

Université de Montréal

Développement d'un outil d'évaluation neurologique simplifié pour les lésions médullaires  
traumatiques en contexte aigu

*Par*

Rémi Pelletier-Roy

Université de Montréal

Faculté de médecine

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès sciences (M. Sc.)

en Sciences biomédicales option musculosquelettique

Juillet 2022

© Rémi Pelletier-Roy, 2022



Université de Montréal

Programmes de cycles supérieurs en sciences biomédicales, Faculté de médecine

---

*Ce mémoire intitulé*

**Développement d'un outil d'évaluation neurologique simplifié pour les lésions médullaires  
traumatiques en contexte aigu**

*Présenté par*

**Rémi Pelletier-Roy**

*A été évalué par un jury composé des personnes suivantes*

**Dre Justine Lessard**

Président-rapporteur

**Dr Jean-Marc Mac-Thiong**

Directeur de recherche

**Dre Andréane Richard-Denis**

Codirecteur

**Dr Zhi Wang**

Membre du jury



## Résumé

La prise en charge rapide et systématique des patients en traumatologie par des protocoles tels que l'*Advanced Trauma Life Support*<sup>TM</sup> maximise la survie. À l'intérieur de ces protocoles, l'examen le plus souvent proposé pour l'évaluation neurologique est l'*International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury* (ISNCSCI). Cet outil d'évaluation des patients avec une lésion médullaire traumatique (LMT) est le plus reconnu mondialement, mais n'est pas adapté à la prise en charge initiale en traumatologie de par son exhaustivité. L'objectif principal de ce mémoire était de combler le besoin pour un outil d'évaluation neurologique adapté au patient avec une LMT en contexte aigu.

La première partie de ce travail consista au développement et à la validation d'une version simplifiée de l'ISNCSCI qui a été nommée le *Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury* (MAC-SCI). Sa validation par rapport à l'ISNCSCI révéla une capacité à déterminer correctement le grade de sévérité ainsi que l'étage lésionnel de la LMT dans 100% des cas. La seconde partie de ce travail évalua la capacité du MAC-SCI à détecter les variations neurologiques périopératoires et montra qu'aucune détérioration neurologique n'était ratée. Finalement, la troisième partie de ce travail évalua l'implémentation clinique du MAC-SCI et montra des taux de complétion 2,4 fois supérieurs à ceux de l'ISNCSCI.

Nous souhaitons que le MAC-SCI soit incorporé dans les protocoles de traumatologie à grande échelle dans le but d'uniformiser l'évaluation neurologique des patients en situation de traumatologie et ultimement d'améliorer les soins prodigués aux patients blessés médullaires.

**Mots-clés :** lésion médullaire traumatique, blessé médullaire, évaluation neurologique, évaluation neurologique simplifiée, traumatologie



## Abstract

Rapid and systematic management of trauma patients using protocols such as the Advanced Trauma Life Support™ maximizes survival. Within these protocols, the tool the most often suggested for neurological assessment is the International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI). This assessment tool for patients with traumatic spinal cord injury (TSCI) is the most recognized worldwide, but is not suitable for initial trauma care due to its comprehensiveness. The main objective of this thesis was to fulfill the need for a neurological assessment tool adapted to the patient with TSCI in an acute context.

The first part of this study consisted in the development and validation of a simplified version of the ISNCSCI which was named the Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury (MAC-SCI). Its validation against the ISNCSCI revealed an ability to correctly determine the grade of severity as well as the neurological level of injury of the TSCI in 100% of cases. The second part of this study assessed the ability of the MAC-SCI to detect perioperative neurological variations and showed that no neurological deterioration was missed. Finally, the third part of this study evaluated the clinical implementation of the MAC-SCI and showed completion rates 2.4 times higher than the ISNCSCI.

We would like the MAC-SCI to be incorporated into large-scale trauma protocols in order to standardize the neurological assessment of trauma patients and ultimately improve the care provided to patients with spinal cord injuries.

**Keywords** : traumatic spinal cord injury, spinal cord injured patients, neurological evaluation, simplified neurological evaluation, traumatology





## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| Résumé .....  | 5  |
| Abstract .....  | 7  |
| Table des matières .....  | 9  |
| Liste des tableaux .....  | 15 |
| Liste des figures .....   | 17 |
| Liste des sigles et abréviations .....                                | 19 |
| Remerciements .....   | 23 |
| Chapitre 1 – Introduction .....                                       | 25 |
| Chapitre 2 – Revue de littérature .....                               | 27 |
| 2.1 Les lésions médullaires traumatiques .....                        | 27 |
| 2.1.1 Épidémiologie .....   | 27 |
| 2.1.2 Pathophysiologie .....  | 28 |
| 2.1.3 Anatomie fonctionnelle du système nerveux .....                 | 29 |
| 2.1.4 Lésions associées .....   | 32 |
| 2.2 La prise en charge aiguë du patient en traumatologie .....        | 33 |
| 2.2.1 L'évaluation primaire en situation d'urgence .....              | 33 |
| 2.2.2 L'examen neurologique étalon du patient blessé médullaire ..... | 33 |
| 2.2.3 Autres outils d'évaluation neurologique .....                   | 37 |
| 2.2.4 Limites de l'ISNCSCI .....                                      | 37 |
| 2.2.5 Outils d'évaluation neurologiques simplifiés proposés .....     | 39 |
| 2.2.6 L'imagerie du blessé médullaire .....                           | 40 |
| 2.2.7 Prise en charge médicale des blessés médullaires .....          | 43 |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.8 Détériorations neurologiques périopératoires.....  | 44 |
| 2.2.9 Prise en charge chirurgicale des blessés médullaires .....   | 46 |
| Chapitre 3 – Problématique, hypothèses et objectifs .....  | 49 |
| 3.1 Contexte de la problématique .....   | 49 |
| 3.2 Hypothèses et objectifs de recherche .....   | 50 |
| Chapitre 4 – Matériel et méthodes .....  | 53 |
| 4.1 Développement d’une version simplifiée de l’ISNCSCI pour les patients avec une LMT en<br>contexte aigu ..... | 53 |
| 4.1.1 Évaluation de l’adhérence à l’ISNCSCI en traumatologie .....   | 53 |
| 4.1.2 Méthode Delphi modifiée.....   | 53 |
| 4.2 Validation du <i>Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury</i> .....                               | 54 |
| 4.2.1 Design .....   | 55 |
| 4.2.2 Critères d’inclusion et d’exclusion .....  | 55 |
| 4.2.3 Collecte des données.....  | 55 |
| 4.2.4 Mesures principales et secondaires .....   | 56 |
| 4.2.5 Analyses statistiques .....  | 56 |
| 4.3 Implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI .....  | 56 |
| 4.3.1 Application des connaissances intégrées .....  | 57 |
| 4.3.2 Évaluation de l’implémentation clinique préliminaire .....   | 57 |
| 4.3.3 Design .....   | 57 |
| 4.3.4 Critères d’inclusion et d’exclusion .....  | 57 |
| 4.3.5 Collecte des données.....  | 58 |
| 4.3.6 Mesures principales.....   | 58 |
| 4.3.7 Analyses statistiques .....  | 58 |

|  |    |
|--|----|
| Chapitre 5 – Article scientifique .....  | 59 |
| 5.1 Présentation de l’article .....  | 59 |
| 5.2 Déclaration des contributions des auteurs.....   | 59 |
| 5.3 Article : <i>Validation of a new tool to detect and characterize spinal cord injury in the acute trauma patient: the Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury (MAC-SCI)</i> ..... | 61 |
| 5.3.1 <i>Abstract</i> .....  | 61 |
| 5.3.2 <i>Introduction</i> .....  | 63 |
| 5.3.3 <i>Methods</i> .....   | 65 |
| 5.3.4 <i>Results</i> .....   | 71 |
| 5.3.5 <i>Discussion</i> .....  | 74 |
| 5.3.6 <i>Conclusion</i> .....  | 77 |
| Chapitre 6 – Capacité du MAC-SCI à détecter les variations neurologiques périopératoires .....   | 79 |
| 6.1 Introduction.....  | 79 |
| 6.2 Résultats .....  | 79 |
| 6.2.1 Population d’étude .....   | 79 |
| 6.2.2 Résultats des variations neurologiques périopératoires .....   | 80 |
| 6.2.3 Détection des variations neurologiques périopératoires par le MAC-SCI .....  | 82 |
| 6.2.4 Détection des variations neurologiques périopératoires par l’ISNCSCI à partir du MAC-SCI .....   | 84 |
| Chapitre 7 – Résultats de l’implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI .....  | 87 |
| 7.1 Introduction.....  | 87 |
| 7.2 Application intégrée des connaissances .....   | 87 |
| 7.3 Résultats .....  | 88 |
| 7.3.1 Population d’étude .....   | 88 |

