Cord.* 2012;50:840Y843.

10. Vaccaro, A.R., Daugherty, R.J., Sheehan, T.P., Dante, S.J., Cotler, J.M., Northrup, B.E. et al Neurologic outcome of early versus late surgery for cervical spinal cord injury. *Spine*. 1997;22:2609Y2613.
11. McKinley W, Meade MA, Kirshblum S, Barnard, B. Outcomes of early surgical management versus late or no surgical intervention after acute spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85:1818Y1825.
12. Kerwin AJ, Griffen MM, Tepas JJ 3rd, Schinco MA, Devin T, Frykberg ER. Best practice determination of timing of spinal fracture fixation as defined by analysis of the National Trauma Data Bank. *J Trauma*. 2008; 65:824Y830.
13. Chipman JG, Deuser WE, Beilman GJ. Early surgery for thoracolumbar spine injuries decreases complications. *J Trauma*. 2004;56:52Y57.
14. Croce MA, Bee TK, Pritchard E, Miller PR, Fabian TC. Does optimal timing for spine fracture fixation exist? *Ann Surg*. 2001;233:851Y858.
15. Mirza SK, Krengel WF 3rd, Chapman JR, Anderson PA, Bailey JC, Grady MS, Yuan HA. Early versus delayed surgery for acute cervical spinal cord injury. *Clin Orthop Relat Res*. 1999;359:104Y114.
16. Kerwin AJ, Frykberg ER, Schinco MA, Griffen MM, Murphy T, Tepas JJ. The effect of early spine fixation on non-neurologic outcome. *J Trauma*. 2005;58:15Y21.
17. Schinkel C, Frangen TM, Kmetc A, Andress HJ, Muhr G, German Trauma Registry. Timing of thoracic spine stabilization in trauma patients: impact on clinical course and outcome. *J Trauma*. 2006;61:156Y160; discussion 160.
18. Dimar JR, Fisher C, Vaccaro AR, Okonkwo DO, Dvorak M, Fehlings M, Rampersaud R, Carreon LY. Predictors of complications after spinal stabilization of thoracolumbar spine injuries. *J Trauma*. 2010;69:1497Y1500.
19. McHenry TP, Mirza SK, Wang J, Wade CE, O'Keefe GE, Dailey AT, Schreiber MA, Chapman JR. Risk factors for respiratory failure following operative stabilization of thoracic and lumbar spine fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88:997Y1005.
20. Furlan JC, Fehlings MG. The impact of age on mortality, impairment, and disability among adults with acute traumatic spinal cord injury. *J Neurotrauma*. 2009;26:1707Y1717.
21. Lee MJ, Konodi MA, Cizik AM, Bransford RJ, Bellabarba C, Chapman JR. Risk factors for medical complication after spine surgery: a multivariate analysis of 1,591 patients. *Spine J*. 2012;12:197Y206.
22. Quan H, Sundararajan V, Halfon P, Fong A, Burnand B, Ghali WA, et al. Coding algorithms for defining comorbidities in ICD-9-CM and ICD-10 administrative data. *Med Care*. 2005;43:1130Y1139.
23. Mirza SK, Deyo RA, Heagerty PJ, Konodi MA, Lee LA, Turner JA, Goodkin R. Development of an index to characterize the "invasiveness" of spine surgery: validation by comparison to blood loss and operative time. *Spine*. 2008;33:2651Y2661.
24. Cizik AM, Lee MJ, Martin BI, Bransford RJ, Bellabarba C, Chapman JR, Mirza SK. Using the spine Surgical Invasiveness Index to identify risk of surgical site infection: a multivariate analysis. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94:335Y342.
25. Mirza SK, Deyo RA, Heagerty PJ, Turner JA, Lee LA, Goodkin R. Towards standardized measurement of adverse events in spine surgery: conceptual model and pilot evaluation. *BMC Musculoskelet Disord*. 2006;7:53.
26. Pakzad H, Roffey DM, Knight H, Dagenais S, Yelle JD, Wai EK. Delay in operative stabilization of spine fractures in multitrauma patients without neurologic injuries: effects on outcomes. *Can J Surg*. 2011;54:270Y276.
27. Fehlings MG, Perrin RG. The timing of surgical intervention in the treatment of spinal cord injury: a systematic review of recent clinical evidence. *Spine*. 2006;15:S28YS35.
28. Frangen TM, Ruppert S, Muhr G, Schinkel C. The beneficial effects of early stabilization of thoracic spine fractures depend on trauma severity. *J Trauma*. 2010; 68:1208Y1212.
29. Fehlings MG, Rabin D, Sears W, Cadotte DW, Aarabi B. Current practice in the timing of surgical intervention in spinal cord injury. *Spine*. 2010;35:S166YS173.