|  |     |
|--|-----|
| 7.3.2 Taux de complétion du MAC-SCI et de ses éléments .....   | 89  |
| 7.3.3 Examens MAC-SCI incomplets .....   | 91  |
| Chapitre 8 – Discussion .....  | 93  |
| 8.1 Utilisation du MAC-SCI.....  | 93  |
| 8.1.1 Cadre d'utilisation du MAC-SCI - Pour quand et pour qui .....  | 93  |
| 8.1.2 Comment utiliser le MAC-SCI .....  | 94  |
| 8.2 Retour sur l'adaptation simplifiée de l'ISNCSCI .....  | 98  |
| 8.2.1 Évaluation des taux de complétion de l'ISNCSCI et de ses éléments individuels .....                          | 98  |
| 8.2.2 Développement de l'adaptation simplifiée de l'ISNCSCI pour le patient avec une LMT<br>en contexte aigu ..... | 99  |
| 8.2.3 Avantages du MAC-SCI .....   | 100 |
| 8.2.4 Retour sur les résultats de la validation du MAC-SCI .....   | 103 |
| 8.3 Retour sur la capacité du MAC-SCI à détecter les variations neurologiques périopératoires<br>.....             | 104 |
| 8.3.1 Détection des variations neurologiques périopératoires par le MAC-SCI .....                                  | 104 |
| 8.3.2 Détection des variations neurologiques périopératoires par l'ISNCSCI à partir du MAC-<br>SCI .....           | 106 |
| 8.4 Retour sur l'implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI .....   | 107 |
| 8.4.1 Résumé des résultats de l'implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI .....                              | 107 |
| 8.4.2 Comparaison avec les taux de complétion de l'ISNCSCI et de ses éléments individuels<br>.....                 | 108 |
| 8.5 Limitations du MAC-SCI .....   | 110 |
| 8.5.1 Syndrome centromédullaire .....  | 110 |
| 8.5.2 Radiculopathies .....  | 110 |
| 8.5.3 Queue de cheval et cône médullaire .....   | 111 |

|  |     |
|--|-----|
| 8.5.4 Persistance de barrières à l'examen neurologique abrégé .....  | 111 |
| 8.6 Développements futurs du MAC-SCI .....   | 113 |
| 8.6.1 Études cliniques subséquentes.....   | 113 |
| 8.6.2 Plan de dissémination et développements cliniques futurs.....  | 114 |
| Chapitre 9 – Conclusion.....   | 117 |
| Références bibliographiques .....  | 119 |
| Annexes .....  | 125 |
| Annexe 1 - Tableau complet des examens neurologiques ISNCSCI et MAC-SCI préopératoires<br>et postopératoires ..... | 125 |



## Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| <b>Table 5.1</b> – <i>Baseline Characteristics of the Validation Cohort</i> .....  | 70 |
| <b>Table 5.2</b> – <i>MAC-SCI Validation Results</i> .....   | 73 |
| <b>Tableau 6.1</b> – Variations neurologiques périopératoires selon l'examen étalon (ISNCSCI) .....  | 81 |
| <b>Tableau 6.2</b> – Détection des variations neurologiques périopératoires par le MAC-SCI .....   | 83 |
| <b>Tableau 6.3</b> – Détections des variations neurologiques périopératoires par l'ISNCSCI postopératoire lorsque comparé au MAC-SCI préopératoire ..... | 85 |
| <b>Tableau 7.1</b> – Caractéristiques de base de la cohorte d'évaluation de l'implémentation clinique .....  | 89 |
| <b>Tableau 7.2</b> – Détails des patients inclus dans la cohorte d'évaluation de l'implémentation clinique du MAC-SCI .....                              | 92 |





## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 2.1</b> – Illustration des mécanismes impliqués dans l’insulte médullaire secondaire(6).....  | 29 |
| <b>Figure 2.2</b> – Anatomie sectionnelle de la moelle épinière(8) .....  | 31 |
| <b>Figure 2.3</b> – <i>International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury</i> (14) ...   | 36 |
| <b>Figure 5.1</b> – <i>Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury (MAC-SCI)</i> .....  | 68 |
| <b>Figure 5.2</b> – <i>Completeness of ISNCSCI and each individual element at admission with retained dermatomes and myotomes for the MAC-SCI (in light gray)</i> ..... | 72 |
| <b>Figure 7.1</b> – Taux de complétion du MAC-SCI et de ses éléments individuels .....  | 90 |
| <b>Figure 8.1</b> – Évaluation du grade de sévérité .....   | 97 |



## Liste des sigles et abréviations

AIS: *American Spinal Injury Association Impairment Scale*

ASIA: *American Spinal Injury Association*

ATLS: *Advanced Trauma Life Support™*

CCR: *Canadian C-Spine Rule*

ISNCSCI: *International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury*

LMT: lésion médullaire traumatique

MAC-SCI: *Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury*

NEXUS: *National Emergency X-ray Utilization Study*

NLI: *neurological level of injury*

NNL: niveau neurologique lésionnel

STIR: *Short Tau Inversion Recovery*

TCC: traumatisme crânio-cérébral

TDM: tomodensitométrie

TSCI: *traumatic spinal cord injury*

TTL: *trauma team leader*



*À ma conjointe Mariannick et mes parents Manon et Roger,  
pour leur support inconditionnel*



## Remerciements

Je tiens à remercier Erika Rinaldi, Geneviève Leblanc et Annie Levasseur de l'équipe de recherche d'orthopédie colonne de l'hôpital du Sacré-Cœur de Montréal pour leur support proactif durant toutes les étapes de ce travail.

Je remercie Antoine Dionne pour sa collaboration enthousiaste.

Je tiens à remercier Étienne Bourassa-Moreau pour avoir développé chez moi l'intérêt pour les patients blessés médullaires.

Je remercie mes parents, Manon et Roger, pour leurs encouragements et pour leur confiance inspirante en moi-même.

Je tiens à remercier ma conjointe, Mariannick, pour son support indispensable dans toutes les étapes de ce travail, mais également dans tous nos projets communs.

Je remercie ma co-directrice de recherche, Andréane Richard-Denis, qui a su tirer le meilleur de mes réflexions dans le cadre de ce projet.

Finalement, je tiens à remercier mon directeur de recherche, Jean-Marc Mac-Thiong, pour son mentorat, sa disponibilité et son éthique de travail hors du commun.





## Chapitre 1 – Introduction

Le patient se présentant avec une lésion médullaire traumatique (LMT) pose un défi diagnostique et thérapeutique de taille. Sa présentation comme patient en situation de traumatologie nécessite une prise en charge rapide des éléments mettant sa vie en danger, tandis que la sévérité et la localisation de sa LMT doivent être déterminées rapidement. Cette rapidité est nécessaire pour enclencher la prise en charge médicale et chirurgicale et ainsi favoriser le pronostic neurologique.

Malgré des avancées majeures dans la prise en charge des patients polytraumatisés avec la mise en place de protocoles comme l'*Advanced Trauma Life Support*<sup>TM</sup> (ATLS) et l'utilisation d'évaluations neurologiques standardisées telles que l'*International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury* (ISNCSCI), il persiste un besoin pour un outil simplifié d'évaluation neurologique adapté au patient avec une LMT en contexte aigu. Ce travail vise donc à développer un outil d'évaluation neurologique simplifié à partir de l'ISNCSCI.

Le chapitre 2 de ce mémoire présente une revue de la littérature critique sur les LMTs, l'anatomie fonctionnelle du système nerveux ainsi que sur la prise en charge aiguë du patient avec une LMT. Le chapitre 3 résume la problématique actuelle de l'absence d'un outil d'évaluation neurologique adapté au patient avec une LMT en contexte aigu ainsi que les hypothèses et les objectifs de ce travail. Le chapitre 4 détaille la méthodologie des trois volets de ce travail. Le chapitre 5 illustre les résultats du développement et de la validation de la version simplifiée de l'ISNCSCI pour le patient avec une LMT en contexte aigu sous la forme d'un article scientifique. Les chapitres 6 et 7 présentent des résultats complémentaires, soit la détection des variations neurologiques périopératoires ainsi que l'implémentation clinique préliminaire de la nouvelle version simplifiée de l'ISNCSCI proposée. Le chapitre 8 offre une discussion mettant en lien les résultats des trois volets de ce travail, détaille les limitations actuelles, propose un cadre d'utilisation de la nouvelle adaptation simplifiée de l'ISNCSCI et ouvre la porte aux perspectives de recherches futures. Finalement, le chapitre 9 fait office de conclusion.



## Chapitre 2 – Revue de littérature

### 2.1 Les lésions médullaires traumatiques

#### 2.1.1 Épidémiologie

Les lésions médullaires sont une importante considération dans le système de santé canadien. La prévalence des personnes vivant avec une blessure médullaire au Canada est estimée à 86 000 personnes, dont près de la moitié suite à une cause traumatique. Annuellement, près de 1 400 nouvelles personnes sont victimes d'une lésion médullaire traumatique (LMT)(1). En plus d'être un événement dévastateur pour le patient et ses proches, les LMTs représentent également un fardeau socio-économique significatif avec un coût annuel estimé à 2,7\$ milliards(1). Du côté américain, il est estimé que 296 000 personnes sont atteintes d'une LMT. L'incidence annuelle est approximativement de 54 nouveaux cas par millions d'habitants, ce qui porte le nombre de nouveaux blessés médullaires traumatiques à 17 900 annuellement au sud de la frontière(2).