**Annexe 3. Article 2 Non-Neurological Outcomes after Complete Traumatic Spinal  
Cord Injury: The Impact of Surgical Timing**

# Non-Neurological Outcomes after Complete Traumatic Spinal Cord Injury: The Impact of Surgical Timing

Étienne Bourassa-Moreau,<sup>1,2</sup> Jean-Marc Mac-Thiong,<sup>1-3</sup> Debbie Ehrmann Feldman,<sup>4</sup> Cynthia Thompson,<sup>2</sup> and Stefan Parent<sup>1-3</sup>

## Abstract

It remains unclear whether the benefits of early surgical timing are significant in neurologically complete spinal cord injury (SCI). We wanted to compare the effects of early and late surgical timing on non-neurological outcomes in persons with traumatic complete SCI. All cases of traumatic complete SCI referred to a single institution between 2000 and 2011 were retrospectively reviewed. The occurrence of pneumonia, urinary tract infection (UTI), pressure ulcer (PU), and all other postoperative complications were recorded. Cost of acute hospitalization was calculated for each patient based on administrative data. Patients operated on within 24 h of the trauma were compared with patients operated on later than 24 h after the trauma. The effects of surgical timing on complication rate and cost of hospitalization were adjusted for potential confounding variables using multiple regression analyses. Fifty-five patients were operated on ≤ 24 h from injury and 142 were operated on > 24 h from injury. Baseline demographic and clinical variables were comparable between the two groups. Pneumonia, UTI, and the presence of any complications were significantly higher in the group operated on > 24 h post-trauma. Cost of hospitalization was higher among patients operated > 24 h post-trauma (£ 24 h: 22,828\$ vs. > 24 h: 29,714\$). Surgical timing > 24 h was a predictor of pneumonia, UTI, total complications, and higher cost of hospitalization after controlling for other confounding variables. This study shows that surgical decompression and stabilization ≤ 24 h following a complete SCI may be a cost-effective strategy to reduce the postoperative complication rate.

**Key words:** American Spinal Injury Association grade A; complete SCI; complications; SCI; surgical timing

## Introduction

Evidence suggests that persons who sustain complete interruption in motor and sensory function in spinal cord injury (SCI) have a limited potential for neurological recovery, even with early surgical decompression. In a rat model, more severe spinal cord compression led to poorer neurological recovery, even if immediate surgical decompression was performed.<sup>1</sup> Clinical studies on the natural history of SCI also suggested that complete SCI has poorer neurological improvement than incomplete SCI. Zariffa and colleagues<sup>2</sup> found that only 3% of patients with complete SCI gained a functional level below the initial lesion. Fawcett and colleagues<sup>3</sup> suggested that 80% of patients with complete SCI initially classified as grade A using the American Spinal Injury Association (ASIA) impairment scale remained grade A 1 year after the initial trauma. In comparison, up to 80% of patients with incomplete SCI classified as ASIA grade B or C improved by at least one grade 1 year post-injury.<sup>3</sup>

Some studies suggested that surgical treatment provided no benefits regarding neurological recovery in complete SCI.<sup>4-6</sup> Therefore, some clinicians may choose to perform surgical decompression earlier in patients with incomplete SCI than in those with complete SCI.<sup>7</sup>

Much emphasis is put on neurological recovery to justify interventions in SCI. On the other hand, non-neurological outcomes such as complications and cost are important considerations as well. Prevention of complications is a major goal of SCI management, especially during the acute hospitalization phase.<sup>8-10</sup> With traumatic SCI, the effect of surgical timing on complications in patients remains controversial, although recent studies tend to recommend early surgery.<sup>11-13</sup> A recent study identified surgical timing as a predictor of complications<sup>14</sup> after traumatic SCI, but the authors did not specifically investigate the effect of early surgical intervention on complication occurrence in a uniquely complete SCI population.

<sup>1</sup>Faculty of Medicine, and <sup>4</sup>École de Réadaptation, University of Montreal, Montreal, Canada.

<sup>2</sup>Hôpital du Sacré-Coeur, Montreal, Canada.

<sup>3</sup>CHU Sainte-Justine, Montreal, Canada.

Previous reports have suggested a decrease in cost of hospitalization with early surgery for traumatic SCI.<sup>10,11,15</sup> Mac-Thiong and colleagues<sup>15</sup> assessed the influence of surgical delay on acute hospitalization cost using logistical regression analyses, and found that surgical timing >24 h post-injury and ASIA grade were significant predictors of hospitalization cost. However, no previous studies specifically studied the cost of hospitalization in a neurologically complete SCI population.

The aim of this study was to assess the effect of surgical timing on non- neurological complications and cost of health care during acute hospitalization stay following a complete SCI.

Our hypothesis was that surgical intervention  $\leq$  24 h after traumatic complete SCI decreased the complication rate and cost of hospitalization compared with surgery performed > 24 h following the SCI.

## Methods

We studied a cohort of patients who sustained an acute traumatic SCI between April 1, 2000 and March 31, 2011, and were treated in the Hôpital du Sacré-Coeur de Montreal, a level I trauma center specializing in SCI care. The Institutional Review Board approved the study protocol. Patients were identified using the Quebec Trauma Registry, which prospectively registers all patients who have been treated for a traumatic injury at any acute health care facility in the province of Quebec in Canada. Cases were included in our study if they fulfilled the following criteria:

- Spinal fracture, dislocation or fracture-dislocation from C1 to L2
- Clinical evidence of complete SCI classified as ASIA grade A at the preoperative assessment
- Minimal age of 16 years
- Spine surgery performed at our center

Patients were excluded from our study if they had:

- Penetrating trauma to the spine
- Nonsurgical management
- Pre-existing or associated neurological disorders (including severe but not mild or moderate traumatic brain injury [TBI]) that preclude a reliable neurological assessment preoperatively in relationship to the SCI

Our cohort consisted of 197 patients from the 208 complete SCI cases found in the Quebec Trauma Registry database. Among the 11 patients who were excluded, 6 had severe TBI, 1 had a penetrating SCI, and 4 had had their surgery performed in another center. Demographic and clinical characteristics of patients are presented in Table 1.

## Outcomes

The primary dependent variable was the occurrence of a non-neurological complication during the acute care hospitalization that was not present prior to the SCI. The main complications studied were: pneumonia, urinary tract infection (UTI), and pressure ulcers (PU). The presence of a complication was based on the clinical evaluation of the multidisciplinary medical team (intensive care, spine surgery, physical medicine, and rehabilitation) in charge of SCI patients at our institution. For the diagnosis of UTI, the microbiology guidelines in our institution specify that bacteriuria must be associated with symptoms of urinary infection (incontinence, increased spasticity, autonomic dysreflexia) or systemic symptoms (fever, general discomfort). Complications that occurred in < 10% of patients were not considered as individual categories but were instead classified all together as other complications (pulmonary embolus, deep venous thrombosis, acute respiratory distress syndrome [ARDS], atelectasis, ventilator failure, bronchospasm, septicemia, Clostridium difficile colitis, postoperative ileus, delirium, peptic ulcer disease, and surgical wound dehiscence), and considered in the calculation of the total complication rate. The rates of pneumonia, UTI, and PU refer to the proportion of patients for whom the specific complication occurred. The total rate of complications refers to the proportion of patients who sustained at least one complication of any type.

The cost related to the acute hospitalization episode was considered as the secondary dependent variable. Transfer to intensive functional rehabilitation was based on similar criteria for all patients, and occurred only after they were medically and psychologically stable with no surgery planned within the next 7 days. Cost related to the acute care hospitalization was estimated based on the "Niveau d'intensité relative des ressources utilisées" (NIRRU) [Relative intensity level of resources used] retrieved from the hospital administrative database.<sup>16</sup> Previous studies have already used this index to estimate resource utilization and cost associated with different groups of patients.<sup>17-21</sup> This index is specific to the province of Quebec, but is similar to the Resource

Table 1. Demographic and Clinical Characteristics of the Complete Cohort and of Patients Categorized Based on the Surgical Timing ( $\leq$  24h vs. >24h After SCI)

Timing	$\leq$ 24h	>24h	Total	p value
n	55	142	197	
Sex(male)	89% (49)	82% (116)	84% (165)	0.28
Age (years)	36.4–14.5	40.4–16.2	39.3–15.8	0.11
CCI	0.16–0.46	0.24–0.79	0.22–0.72	0.51
TBI	42% (23)	39% (56)	40% (79)	0.87
Neurological level				0.145
C1-C4	11% (6)	11% (15)	11% (21)	
C5-T1	18% (10)	25% (36)	23% (46)	
T2-T10	31% (17)	40% (57)	38% (74)	
T11-S1	40% (22)	24% (34)	28% (56)	
ISS	32.6–8.7	32.5–8.5	32.9–9.6	0.75
SII	13.8–7.7	14.2–7.9	12.6–7.1	0.19
Delay(h)	17.6–5.0	67.3–92.1	53.5–81.3	p<0.001
Cost(\$CAD)	22,828–16,098	29,714–19,433	27,792–18,779	0.01

SCI, spinal cord injury; CCI, Charlson Comorbidity Index; TBI, mild and moderate traumatic brain injury; ISS, Injury Severity Score; SII, Surgical Invasiveness Index; Cost, cost of hospitalization.