Une lésion médullaire peut résulter suite à différentes étiologies. Celles-ci peuvent être de nature développementale, dégénérative, infectieuse, vasculaire, néoplasique ou traumatique(3). Les causes traumatiques canadiennes les plus fréquentes sont en ordre d'importance : les chutes (51%), les accidents liés aux transports (26%) ainsi que les accidents liés aux pratiques sportives (15%). Ces trois causes représentent plus de 92% des LMTs au Canada. La démographie varie également en fonction de l'âge, avec un âge moyen de 61 ans pour les personnes victime d'une LMT suite à une chute versus de 41 ans chez les personnes atteintes d'une LMT suite à un accident lié au transport(1). Aux États-Unis, les accidents de la route sont de loin la cause prédominante de LMT avec plus de 48% des cas, suivi des chutes (16%) ainsi que des violences physiques (12%)(4).

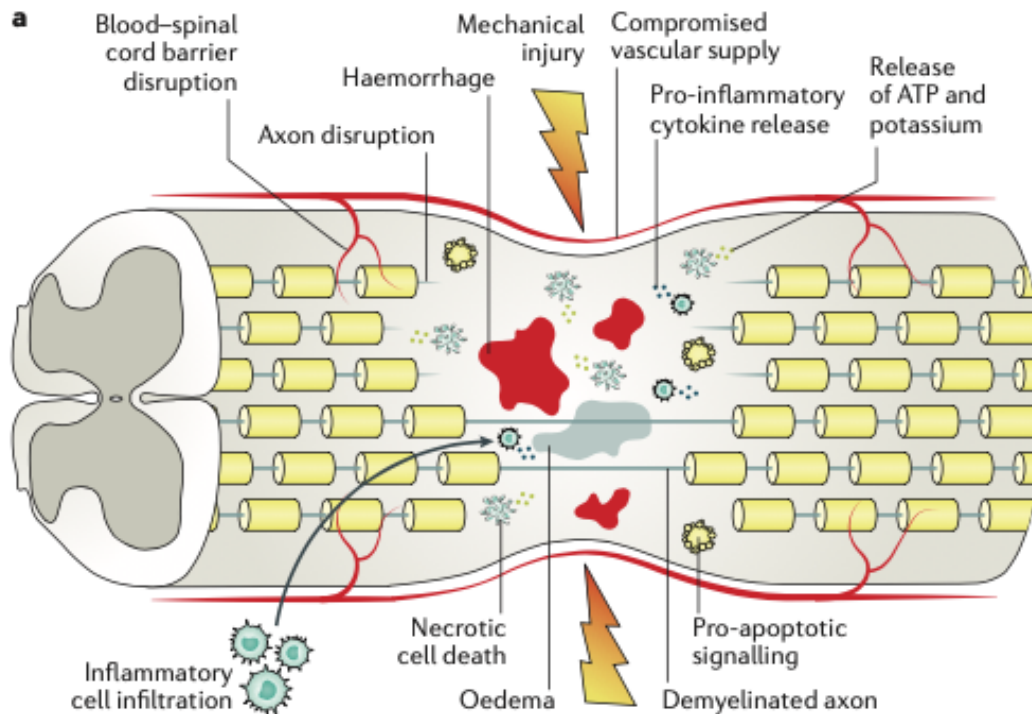
Ce tableau épidémiologique des lésions médullaires montre que celles-ci sont le plus fréquemment d'origine traumatique et impliquent des mécanismes lésionnels de haute énergie.

### **2.1.2 Pathophysiologie**

La pathophysiologie des LMTs comporte deux volets, soit une insulte primaire et une insulte secondaire. L'insulte primaire relève du traumatisme initial mécanique qui est la plupart du temps de nature contondante. Celui-ci est associé à une atteinte de la colonne vertébrale comme une fracture, une luxation, une atteinte disco-ligamentaire ou des changements dégénératifs préexistants causant une sténose du canal spinal. L'insulte primaire représente l'impact mécanique de compression et/ou de traction sur la moelle épinière causé par la perte d'intégrité de la colonne vertébrale. Plus rarement, le traumatisme initial est de nature pénétrante, par exemple suite à une agression par couteau ou suite à une blessure par balle. Dans ce cas, l'insulte primaire correspond à la transection médullaire immédiate(5). Macroscopiquement, l'insulte primaire mécanique endommage les cellules neuronales ainsi que leur enveloppe de myéline et perturbe la vascularisation médullaire(6).

L'insulte secondaire est une cascade de phénomènes qui résultent du traumatisme neuronal et vasculaire initial. Elle débute dans les minutes suivant le traumatisme et atteint un sommet entre trois et six jours après l'insulte primaire. Le dommage causé sur les cellules neurogliales cause une augmentation de la perméabilisation nerveuse alors que l'atteinte de la vascularisation médullaire cause une ischémie médullaire et la formation d'hématome intramédullaire. Ces phénomènes hémorragiques entretiennent à leur tour l'atteinte inflammatoire médullaire en permettant un apport de cytokines inflammatoires avec, en autres, le facteur de nécrose tumorale (TNF) et l'interleukine-1B au site lésionnel. L'ischémie médullaire et la toxicité inflammatoire, combinées à l'augmentation de la perméabilité neuronale, causent une perte de l'homéostasie neuronale par un débalancement ionique intracellulaire. Un des acteurs majeurs de ce débalancement ionique est l'augmentation de la concentration intracellulaire de calcium qui cause une dysfonction mitochondriale et initie les signaux proapoptotiques et la mort des cellules nerveuses. Les débris neuronaux sont alors retirés par les cellules phagocytaires qui relâchent des radicaux libres et perpétuent l'austérité face à l'homéostasie neuronale. La constellation de ces phénomènes cellulaires et inflammatoires augmente l'œdème et la compression médullaire au site lésionnel(6).

**Figure 2.1** – Illustration des mécanismes impliqués dans l'insulte médullaire secondaire(6)



Cette description des mécanismes d'insulte primaire et secondaire permet de situer l'importance de la prise en charge aiguë du patient blessé médullaire. En effet, alors que les dommages de l'insulte primaires sont irréversibles, la prise en charge rapide du blessé médullaire permettra de limiter les dommages causés par l'insulte secondaire.

### **2.1.3 Anatomie fonctionnelle du système nerveux**

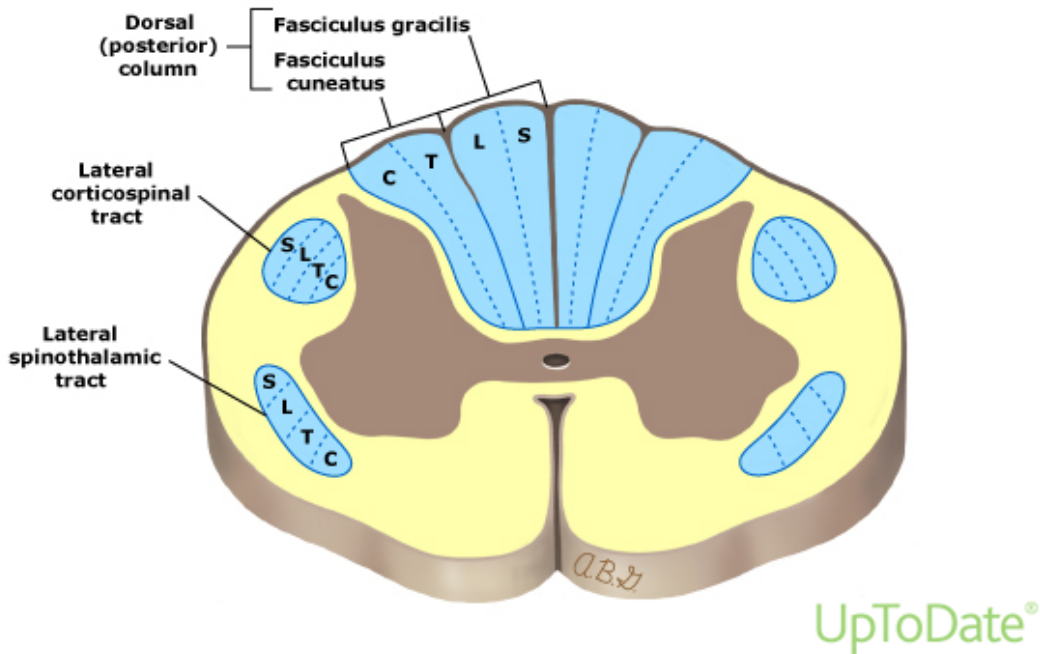
Le système nerveux du corps humain se divise en système nerveux central et périphérique. Le système nerveux central est constitué du cerveau ainsi que de la moelle épinière. Le système nerveux périphérique se divise en système nerveux volontaire qui innerve le système musculaire squelettique et en système nerveux autonome, soit le système sympathique et parasympathique. Tout en faisant partie du système nerveux central, la moelle épinière constitue le lien entre le cerveau et le système nerveux périphérique. Elle s'étend du foramen magnum jusqu'à approximativement la première vertèbre lombaire où elle se termine au niveau du cône

médullaire. Sous le niveau du cône médullaire débute la queue de cheval qui fait partie du système nerveux périphérique tout comme chacune des racines qui émergent à chacun des niveaux vertébraux.

La moelle épinière est constituée de matière blanche et de matière grise. La matière blanche est composée des axones responsables de la transmission de l'influx nerveux qui sont recouverts d'une gaine de myéline. Lorsque visualisée en coupe axiale, la matière blanche est organisée en faisceaux avec une localisation constante ayant des fonctions sensitivo-motrices définies. Ces faisceaux sont divisés en voies ascendantes sensitives ainsi qu'en voies descendantes motrices. Les principaux faisceaux ascendants sensitifs sont le faisceau spinothalamique ainsi que les cordons postérieurs. Le faisceau spinothalamique est situé en antérieur et en latéral. La portion antérieure est responsable de la transmission du toucher léger alors que la portion latérale contient les fibres sensitives responsables de la sensibilité douloureuse et de la température. Les cordons postérieurs sont constitués des fascicules *gracilis* et *cuneatus* qui contiennent la voie lemniscale responsable de la transmission des modalités sensitives de vibration et de proprioception. Le principal faisceau moteur descendant est le faisceau cortico-spinal, situé principalement en latéral(7). En plus de la localisation spécifique des faisceaux nerveux de la matière blanche à l'intérieur de la moelle épinière, il existe également une distribution somatographique à l'intérieur de ces faisceaux. Les influx sensitifs et moteurs cervicaux sont situés davantage en médial alors que ceux sacrés sont plus latéraux. Cette distribution somatographique à l'intérieur des faisceaux nerveux explique la pathophysiologie des syndromes médullaires géographiques comme les syndromes centromédullaire, d'hémi-moelle, de moelle antérieure et de moelle postérieure.

La matière grise est quant à elle composée des corps des cellules nerveuses et est représentée par la forme d'un H ou d'un papillon sur une coupe axiale. La portion antérieure contient les corps neuronaux moteurs, alors que la portion postérieure contient les corps neuronaux sensitifs.

Figure 2.2 – Anatomie sectionnelle de la moelle épinière(8)



À départ de la moelle épinière émanent les racines nerveuses qui constituent le système nerveux périphérique. Ces racines nerveuses ont des fonctions sensibles et motrices. Leurs fonctions sensibles sont représentées par les dermatomes qui sont des régions cutanées délimitées et innervés par des racines nerveuses spécifiques. Leurs fonctions musculaires sont représentées par les myotomes qui sont des groupes de muscles spécifiquement innervés par une racine nerveuse. Puisqu'un muscle est souvent innervé par plus d'une racine nerveuse et qu'une racine nerveuse innerve souvent plus d'un muscle, l'évaluation motrice d'une racine nerveuse spécifique est complexe. À des fins de simplification, la fonction motrice d'une racine nerveuse sera habituellement testée par un seul muscle dominant.

Cette description de l'anatomie fonctionnelle du système nerveux a d'importantes implications cliniques. D'abord, la terminaison du système nerveux central au niveau du cône médullaire à l'extrémité de la moelle épinière permet de différencier la présence d'une atteinte médullaire d'une atteinte périphérique. Ceci est également vrai pour toute atteinte radiculaire, soit d'une

racine nerveuse, qui fait partie du système nerveux périphérique. La prise en charge sera significativement différente en présence d'une atteinte périphérique versus médullaire d'où l'importance d'établir le diagnostic approprié. Également, la connaissance de la distribution des différents faisceaux ascendants sensitifs et descendants moteurs combinée à leur division somatographique permet de diagnostiquer la présence de syndromes médullaires géographiques tels que les syndromes médullaires centraux, antérieurs, postérieurs ou d'hémi-moelle. L'évaluation des fonctions neurologiques est donc une étape cliniquement importante, en plus d'être difficile par l'anatomie intrinsèque complexe du système nerveux telle que décrite précédemment.

#### **2.1.4 Lésions associées**

En raison des mécanismes lésionnels impliqués chez les patients avec une LMT, ces patients se présentent fréquemment avec des atteintes ailleurs qu'à la moelle épinière. Anandasivam et coll. ont montré une forte association avec une atteinte à un organe interne ou avec une blessure musculo-squelettique. En effet, dans leur cohorte de 520 183 patients entre 2011 et 2015, plus de 63% des atteintes cervicales, 79% des atteintes thoraciques et 71% des atteintes lombaires présentaient une association avec une atteinte d'un organe interne ou une atteinte musculo-squelettique autre qu'au rachis(9). De plus, Tator et Benzel ont recensé jusqu'à 50% de traumatisme crânien suite à une blessure médullaire aiguë(10). Également, certains mécanismes de fractures du rachis menant à des atteintes médullaires comme les mécanismes de type flexion-distraction, connus également sous le nom de fractures de *Chance*, sont reconnus pour avoir une incidence de blessures intra-abdominales allant jusqu'à 50% des cas(11).

Ce portrait des lésions associées aux LMTs montre qu'il est donc très fréquent que ces patients se présentent avec des atteintes plurisystémiques.



## **2.2 La prise en charge aiguë du patient en traumatologie**

### **2.2.1 L'évaluation primaire en situation d'urgence**

La présence d'une LMT témoigne d'un mécanisme lésionnel significatif. La prise en charge initiale du patient avec une LMT doit être ordonnée, rapide et mettre l'accent sur l'évaluation et le traitement des pathologies qui mettent en jeu le pronostic vital du patient. L'*Advanced Trauma Life Support™* (ATLS) est un protocole de prise en charge des patients polytraumatisés qui correspond à ces objectifs et est mondialement reconnu(12). L'ATLS propose une évaluation primaire qui se retient facilement avec l'abréviation du ABCDE (*airway, breathing, circulation, disability, exposure*) et qui évalue en ordre d'importance les conditions devant être dépistées et corrigées immédiatement. Cette évaluation primaire consiste en l'évaluation des voies aériennes supérieures et à la protection de la colonne cervicale, à l'évaluation de l'état respiratoire/pulmonaire du patient, au maintien de l'état hémodynamique, à l'évaluation neurologique ainsi qu'à l'exposition complète du patient à la recherche de blessures non identifiées initialement. À la section *disability*, soit de l'évaluation neurologique, l'ATLS suggère d'utiliser le très reconnu score de Glasgow(13) qui est un outil simple et rapide pour évaluer l'état de conscience du patient. À cette même étape, l'ATLS demande d'identifier la présence d'une atteinte médullaire et d'en localiser le niveau le cas échéant, sans toutefois proposer d'outil spécifique pour accomplir cette tâche ardue.

### **2.2.2 L'examen neurologique étalon du patient blessé médullaire**

À la suite de l'évaluation primaire du ABCDE de l'ATLS, vient l'évaluation secondaire qui consiste en un examen de la tête au pied du patient en situation de traumatologie. L'ATLS demande à ce moment d'effectuer un examen neurologique sensitif et moteur complet, mais reste évasif sur la façon de faire et de documenter un tel examen. L'ATLS mentionne que l'*International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury* (ISNCSCI)(14) puisse être utilisé et réfère à ce document pour savoir comment établir les scores liés à cette évaluation .

L'ISNCSCI est l'outil d'évaluation et de classification des patients avec une LMT le plus reconnu et mondialement utilisé pour documenter les fonctions neurologiques des segments médullaires. L'ISNCSCI permet de suivre l'évolution neurologique d'un patient avec une LMT, de guider la réadaptation fonctionnelle, d'estimer la récupération neurologique et d'étudier l'efficacité des interventions sur le pronostic neurologique. L'ISNCSCI grade la sévérité de la LMT selon l'échelle de l'*American Spinal Injury Association Impairment Scale* (AIS) de A à E, soit A étant une atteinte motrice complète, B une atteinte sensitive incomplète, C et D une atteinte motrice incomplète et finalement le grade E qui représente un patient avec un examen neurologique s'étant normalisé. L'ISNCSCI localise également le niveau neurologique lésionnel (NNL) entre C2 et S5. La détermination du grade de sévérité et du NNL se fait suite à l'évaluation de 28 dermatomes bilatéraux, dix myotomes bilatéraux ainsi qu'un examen rectal.

Les dermatomes sont délimités comme démontré sur la figure 2 et sont testés par deux modalités différentes, soit le toucher léger ainsi que la piqûre. Le toucher léger est évalué en effleurant légèrement chacun des dermatomes alors que la modalité de la piqûre est plus complexe pour l'évaluateur ainsi que le patient. Celle-ci s'effectue en stimulant un dermatome avec un objet pointu et en demandant au patient s'il ressent bien la nature piquante de la stimulation et non seulement le fait d'avoir été touché. Cette modalité est particulièrement complexe à évaluer, tel que l'a démontré Vasquez et coll.(15) et se prête mal au contexte de la salle de réanimation avec les nombreux stimuli environnants. L'évaluation des dermatomes est notée sur une échelle de zéro à deux soit zéro pour l'absence de sensation, un pour une sensation altérée ou deux pour une sensation normale.