Intensity Weights (RIW)<sup>22</sup> used in other provinces in order to assess the resources dedicated to specific diagnosis-related groups of hospitalized patients. The NIRRU index is based on the Maryland cost index after adjusting for conditions particular to Quebec, in order to account for the longer length of stay in Quebec as compared with Maryland. The NIRRU encompasses all resources involved during the hospitalization, excluding physician fees. From the NIRRU index, cost (in 2011 Canadian \$) were derived after adjusting for the patient's clinical condition, risk of mortality, and resource use (diagnostic and therapeutic), as well as for the additional cost related to the teaching involved at our university-affiliated hospital. Cost was then adjusted according to the Canadian average rate of inflation between the year of hospitalization for each patient and 2011.

### Surgical timing

The main independent variable was surgical timing, defined as the time between the accident and the surgery. Timing information was collected from the medical charts. Each patient was assigned to one of two timing groups:  $\leq 24$  h or  $> 24$  h following the traumatic SCI. Such grouping of patients was selected because of the increasing trend among spine surgeons to perform early surgery within 24 h following the SCI, and the fact that a threshold of 24 h is often proposed as a realistic time frame during which early surgery can be performed, considering the delays associated with transfer to a specialized SCI center, patient evaluation, and access to the operating room.

### Confounding variables

Patient-related confounding variables consisted of demographic and clinical characteristics that potentially affected the occurrence of complications, and included age, sex, and the Charlson Comorbidity Index (CCI).<sup>23-26</sup> The CCI was calculated by using algorithms from International Classification of Diseases, Ninth and Tenth revision codes with Quan and Deyo's algorithm.<sup>27</sup> Injury-related confounding variables were: neurological level of injury (tetraplegia: C1 to T1 vs. paraplegia: T2 to L2), injury severity score (ISS), and the presence of mild or moderate TBI. We also adjusted for one treatment-related potential confounding variable, the surgical invasiveness index (SII), which was specifically designed to measure the extent of a surgical procedure.<sup>28,29</sup>

### Statistical analysis

All statistical analyses were performed with IBM SPSS Statistics 19 (Chicago, IL). For all statistical tests, the level of statistical significance was set at an  $\alpha$  of 0.05. Demographic, clinical variables as well as the complication rates were compared between the two surgical timing groups. Comparisons were assessed with  $\chi^2$  tests for categorical variables. For comparison of continuous variables, the Student *t* test was used. We used logistical regression analyses to model the presence of complications as a function of the timing of surgery ( $\leq 24$  h vs  $> 24$  h following the trauma) adjusted for the potential confounding variables described previously. Multivariate binary logistic regression analyses were separately performed for total complications, as well as for the specific rates of pneumonia, PU, and UTI. Linear regression analysis was performed to determine the association between cost of hospitalization and surgical timing, while taking into account potential confounding variables.

We used the backward elimination procedure, sequentially eliminating the variable associated with the highest *p* value after each iteration if the corresponding *p* value was  $> 0.05$ .

### Results

Fifty-five (28%) of the 197 patients were operated on  $\leq 24$  h post-injury and the remaining 142 patients (72%) had their surgery  $> 24$  h after the trauma. None of the sociodemographic and clinical

Table 2. Complication and Death Rates for the Complete Cohort and for Patients Categorized Based on the Surgical Timing ( $\leq 24$  h vs.  $> 24$  h after SCI)

Timing	$\leq 24$ h	$> 24$ h	Total	<i>p</i> value
<i>n</i>	55	142	197	
Total	42%(23)	63%(89)	57%(112)	0.01
Pneumonia	20%(11)	36%(51)	31%(62)	0.04
PU	16%(9)	25%(35)	22%(44)	0.255
UTI	15%(8)	30%(42)	25%(50)	0.03
Death	4%(2)	3%(4)	3%(6)	0.672

SCI, spinal cord injury; PU, pressure ulcer; UTI, urinary tract infection.

variables showed statistically significant differences between the two surgical timing groups (Table 1). The level of injury was classified as high cervical (C1-C4), low cervical (C5-T1), high thoracic (T2-T10) and low thoracic (T11-S1), and was statistically similar in the two groups. The mean time elapsed between trauma and surgical intervention differed by 49.7 h between the two groups ( $p < 0.001$ ). The cost of hospitalization was significantly lower (6886\$ difference) for patients operated  $\leq 24$  h after trauma than for patients operated later (22,828 – 16,098\$ vs. 29,714 – 19,433\$).

Table 2 describes the complication and death rates in the two timing groups. The total complication rate indicates that 57% of patients had at least one complication. The rate of total complications, pneumonia, and UTI were significantly lower in patients operated  $\leq 24$  h after injury whereas the rate of PU was not statistically different between the two groups.

Thirty-nine complications classified as other were found in 35 (18%) of patients. These complications were acute bronchitis (14 patients), ARDS (9 patients), *C. difficile* colitis (3 patients), pleural effusion (2 patients), acute pulmonary edema (2 patients), spontaneous pneumothorax (2 patients), wound infection (2 patients), delirium (2 patients), pulmonary embolus (1 patient), atrial fibrillation (1 patient), and acute renal failure (1 patient).

A total of six patients died during acute hospitalization; two patients (4%) were operated within the first 24 h post-trauma and four patients (3%) had their surgery later. Two patients with C4 and two with C6 SCI refused active care and died of respiratory failure soon after ventilator support was withdrawn. We could not retrieve the medical charts and determine the cause of death of the two other deceased patients.

Multivariate logistical regression analyses for prediction of complications are presented in Table 3. For the occurrence of total complications, surgical timing  $> 24$  h, tetraplegia, and ISS were significant predictors. For the occurrence of pneumonia, surgical timing  $> 24$  h, tetraplegia, ISS, and age were significant predictors. For the occurrence of PU, tetraplegia and SII were significant predictors. For the occurrence of UTI; surgical timing  $> 24$  h and SII were significant predictors.

Timing  $> 24$  h was an independent predictor of a 3777\$ increase in acute hospitalization cost. Tetraplegia, age, and ISS were also identified as significant predictors of cost of hospitalization (see Table 4).

### Discussion

This study is the first to confirm a reduction in complication rate with early surgical intervention specifically in patients with a complete SCI. Surgical timing is important because it is a potentially modifiable factor, and early surgical stabilization after a SCI is safe, even in polytrauma patients.<sup>30</sup>

Table 3. Logistic Regression Models for Prediction of Complications

Complications	Predictors	p value	OR	95% CI
Total	Tetraplegia	0.006	2.47	(1.30-4.72)
	Timing > 24h	0.01	2.39	(1.24-4.63)
	ISS	0.035	1.04	(1.00-1.08)
Pneumonia	Tetraplegia	0.001	3.07	(1.57-5.95)
	Timing > 24h	0.045	2.28	(1.02-5.08)
	ISS	0.006	1.05	(1.09-1.02)
	Age	0.028	1.02	(1.00-1.04)
PU	Tetraplegia	$P < 10^{-3}$	4.44	(2.03-9.71)
	SII	0.014	1.07	(1.01-1.12)
UTI	Timing > 24h	0.021	2.69	(1.16-6.25)
	SII	0.036	1.05	(1.00-1.10)

OR, odds ratio; CI, confidence interval; PU, pressure ulcer; UTI, urinary tract infection.

Clinicians may be tempted to minimize the importance of early surgical intervention for patients with a complete SCI, given the poorer neurological prognosis. However, rapid surgical stabilization greatly facilitates mobilization and pulmonary toilet, and, therefore, may reduce complications related to prolonged recumbence.

Early surgical timing is beneficial in spine trauma for decreasing complication rate, especially for pneumonia.<sup>10,11,30-33</sup> The occurrence of any complications with complete SCI was lower in this study than in the study by Grossman and colleagues<sup>34</sup> (57% vs. 84%). It is likely that because of the retrospective nature of our study, some mild complications remained unnoticed, or complications were not explicitly recorded in medical charts. This systematic misclassification bias may explain the abnormally low incidence of thromboembolic events found in our cohort.

Although this study was retrospective, its internal validity was increased by its being a standardized data collection made in a single institution. These findings may apply to cervical and thoracolumbar SCI, as well as to severely injured patients, because our cohort comprised all level of SCI and patients with mean ISS of 32.9. However, the study protocol excluded seven patients with either penetrating trauma or severe TBI, which are recognized as predictors of complications in SCI.<sup>34</sup> These exclusions were chosen because the surgical planning (including surgical timing) is often modified when the SCI is associated with severe TBI and/or penetrating trauma. Moreover, severe TBI frequently precludes a reliable ASIA grade evaluation.

Similarly to previous reports,<sup>24,25,35</sup> we found increasing age and more severe trauma (higher ISS) to be predictors of pneumonia. However, the presence of comorbidity did not predict complications, which was opposite to previous reports.<sup>24,35</sup> In the current study, patients with comorbidities had less severe trauma (median ISS = 21) and were more frequently paraplegics (47%) than the whole cohort. Knowing that a lower ISS and paraplegia tend to decrease the rate of complications, these two findings may have altered a possible association between comorbidities and complications.