Les dix myotomes sont évalués par un mouvement spécifique soit la flexion du coude pour la racine C5, l'extension du poignet pour C6, l'extension du coude pour C7, la flexion de la phalange distale du 3<sup>e</sup> doigt pour C8, l'abduction du 5<sup>e</sup> doigt pour T1, la flexion de la hanche pour L2, l'extension du genou pour L3, la dorsiflexion de la cheville pour L4, l'extension de l'hallux pour L5 et la plantiflexion de la cheville pour S1. Les myotomes sont notés de zéro à cinq selon les grades

du Medical Research Council Muscle Scale(16) soit zéro pour l'absence de contraction musculaire, un pour une contraction musculaire sans mouvement, deux pour un mouvement actif avec la gravité éliminée, trois pour mouvement actif contre la gravité, quatre pour un mouvement actif contre la gravité avec une résistance et cinq pour une force normale attendue de la part du patient. Finalement, l'examen rectal consiste à l'évaluation de la sensibilité anale profonde et la présence d'une contraction anale volontaire.

Une fois l'évaluation des dermatomes, des myotomes et de la fonction rectale faite, l'ISNCSCI permet de déterminer le grade de sévérité neurologique ainsi que le NNL. Le NNL est défini comme le segment le plus distal de la moelle épinière avec une sensation intacte (deux sur deux) et un mouvement contre gravité (supérieur ou égal à trois sur cinq) pourvu que les niveaux proximaux démontrent une force intacte (cinq sur cinq) et une sensibilité intacte (deux sur deux). Par rapport au grade de sévérité de la LMT, celui-ci se base avant tout sur la présence ou l'absence de fonction anale. Si aucune fonction n'est préservée au niveau de l'examen rectal (sensibilité anale superficielle à S4-S5 absente, sensibilité anale profonde absente et contraction anale volontaire absente) alors le grade de sévérité est considéré comme A (atteinte complète). Si la sensibilité anale profonde ou superficielle (S4-S5) est maintenue en l'absence de contraction anale volontaire, l'atteinte est considérée comme B (incomplète sensitive). Si la contraction anale volontaire est préservée, l'atteinte est considérée comme C si moins de 50% des myotomes sous le NNL sont égal ou supérieur à trois sur cinq, alors qu'elle est considérée comme D si 50% ou plus des myotomes sous le NNL sont égaux ou supérieur à trois sur cinq.

Une considération additionnelle est qu'un patient avec une atteinte B (sensitive incomplète), mais avec une préservation motrice de plus de trois niveaux distaux à un de ses niveaux moteurs verrait son grade de sévérité modifié à C ou D. Le niveau moteur peut être différent d'un côté à l'autre et est défini comme le niveau le plus distal avec un grade égal ou supérieur à trois sur cinq pourvus que tous les niveaux proximaux aillent un grade de cinq sur cinq. Un tel patient avec une préservation motrice plus de trois niveaux distaux à un de ses niveaux moteurs serait considéré

comme moteur incomplet C si moins de 50% des myotomes sous le NNL sont égal ou supérieur à trois sur cinq ou D si 50% ou plus des myotomes sous le NNL sont égaux ou supérieur à trois sur cinq malgré l'absence de contraction anale volontaire.

Figure 2.3 – International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury(14)

**ASIA** INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI)

**ISCOS** INTERNATIONAL SPINAL CORD SOCIETY

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

Examiner Name \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_

**RIGHT**

**UER**  
(Upper Extremity Right)

**LER**  
(Lower Extremity Right)

(VAC) Voluntary Anal Contraction (Yes/No)

**MOTOR KEY MUSCLES**

C2

C3

C4

C5 Elbow flexors

C6 Wrist extensors

C7 Elbow extensors

C8 Finger flexors

T1 Finger abductors (little finger)

T2

T3

T4

T5

T6

T7

T8

T9

T10

T11

T12

L1

L2 Hip flexors

L3 Knee extensors

L4 Ankle dorsiflexors

L5 Long toe extensors

S1 Ankle plantar flexors

S2

S3

S4-5

• Key Sensory Points

**SENSORY KEY SENSORY POINTS**

Light Touch (LTR) Pin Prick (PPR)

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

**MOTOR KEY MUSCLES**

C2

C3

C4

C5 Elbow flexors

C6 Wrist extensors

C7 Elbow extensors

C8 Finger flexors

T1 Finger abductors (little finger)

**MOTOR (SCORING ON REVERSE SIDE)**

T2

T3

T4

T5

T6

T7

T8

T9

T10

T11

T12

L1

L2 Hip flexors

L3 Knee extensors

L4 Ankle dorsiflexors

L5 Long toe extensors

S1 Ankle plantar flexors

(DAP) Deep Anal Pressure (Yes/No)

**RIGHT TOTALS (MAXIMUM)**

Light Touch (LTR) (50) Pin Prick (PPR) (56)

**MOTOR SUBSCORES**

UER  + UEL  = UEMS TOTAL  (50)

LER  + LEL  = LEMS TOTAL  (50)

**LEFT TOTALS (MAXIMUM)**

Light Touch (LTL) (56) Pin Prick (PPL) (56)

**MOTOR SUBSCORES**

LTR  + LTL  = LT TOTAL  (112)

PPR  + PPL  = PP TOTAL  (56)

**NEUROLOGICAL LEVELS** Steps 1-6 for classification as on reverse

1. SENSORY  R  L

2. MOTOR  R  L

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NL)

4. COMPLETE OR INCOMPLETE?  (In injuries with absent motor OR sensory function in S4-5 only)

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)

6. ZONE OF PARTIAL PRESERVATION  R  L

Most caudal levels with any innervation

Page 1/2 This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. REV 04/19

### **2.2.3 Autres outils d'évaluation neurologique**

D'autres outils d'évaluation neurologique existent, mais ne sont peu ou pas utilisés en clinique de façon contemporaine. La classification du grade de sévérité neurologique de Frankel(17) est le précurseur de l'examen ISNCSCI contemporain. Celui-ci comportait cinq grades de sévérité allant de A à E tout comme l'ISNCSCI. Par contre, celui-ci ne permettait pas d'établir un NNL(18) et sa définition de lésion complète (A) a par la suite été redéfinie dans le cadre des grades AIS de l'ISNCSCI(19, 20). Benzel et coll. ont également proposé en 1991 une modification de l'échelle d'évaluation des myélopathies de la *Japanese Orthopaedic Association*(21). Bien qu'intéressante sur du point de vue fonctionnel et que certains groupes de recherche aillent convertis les grades de l'échelle de Benzel en grades AIS(22), aucun NNL ne peut être établi avec un tel outil. Dans le cadre d'un examen neurologique chez un patient avec une LMT, autant le grade de sévérité que la localisation du NNL sont nécessaires pour la prise en charge aiguë médicale et chirurgicale.

### **2.2.4 Limites de l'ISNCSCI**

Comme mentionné précédemment, l'ISNCSCI est actuellement l'outil d'évaluation neurologique le plus reconnu et utilisé mondialement, tout en étant suggéré par les protocoles de traumatologie comme l'ATLS. L'ISNCSCI répond au besoin de déterminer le grade de sévérité et de localiser le NNL chez le patient avec une LMT. Par contre, l'ISNCSCI est une évaluation neurologique exhaustive avec plus de 134 éléments à évaluer, dont certains demandant une collaboration complète du patient. Cette évaluation neurologique détaillée n'est pas adaptée au patient avec une LMT en contexte aigu de prise en charge et de réanimation.

Même si l'ATLS suggère l'ISNCSCI pour documenter l'examen neurologique, le pourcentage d'examens ISNCSCI complétés dans les premiers jours suivant l'admission d'un blessé médullaire est très faible. Une étude pancanadienne a récemment démontré dans leur cohorte de 2649 patients traités dans des centres spécialisés en blessés médullaires que l'ISNCSCI avait été utilisé seulement chez approximativement 45% des patients lors de l'évaluation initiale(23). De plus, ce faible taux d'utilisation incluait tous les examens ISNCSCI retrouvés au dossier du patient qu'ils

soient complets ou non. Cette même étude a également montré que certains de ces centres spécialisés en soins de blessés médullaires avaient des taux d'examens ISNCSCI complets à l'intérieur de sept jours de leur admission aussi bas que 8%.

Plusieurs raisons peuvent expliquer ce faible pourcentage dont le temps requis pour compléter les 134 éléments de cet examen ayant été estimé à plus de 45 minutes pour un clinicien expérimenté avec un patient collaborant(24). De plus, les barrières à effectuer un examen neurologique détaillé sont nombreuses en présence d'un patient en situation de traumatologie aiguë. Certaines barrières sont directement reliées au patient telles que la présence de blessures musculo-squelettiques, de douleur distractive, d'un traumatisme crânien, d'une intoxication, de la nécessité d'intuber ou de sédatonner le patient, d'une atteinte psychologique ou d'une barrière de langue. D'autres barrières à l'examen neurologique sont en lien avec le contexte de traumatologie, soit l'environnement défavorable en salle de réanimation ainsi que le temps limité pour l'examen neurologique entre des interventions ou examens visant à préserver les fonctions vitales du patient. La conception de l'examen ISNCSCI, combinée aux différentes barrières à l'examen neurologique en situation de traumatologie, rend l'ISNCSCI mal adapté à l'évaluation aiguë des blessés médullaires. Comme démontré par les faibles taux de complétion des examens ISNCSCI lors de l'admission d'un patient de traumatologie, il existe donc un besoin clinique pour un outil d'évaluation neurologique simplifié et adapté pour le patient avec une LMT en contexte aigu.

L'objectif de l'évaluation neurologique du patient blessé médullaire doit bien correspondre au moment où cet examen est effectué. En effet, la validité de l'examen neurologique précoce a été contestée, principalement par rapport à sa valeur à prédire la récupération fonctionnelle. Burns et coll. ont montré sur un groupe de 29 sujets avec quadriplégie complète que l'examen neurologique effectué à 72h était plus discriminant sur la capacité fonctionnelle des patients à trois mois qu'un examen neurologique effectué à l'intérieur de 24h(25). Evaniew et coll. ont de leur côté démontré dans une cohorte de 85 patients que les blessés médullaires évalués à moins

de 4h avaient convertis à un grade et plus de l'AIS significativement plus que les patients ayant été examinés à plus de 4h du traumatisme(26). Ces deux études montrent donc que l'examen neurologique initial effectué en salle de réanimation chez un patient de traumatologie ne devrait pas être fait à des fins de pronostic de récupération neurologique ou fonctionnelle. Plutôt, cet examen neurologique précoce devrait servir à déterminer la sévérité de la LMT et d'en localiser le niveau pour orienter la suite de la prise en charge médicale et chirurgicale.

### **2.2.5 Outils d'évaluation neurologiques simplifiés proposés**

La démonstration de la mésadaptation de l'ISNCSCI dans le contexte d'évaluation neurologique se confirme par les efforts dans la littérature pour développer un examen neurologique simplifié, démontrant ainsi le réel besoin clinique d'un outil d'évaluation neurologique simplifié. Le SPEED(27) a été développée dans le but de détecter rapidement les LMT par les cliniciens de première ligne. Sa sur-simplification pour obtenir un score entre 0 et 8 rend impossible l'obtention d'un grade de sévérité précis et encore moins d'un NNL. L'impossibilité de déterminer un NNL pose un important problème en ce qui a trait à décider du type et du niveau d'imagerie nécessaire. De plus, les éléments inclus dans cet outil d'évaluation diffèrent pour la plupart des éléments inclus dans l'ISNCSCI, rendant toute comparaison ultérieure impossible.

L'*Expedited*-ISNCSCI (E-ISNCSCI)(24), une version raccourcie directement de l'ISNCSCI a également été proposée comme alternative à l'ISNCSCI. Par contre, cet outil a été développé pour le suivi longitudinal des blessés médullaires ou encore pour déterminer rapidement l'éligibilité d'un patient à une étude clinique. De l'aveu même des auteurs, l'E-ISNCSCI n'est pas indiqué dans la phase de prise en charge aiguë du patient blessé médullaire, ni chez un blessé médullaire chronique chez qui nous suspecterions un changement à son état neurologique. De plus, il nécessite l'expertise complète de l'ISNCSCI, en plus de connaître la méthodologie particulière de l'E-ISNCSCI, rendant son application pratique complexe en situation de traumatologie.

### 2.2.6 L'imagerie du blessé médullaire

Le patient avec une LMT nécessitera obligatoirement une imagerie de la colonne vertébrale pour orienter la suite de la prise en charge. Cette importance d'imager le rachis chez un patient avec une LMT se reflète dans les différents outils d'aide à la décision clinique pour déterminer quels patients devraient obtenir une imagerie du rachis suite à un traumatisme. Le *Canadian C-Spine Rule* (CCR) est un outil clinique qui permet d'établir ou non la nécessité d'effectuer une imagerie du rachis cervical chez le patient traumatique stable et alerte(28). Dans cet algorithme, la présence de paresthésies dans les extrémités est un critère absolu pour imaginer la colonne cervicale. Les critères du *National Emergency X-ray Utilization Study* (NEXUS) représentent un autre outil de dépistage pour déterminer quels patients bénéficieraient d'une imagerie du rachis cervical. Dans ce deuxième outil de décision clinique, la présence d'un déficit neurologique représente également un critère absolu d'imagerie(29). L'examen neurologique effectué en contexte aigu doit donc permettre de déterminer la sévérité de la LMT, mais doit également permettre de la localiser correctement à l'étage cervical, thoracique ou lombaire de manière à prescrire adéquatement quels niveaux du rachis devront être imagés initialement.

Le double objectif des outils d'aide à la décision clinique comme le CCR et les critères NEXUS sont d'une part de ne pas rater aucune lésion grave au niveau du rachis cervical et d'autre part de réduire les demandes d'imagerie et d'irradiation non nécessaires. En effet, Broder et coll. ont montré une augmentation de plus de 460% de l'utilisation de la tomодensitométrie (TDM) axiale cervicale entre 2001 et 2005 dans les départements d'urgences américains(30) tandis que Kokabi et coll. ont montré dans leur cohorte de 106 patients victimes d'un trauma contondant que 53% de ceux-ci avaient obtenu une TDM axiale cervicale non nécessaire(31). L'importance de l'examen neurologique à déterminer le NNL doit également remplir ce double rôle, soit de ne pas rater la présence d'une LMT, mais également d'être suffisamment précis pour localiser la LMT à l'étage cervical, thoracique ou lombaire et ainsi réduire l'exposition des patients à des imageries non nécessaires.



Une fois la nécessité d'imager le rachis déterminée, le type d'imagerie variera en fonction du centre hospitalier et de la disponibilité des ressources. Au niveau cervical, une série de radiographies cervicales peut être demandée soit une vue latérale de l'occiput jusqu'à T1, une vue antéro-postérieure ainsi qu'une vue antéro-postérieure de l'odontoïde avec la bouche ouverte. De façon contemporaine, la tomодensitométrie (TDM) axiale cervicale a majoritairement remplacé les radiographies simples avec l'augmentation de sa disponibilité ainsi qu'à sa sensibilité supérieure aux radiographies conventionnelles. Une TDM axiale cervicale de l'occiput jusqu'à T1 avec une reconstruction sagittale et coronale représente un bilan d'imagerie cervical complet. La TDM permettra principalement d'évaluer la présence de fractures cervicales ou de luxations facettaires. L'évaluation des tissus mous y est limitée, mais peut se faire de façon indirecte en évaluant par exemple l'épaisseur des tissus mous rétropharyngés pour détecter la présence de fractures occultes.

Suite à l'imagerie du rachis cervical, l'imagerie du rachis dorsal et lombaire doit être considérée. Même s'il n'existe pas d'outil d'aide à la décision clinique pour le rachis dorsal et lombaire tels que le CCR ou les critères NEXUS, des indications similaires supportent d'imager le rachis dorso-lombaire. La présence d'un déficit neurologique aux membres inférieurs ou d'une douleur à la palpation du rachis dorso-lombaire nécessitera une imagerie de la région impliquée. De plus, la présence d'une fracture détectée au niveau cervical devrait augmenter la vigilance sur la présence d'une fracture à l'étage dorso-lombaire puisque jusqu'à 19% des patients avec une fracture cervicale auront une autre fracture vertébrale non adjacente dont jusqu'à 14% à l'étage thoracique ou lombaire(32). Dans le cas d'une atteinte médullaire cervicale complète, l'examen neurologique ne pourra pas aider à déterminer si une imagerie dorso-lombaire sera nécessaire. Par contre, avec certains syndromes médullaires cervicaux, un déficit aux membres supérieurs sera présent tout en épargnant relativement les membres inférieurs. À ce moment, un examen neurologique pourra outiller sur la nécessité d'imager le rachis dorso-lombaire advenant un déficit neurologique disproportionné aux membres inférieurs. Une fois la décision d'imager la colonne dorso-lombaire prise, la TDM constitue habituellement la modalité d'imagerie utilisée. Si le patient s'est présenté avec un bilan lésionnel important, celui-ci pourrait également avoir

bénéficié d'une TDM axiale thoraco-abdomino-pelvienne, d'où des reconstitutions axiales, sagittales et coronales du rachis dorsal et lombaire peuvent habituellement être obtenues sans irradier le patient de manière supplémentaire et sans occasionner de délai additionnel. Tout comme à l'étage cervical, la TDM permettra principalement d'évaluer les structures osseuses à la recherche de fractures, de dislocations facettaires ou de compromis du canal spinal.