Furthermore, this study identified a higher SII as a predictor of PU and UTI. The configuration and extent of spinal injury was not accounted for in this study, and may affect the extent of the procedure selected by the surgeon. Surgeons may select less invasive surgery to reduce the risk of complications, but this should not

Table 4. Linear Regression Model for Prediction of Hospitalization Cost

Predictors	p value	Cost (\$CAD)	95% CI (\$CAD)
Tetraplegia	0,043	7 840	(4848-10,831)
Timing > 24h	< 10-3	3 777	(125-7429)
ISS	< 10-3	642	(495-788)
Age	< 10-3	166	(82-251)

Cost represents the predicted increment for tetraplegic patients in comparison to paraplegic patients, for surgical timing > 24h, for each year of age and for each unit of Injury Severity Scale (ISS).

detract them from achieving the important surgical goals of decompression and stabilization.

In the current study, hospitalization cost was 6866\$ lower in patients operated on within 24 h following the SCI. Multivariate regression analysis showed that surgical delay > 24 h in addition to tetraplegia, higher ISS, and increasing age were statistically significant predictors of higher cost of hospitalization. These findings support the cost benefits of performing surgery within 24 h following a traumatic complete SCI, especially considering the decrease in complication rates with early surgery.

#### Study limitations

There are several limitations that must be noted. The information on high doses of corticosteroids was absent in the study. Most of the subjects were transferred from other centers, and the information on initial management was incomplete, including exposure to corticosteroids early on. However, there are contradictory data about the effects of high dose corticosteroids on complication rates in patients with SCI,<sup>24,35</sup> and corticosteroid use was abandoned in 2005 in our center.

Another limitation of this study relates to the estimation of hospitalization cost that does not include physician fees. Calculating physician fees specifically for each patient would be extremely complex, given the particular remuneration systems prevailing in our province. However, surgeons' and anesthesiologists' compensations are fixed for any type of traumatic SCI and it is therefore assumed that the fees specifically for the surgery would be similar between the two groups. For consultants involved in the preoperative and postoperative care (emergency care, intensive care, physical medicine and rehabilitation, internal medicine), the fee-for-service related to the initial consultation is fixed. Therefore, the bias from excluding physician fees in calculating hospitalization cost most likely represents a constant systematic error that will not affect the difference seen between patients in the early and late surgery groups.

Another potential bias is related to the justification of surgical delays. In our center, surgical delay is mainly the result of limited access to an operating theater. There is a general consensus on the indication to surgically decompress traumatic SCI within 24 h among the five spine surgeons working in our center. Poor access to the operating theater is believed to be the main cause of surgical delays in our institution. There may be a health care access bias related to transfer delays and surgery delays in medically unstable patients requiring resuscitation. However, the ISS were similar in the < 24 h and > 24 h patients, and this may reflect similar needs for medical resuscitation associated with trauma in these two groups. Moreover in our study, patients operated within and after 24 h had statistically similar sociodemographic and clinical data, suggesting

that these characteristics did not result in significant biases with regard to the surgical timing. Further, we modeled the impact of surgical timing adjusted for potential confounders, and found that surgical timing remained a predictor of any complications, pneumonia, and UTI even after controlling for these variables.

## Conclusion

Given the limited potential for neurological recovery, the urgency of performing early surgical decompression and stabilization in patients with a complete SCI can be questioned. This study showed that patients with a complete SCI operated on  $\leq$  24 h post-trauma had fewer complications and lower cost of hospitalization than those operated on later. We recommend surgical stabilization and decompression within 24 h of a complete traumatic SCI as a cost-effective strategy to decrease the rate of complications during acute hospitalization stay.

## Acknowledgments

The authors acknowledge the support of the MENTOR program; a CIHR program for the study of mobility and posture, and the Fonds de Recherche en Santé du Québec (FRSQ).

## Author Disclosure Statement

No competing financial interests exist.