Une autre modalité d'imagerie fréquemment employée chez le blessé médullaire est l'imagerie par résonance magnétique (IRM). Une fois la LMT localisée par l'examen neurologique et le site lésionnel du rachis démontré à la TDM, une IRM permettra de compléter le diagnostic. L'importance de l'examen neurologique à localiser l'étage lésionnel se reflète dans le non-réalisme à imager la colonne vertébrale complète par IRM. En effet, l'étage cervical, thoracique ou lombaire devra avoir préalablement déterminé par le biais de l'examen neurologique et complétement par le bilan de TDM axiale. L'IRM permet d'évaluer la présence d'une herniation discale, d'un hématome épidual ou de pathologies dégénératives occasionnant une sténose du canal spinal non détectée à la TDM. L'aspect du cordon médullaire peut également être directement évalué et comparé au niveau de l'atteinte neurologique détectée par l'examen neurologique. La corrélation entre l'examen neurologique et l'aspect du cordon médullaire à l'IRM est un aspect important dans la prise en charge chirurgicale de ces patients. Un autre scénario possible est la présence d'une LMT sans fracture ou luxation de la colonne vertébrale détectée à la radiographie simple ou à la TDM, un phénomène appelé soit *Spinal Cord Injury Without Radiologic Abnormality* (SCIWORA) ou *Spinal Cord Injury Without Radiographic Evidence of Trauma* (SCIWORET)(33). Bien que ce phénomène soit plus fréquent chez la population pédiatrique, il est également décrit chez l'adulte(34). Cette entité renforce l'importance de l'évaluation neurologique initiale dans la détermination du bilan radiologique nécessaire. Une fois détectée par l'évaluation neurologique, l'IRM permettra de définir la cause du SCIWORA/SCIWORET, que ce soit une instabilité ligamentaire ou une anomalie intrinsèque du cordon médullaire. L'IRM est en effet la modalité de choix pour évaluer les structures ligamentaires et permet d'évaluer la compétence des ligaments majeurs de la colonne vertébrale tels que le ligament longitudinal antérieur, le ligament longitudinal postérieur ainsi que le

complexe ligamentaire postérieur (capsules articulaires facettaires, ligament jaune, ligaments interépineux et ligament sus-épineux). Un autre type de LMT pouvant être dépisté à l'examen clinique et qui pourrait se présenter avec une imagerie par TDM axiale normal est le syndrome centromédullaire(35) sans instabilité. L'IRM permet de mettre en évidence une anomalie de signal du cordon médullaire et de localiser adéquatement le niveau de la LMT par un hypersignal médullaire en séquence T2 ou en séquence *Short Tau Inversion Recovery* (STIR). L'IRM permet aussi d'évaluer les multiples causes dégénératives de sténose du canal spinal de plus en plus présentes dans la population traumatique vieillissante.

En résumé, l'outil d'évaluation neurologique initiale du patient en traumatologie doit d'une part permettre d'identifier la présence d'une LMT, mais également identifier correctement l'étage lésionnel. Ceci permettra de ne pas rater une LMT, mais également de réduire l'exposition du patient à l'irradiation causée par des examens radiologiques non nécessaires.

### **2.2.7 Prise en charge médicale des blessés médullaires**

Un patient atteint d'une LMT doit bénéficier d'un suivi médical rapproché autant en préopératoire qu'en postopératoire. Il sera habituellement admis dans une unité de soins intensifs ou intermédiaires où une évaluation constante de ses paramètres cardio-respiratoires et de tension artérielle moyenne (TAM) sera effectuée(36). En fonction du NNL, un blessé médullaire sera particulièrement à risque de complications spécifiques. Le patient avec une LMT cervicale sera à risque de complications respiratoires dû, en autres, à l'innervation cervicale haute (C3-C4-C5) du diaphragme via le nerf phrénique et pourrait dans certains cas bénéficier d'une intubation prophylactique. Un patient avec une LMT thoracique sera également à risque de complications respiratoires par la perte de l'utilisation de ses muscles intercostaux tout en étant à risque de développer un choc neurogénique. Le choc neurogénique est causé par la perte de l'influx du système autonome sympathique qui occasionne une perte des résistances vasculaires périphériques. Le choc neurogénique se caractérise par une hypotension combinée à une bradycardie le distinguant ainsi du patient de traumatologie avec choc hypovolémique qui se

présente habituellement avec une hypotension combinée à une tachycardie(37). En plus de la surveillance de ces paramètres respiratoires et hémodynamiques, un autre élément en lien avec la pertinence de la détermination du NNL et de la connaissance de l'anatomie du système nerveux est qu'une lésion proprement médullaire, soit jusqu'au cône médullaire habituellement situé à la première vertèbre lombaire, bénéficiera du maintien d'une tension artérielle moyenne (TAM) supérieure à 85 mm hg jusqu'à 7 jours suivant le traumatisme médullaire pour favoriser la récupération neurologique(38). Ce maintien d'une TAM adéquate sera rendu possible grâce à un suivi en continu à l'unité de soins intensifs ainsi à l'administration de vasopresseurs au besoin. La prise en charge médicale initiale du blessé médullaire consiste donc à prévenir l'aggravation de la LMT par la mobilisation adéquate du patient en bloc, à surveiller l'apparition de potentielles complications respiratoires et hémodynamiques, à maintenir une perfusion médullaire optimale en visant une TAM > 85 mm hg et à optimiser le patient en vue d'une chirurgie de décompression et de stabilisation.

En résumé, le rôle de l'examen neurologique dans la prise en charge médicale des patients avec une LMT est de prévenir les complications propres à chacun des segments médullaires en localisant adéquatement le NNL. De plus, l'examen neurologique fait en contexte aigu doit être adapté pour être reproduit à de nombreuses reprises et ainsi détecter une détérioration neurologique préopératoire ou postopératoire.

### **2.2.8 Détériorations neurologiques périopératoires**

Les détériorations neurologiques périopératoires sont une entité clinique hétérogène. Ces variations peuvent être dues à de nombreuses étiologies allant de l'insulte secondaire intrinsèque de la LMT telle qu'abordée précédemment ou le résultat d'une atteinte iatrogénique chirurgicale. Thirumala et al. ont étudié la prévalence des détériorations neurologiques dans une large cohorte rétrospective de plus de 1,8 million de patients soumis à une chirurgie élective du rachis. De ces patients, 15 066 ont subi une détérioration neurologique, soit une prévalence de 0,8%(39). Toujours en lien avec les détériorations neurologiques suite à une chirurgie spinale élective,

Cramer et al. ont quant à eux obtenus dans leur cohorte de 11 817 patients une détérioration neurologique majeure chez 21 patients soit 0,2% de leur cohorte(40). En lien maintenant avec les détériorations neurologiques périopératoires des patients blessés médullaires, Marshall et al. ont observé une détérioration motrice ou sensitive chez 14 patients de leur cohorte prospective de 283 patients blessés médullaires, soit un total de 4,9%. Douze détériorations étaient en lien avec la prise en charge médicale ou chirurgicale (complication iatrogénique peropératoire ou en lien avec l'immobilisation non chirurgicale) alors que deux détériorations étaient décrites comme spontanées soit une en lien avec une instabilité mécanique et une autre avec une instabilité systémique et hémodynamique(41). Finalement, Harrop et al. ont constaté une détérioration du niveau neurologique chez 12 patients de leur cohorte de 186 patients blessés médullaires cervicaux complets (AIS grade A) soit un total de 6,5%(42). Les différentes étiologies des détériorations neurologiques rapportées dans ces études se divisent en causes préopératoires, peropératoires et postopératoires. En préopératoire, les causes de dégradations possibles sont la non-compliance aux mesures de précautions d'immobilisation du rachis ou en lien avec l'insulte médullaire secondaire. En peropératoire, les causes possibles sont une atteinte médullaire traumatique lors de la décompression, de l'instrumentation ou lors d'une correction d'une déformation du rachis. En postopératoire immédiat, les causes principales de détériorations neurologiques sont la formation d'un hématome épidual, d'une collection de fluide ou le résultat d'un œdème de reperfusion. Le pronostic à long terme des patients avec une détérioration neurologique périopératoire est difficilement prévisible et se base sur les mêmes variables connues pour influencer le pronostic de récupération neurologique des atteintes médullaires traumatiques comme par exemple l'âge du patient, le niveau de l'atteinte neurologique (cervicale, thoracique ou lombo-sacrée) et si l'atteinte médullaire est complète (AIS A) versus incomplète (AIS B, C ou D)(43).

En résumé, les détériorations neurologiques périopératoires sont d'étiologies et de prévalences hétérogènes. La prévalence de ces détériorations neurologiques varie selon les populations et interventions étudiées, mais se situe à moins de 1% pour les chirurgies spinales électives et entre 4,9% et 6,5% chez les patients blessés médullaires dans les études recensées.