## References

- Dimar, J.R., 2nd, Glassman, S.D., Raque, G.H., Zhang, Y.P., and Shields, C.B. (1999). The influence of spinal canal narrowing and timing of decompression on neurologic recovery after spinal cord contusion in a rat model. *Spine* 24, 1623–1633.
- Zariffa, J., Curt, A., Group, E.S., and Steeves, J.D. (2012). Functional motor preservation below the level of injury in subjects with American Spinal Injury Association Impairment Scale grade A spinal cord injuries. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 93, 905–907.
- Fawcett, J.W., Curt, A., Steeves, J.D., Coleman, W.P., Tuszynski, M.H., Lammertse, D., Bartlett, P.F., Blight, A.R., Dietz, V., Ditunno, J., Dobkin, B.H., Havton, L.A., Ellaway, P.H., Fehlings, M.G., Privat, A., Grossman, R., Guest, J.D., Kleitman, N., Nakamura, M., Gaviria, M., and Short, D. (2007). Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury as developed by the ICCP panel: spontaneous recovery after spinal cord injury and statistical power needed for therapeutic clinical trials. *Spinal Cord* 45, 190–205.
- La Rosa, G., Conti, A., Cardali, S., Cacciola, F., and Tomasello, F. (2004). Does early decompression improve neurological outcome of spinal cord injured patients? Appraisal of the literature using a meta-analytical approach. *Spinal Cord* 42, 503–512.
- Petitjean, M.E., Mousselard, H., Pointillart, V., Lassie, P., Senegas, J., and Dabadie, P. (1995). Thoracic spinal trauma and associated injuries: should early spinal decompression be considered? *J. Trauma* 39, 368–372.
- Vaccaro, A.R., Lehman, R.A., Jr., Hurlbert, R.J., Anderson, P.A., Harris, M., Hedlund, R., Harrop, J., Dvorak, M., Wood, K., Fehlings, M.G., Fisher, C., Zeiller, S.C., Anderson, D.G., Bono, C.M., Stock, G.H., Brown, A.K., Kuklo, T., and Oner, F.C. (2005). A new classification of thoracolumbar injuries: the importance of injury morphology, the integrity of the posterior ligamentous complex, and neurologic status. *Spine* 30, 2325–2333.
- Fehlings, M.G., Rabin, D., Sears, W., Cadotte, D.W., and Aarabi, B. (2010). Current practice in the timing of surgical intervention in spinal cord injury. *Spine* 35, S166–173.
- Dryden, D.M., Saunders, L.D., Jacobs, P., Schopflocher, D.P., Rowe, B.H., May, L.A., Yiannakoulis, N., Svenson, L.W., and Voaklander, D.C. (2005). Direct health care costs after traumatic spinal cord injury. *J. Trauma* 59, 443–449.
- Stein, D.M., Menaker, J., McQuillan, K., Handley, C., Aarabi, B., and Scalea, T.M. (2010). Risk factors for organ dysfunction and failure in patients with acute traumatic cervical spinal cord injury. *Neurocrit. Care* 13, 29–39.
- McKinley, W., Meade, M.A., Kirshblum, S., and Barnard, B. (2004). Outcomes of early surgical management versus late or no surgical intervention after acute spinal cord injury. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 85, 1818–1825.
- Croce, M.A., Bee, T.K., Pritchard, E., Miller, P.R., and Fabian, T.C. (2001). Does optimal timing for spine fracture fixation exist? *Ann. Surg.* 233, 851–858.
- Kerwin, A.J., Frykberg, E.R., Schinco, M.A., Griffen, M.M., Murphy, T., and Tepas, J.J. (2005). The effect of early spine fixation on non-neurologic outcome. *J. Trauma* 58, 15–21.
- Fehlings, M.G., Vaccaro, A., Wilson, J.R., Singh, A., D, W.C., Harrop, J.S., Aarabi, B., Shaffrey, C., Dvorak, M., Fisher, C., Arnold, P., Massicotte, E.M., Lewis, S., and Rampersaud, R. (2012). Early versus delayed decompression for traumatic cervical spinal cord injury: results of the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study (STASCIS). *PLoS One* 7, e32037.
- Bourassa-Moreau, E., Mac-Thiong, J.M., Ehrmann Feldman, D., Thompson, C. and Parent, S. (2013). Complications in acute phase hospitalization of traumatic spinal cord injury: Does surgical timing matter? *J. Trauma Acute Care Surg.* 74, 849–854.
- Mac-Thiong, J.M., Feldman, D.E., Thompson, C., Bourassa-Moreau, E. and Parent, S. (2012). Does timing of surgery affect hospitalization costs and length of stay for acute care following a traumatic spinal cord injury? *J. Neurotrauma* 29, 2816–2822.
- Sociaux, M.d.I.S.e.d.S. (1996). Évaluation de la performance économique globale des centres hospitaliers de soins généraux et spécialisés, volet «clientèle hospitalisée» – résultats 1994. Gouvernement du Québec: Québec.
- Bourbeau, J., Collet, J.P., Schwartzman, K., Ducruet, T., Nault, D., and Bradley, C. (2006). Economic benefits of self-management education in COPD. *Chest* 130, 1704–1711.
- Guanella, R., Ducruet, T., Johri, M., Miron, M.J., Roussin, A., Desmarais, S., Joyal, F., Kassir, J., Solymoss, S., Ginsberg, J.S., Lamping, D.L., Shrier, I., and Kahn, S.R. (2011). Economic burden and cost determinants of deep vein thrombosis during 2 years following diagnosis: a prospective evaluation. *J. Thromb. Haemost.* 9, 2397–2405.
- Rinfret, S., Kennedy, W.A., Lachaine, J., Lemay, A., Rodes-Cabau, J., Cohen, D.J., Costerousse, O., and Bertrand, O.F. (2010). Economic impact of same-day home discharge after uncomplicated transradial percutaneous coronary intervention and bolus-only abciximab regimen. *JACC Cardiovasc. Interv.* 3, 1011–1019.
- Rivest, P., Bedard, L., Valiquette, L., Mills, E., Lebel, M.H., Lavoie, G., and Carsley, J. (2001). Severe complications associated with varicella: Province of Quebec, April 1994 to March 1996. *Can. J. Infect. Dis.* 12, 21–26.
- Bilodeau, D., Crémieux, P.Y., Jaumard, B., Ouellette, P., Vovor, T. (2004). Measuring hospital performance in the presence of quasi-fixed inputs: an analysis of Québec hospitals. *J. Productiv. Anal.* 21, 183–199.
- Pink GH, and Bolley, H. B. (1994). Physicians in health care management: 3. Case mix groups and resource intensity weight: an overview for physicians. *CMAJ* 150, 889–894.
- Schinkel, C., Frangen, T.M., Kmetec, A., Address, H.J., Muhr, G., and German Trauma, R. (2006). Timing of thoracic spine stabilization in trauma patients: impact on clinical course and outcome. *J. Trauma* 61, 156–160.
- Dimar, J.R., Fisher, C., Vaccaro, A.R., Okonkwo, D.O., Dvorak, M., Fehlings, M., Rampersaud, R., and Carreon, L.Y. (2010). Predictors of complications after spinal stabilization of thoracolumbar spine injuries. *J. Trauma* 69, 1497–1500.
- McHenry, T.P., Mirza, S.K., Wang, J., Wade, C.E., O’Keefe, G.E., Dailey, A.T., Schreiber, M.A., and Chapman, J.R. (2006). Risk factors for respiratory failure following operative stabilization of thoracic and lumbar spine fractures. *J. Bone Joint Surg. Am.* 88, 997–1005.
- Furlan, J.C., and Fehlings, M.G. (2009). The impact of age on mortality, impairment, and disability among adults with acute traumatic spinal cord injury. *J. Neurotrauma* 26, 1707–1717.
- Quan, H., Sundararajan, V., Halfon, P., Fong, A., Burnand, B., Luthi, J.C., Saunders, L.D., Beck, C.A., Feasby, T.E., and Ghali, W.A. (2005). Coding algorithms for defining comorbidities in ICD-9-CM and ICD-10 administrative data. *Med. Care* 43, 1130–1139.
- Lee, M.J., Konodi, M.A., Cizik, A.M., Bransford, R.J., Bellabarba, C., and Chapman, J.R. (2012). Risk factors for medical complication after

- spine surgery: a multivariate analysis of 1,591 patients. *Spine J.* 12, 197–206.
29. Mirza, S.K., Deyo, R.A., Heagerty, P.J., Turner, J.A., Lee, L.A., and Goodkin, R. (2006). Towards standardized measurement of adverse events in spine surgery: conceptual model and pilot evaluation. *BMC Musculoskelet. Disord.* 7, 53.
  30. McLain, R.F., and Benson, D.R. (1999). Urgent surgical stabilization of spinal fractures in polytrauma patients. *Spine* 24, 1646–1654.
  31. Cengiz, S.L., Kalkan, E., Bayir, A., Ilik, K., and Basefer, A. (2008). Timing of thoracolumbar spine stabilization in trauma patients; impact on neurological outcome and clinical course. A real prospective (rct) randomized controlled study. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 128, 959–966.
  32. Mirza, S.K., Krengel, W.F., 3rd, Chapman, J.R., Anderson, P.A., Bailey, J.C., Grady, M.S., and Yuan, H.A. (1999). Early versus delayed surgery for acute cervical spinal cord injury. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 359, 104–114.
  33. Chipman, J.G., Deuser, W.E., and Beilman, G.J. (2004). Early surgery for thoracolumbar spine injuries decreases complications. *J. Trauma* 56, 52–57.
  34. Grossman, R.G., Frankowski, R.F., Burau, K.D., Toups, E.G., Crommett, J.W., Johnson, M.M., Fehlings, M.G., Tator, C.H., Shafrey, C.I., Harkema, S.J., Hodes, J.E., Aarabi, B., Rosner, M.K., Guest, J.D., and Harrop, J.S. (2012). Incidence and severity of acute complications after spinal cord injury. *J. Neurosurg. Spine* 17, 119–128.
  35. Wilson, J.R., Arnold, P.M., Singh, A., Kalsi-Ryan, S., and Fehlings, M.G. (2012). Clinical prediction model for acute inpatient complications after traumatic cervical spinal cord injury: a subanalysis from the Surgical Timing in Acute Spinal Cord Injury Study. *J. Neurosurg. Spine* 17, 46–51.

Address correspondence to:  
Jean-Marc Mac-Thiong, MD, PhD  
Department of Surgery  
Hopital du Sacre-Coeur de Montreal  
5400 Boulevard Gouin Ouest  
Montreal, Quebec  
Canada H4J 1C5