### **2.2.9 Prise en charge chirurgicale des blessés médullaires**

Une des plus récentes avancées dans la prise en charge des patients blessés médullaires est le concept de « *Time is spine* »(44) qui vise à diminuer au maximum le temps entre le traumatisme médullaire et le geste chirurgical pour diminuer l'impact de l'insulte secondaire ainsi que la progression de la zone médullaire atteinte. L'emphase est mise sur la précocité d'une chirurgie de décompression et stabilisation, soit en moins de 24h après le traumatisme. La portion de décompression de la chirurgie permet d'éliminer la compression persistante sur la moelle épinière en retirant les éléments osseux compressifs. Cette décompression des éléments neuraux réduit l'ischémie médullaire et vise à permettre la restauration de la microvascularisation en augmentant l'espace disponible pour la moelle épinière. La portion de stabilisation via l'instrumentation et la fusion vise à rétablir et à maintenir l'alignement de la colonne vertébrale. Cette stabilisation redonne l'intégrité de la colonne vertébrale à protéger les éléments neurologiques. L'étude prospective canadienne STASCIS a montré le bénéfice et la sécurité d'une chirurgie dans les premiers 24h après une LMT cervicale. Dans leur cohorte de 222 patients disponibles pour leur suivi à six mois, les patients ayant bénéficié d'une chirurgie <24h s'étaient améliorés de deux grades AIS significativement plus que le groupe de patients ayant été opérés <48h alors que le taux de complications n'était pas significativement différent entre les deux groupes(45). Dans une étude publiée en 2020, Badhiwala et coll. ont également démontré un bénéfice à la chirurgie de décompression <24h chez les patients avec une LMT cervicale, thoracique ou thoracolombaire. Dans leur méta-analyse de données individuelles de 1031 patients, les patients ayant été opérés <24h ont obtenu des améliorations significatives de leurs scores sensitifs et moteurs à un an comparativement aux patients ayant été opérés >24h(46).

La prise en charge du patient avec une LMT en contexte aigu débute avec l'évaluation standardisée et ordonnée des atteintes systémiques pouvant mettre sa vie en danger. L'examen neurologique du patient avec une LMT est de première importance pour déterminer la sévérité ainsi que le NNL de l'atteinte neurologique et prescrire l'imagerie de la colonne vertébrale et de la moelle épinière nécessaire. L'examen neurologique, combiné aux trouvailles radiologiques, permettra de mettre en place la prise en charge médicale et de planifier la chirurgie de décompression et stabilisation. Toute cette prise en charge, en plus d'être systématique, doit être efficace et rapide pour diminuer au maximum le temps entre le traumatisme et la chirurgie pour optimiser le pronostic neurologique et fonctionnel du patient.





## **Chapitre 3 – Problématique, hypothèses et objectifs**

### **3.1 Contexte de la problématique**

L'examen neurologique initial du patient se présentant avec une lésion médullaire traumatique (LMT) est d'une importance capitale. Cet examen doit permettre d'identifier la sévérité ainsi que la localisation de la LMT. La détermination du grade de sévérité aura un impact direct sur la prise en charge aiguë médicale et chirurgicale du patient alors que la localisation de la LMT permettra de surveiller l'apparition de complications propres aux différents niveaux médullaires en plus d'orienter sur les examens d'imagerie à obtenir.

L'examen neurologique du blessé médullaire est un examen physique difficile en raison de l'anatomie médullaire fonctionnelle complexe telle que décrite au chapitre 2. S'ajoute à la complexité de l'examen neurologique la présentation clinique du blessé médullaire, qui de par les mécanismes impliqués dans les LMTs, se présente fréquemment comme un patient de traumatologie avec des atteintes à plusieurs systèmes. La co-existence de lésions associées comme des atteintes musculo-squelettiques, d'un traumatisme crânien ou d'une lésion à un organe interne rend la collaboration du patient à l'examen neurologique difficile. De plus, l'environnement de la salle de réanimation se porte mal à un examen neurologique complexe.

En plus d'être un examen de première importance pour la prise en charge clinique du patient et d'être un examen complexe, l'examen neurologique initial du patient blessé médullaire en traumatologie doit également être expéditif. Cette rapidité est justifiée par le temps accordé à l'examen neurologique entre des interventions et des examens visant à protéger le pronostic vital du patient. Cette rapidité est aussi voulue pour que tout soit mis en place pour accélérer la prise en charge médicale et chirurgicale du patient avec une LMT pour prévenir l'insulte secondaire.

Actuellement, l'examen neurologique suggéré par les protocoles de traumatologie tel que *l'Advanced Trauma Life Support (ATLS)* est *l'International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI)*. L'ISNCSCI est l'outil d'évaluation et de classification neurologique le plus reconnu et mondialement utilisé pour les patients avec une LMT. Par contre, l'ISNCSCI n'est pas adapté à la réalité du patient avec une LMT en contexte aigu avec ses 134 éléments à tester et n'a pas été conçu dans l'objectif d'être utilisé à la présentation initiale du patient de traumatologie. Il s'agit plutôt d'un outil d'évaluation neurologique permettant de guider la réadaptation fonctionnelle, d'établir des balises au pronostic de récupération neurologique et d'évaluer l'efficacité des interventions chez les patients avec une LMT. L'adhérence à l'examen ISNCSCI dans les centres canadiens spécialisés en blessés médullaires est faible et le taux d'examens ISNCSCI complétés à l'intérieur de sept jours de l'admission du patient avec une LMT ont été documentés à des taux aussi bas que 8%(23).

Il existe donc un besoin clinique important pour un outil d'évaluation neurologique adapté à la réalité du patient avec une LMT qui se présente dans un contexte de traumatologie. Cet outil d'évaluation neurologique doit être capable de déterminer la sévérité ainsi que le niveau neurologique lésionnel (NNL), tout en étant en mesure de détecter les variations neurologiques périopératoires.

### **3.2 Hypothèses et objectifs de recherche**

L'objectif global de ce travail est de développer une version simplifiée de l'ISNCSCI comprenant 50% moins d'éléments et qui peut être utilisée comme outil d'évaluation neurologique dans un contexte de prise en charge aiguë de traumatologie.

L'hypothèse de recherche principale est la suivante :

Hypothèse 1: En utilisant une version simplifiée de l'ISNCSCI, le grade de sévérité et le niveau neurologique lésionnel (NNL) peuvent être déterminés avec un taux de concordance d'au moins 90%.

Objectif 1a : Développer une version simplifiée de l'examen ISNCSCI pour les patients avec une LMT en contexte aigu permettant de déterminer le grade de sévérité et le NNL.

Objectif 1b : Valider sa capacité à déterminer le grade de sévérité ainsi que le NNL par rapport à l'examen de référence ISNCSCI.

La deuxième hypothèse de recherche est la suivante :

Hypothèse 2: Une version simplifiée de l'ISNCSCI peut détecter les variations neurologiques périopératoires détectées par l'examen ISNCSCI.

Objectif 2: Comparer l'évolution neurologique périopératoire mesurée par la version simplifiée de l'ISNCSCI avec l'évolution neurologique périopératoire mesurée avec la version originale de l'ISNCSCI.

La troisième hypothèse de recherche est la suivante :

Hypothèse 3: Le taux de complétion de la version simplifiée de l'ISNCSCI est significativement plus élevé que le taux de complétion canadien estimé maximale à 44% de la version originale de l'ISNCSCI.

Objectif 3a : Implémenter cliniquement la version simplifiée de l'examen ISNCSCI dans un centre tertiaire de traumatologie, spécialisé en blessés médullaires.

Objectif 3b: Évaluer la complétion de la version simplifiée de l'examen ISNCSCI suite à son implémentation dans un centre tertiaire de traumatologie, spécialisé en blessés médullaires.

## **Chapitre 4 – Matériel et méthodes**

Ce travail comporte trois volets. Le premier volet consiste au développement et à la validation d'une version simplifiée de l'examen de l'*International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury* (ISNCSCI) pour les patients avec une lésion médullaire traumatique (LMT) en contexte aigu. Le second volet vise à évaluer la capacité de cette version simplifiée à détecter les variations neurologiques périopératoires par rapport à l'outil de référence ISNCSCI. Finalement, le troisième volet évalue l'implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI dans un hôpital de traumatologie tertiaire spécialisé en blessés médullaires.

### **4.1 Développement d'une version simplifiée de l'ISNCSCI pour les patients avec une LMT en contexte aigu**

#### **4.1.1 Évaluation de l'adhérence à l'ISNCSCI en traumatologie**

Une première étude rétrospective de la base de données électronique complète de l'hôpital du Sacré-Cœur de Montréal a été faite du 1<sup>er</sup> juin 2018 au 30 septembre 2021 pour évaluer le pourcentage d'examens ISNCSCI complétés lors de l'admission d'un patient avec une LMT. Le pourcentage d'examens complétés (complet versus incomplet), ainsi que le taux de complétion de chacun des 134 éléments de l'ISNCSCI (20 myotomes, 56 dermatomes au toucher léger, 56 dermatomes à la piquûre, la sensibilité anale profonde ainsi que la contraction anale volontaire) ont été évalués.

#### **4.1.2 Méthode Delphi modifiée**

Les pourcentages d'examens ISNCSCI complétés ainsi que le taux de complétion de chacun de ses 134 éléments ont été présentés à six cliniciens de domaines et de niveaux d'expertise différents soit : deux chirurgiens orthopédistes spécialisés en chirurgie du rachis, deux médecins spécialisés en physiothérapie, un résident en orthopédie ainsi qu'un étudiant en médecine.

Basés sur ces résultats et sur leur expérience personnelle, ces six cliniciens ont dû proposer individuellement une adaptation simplifiée de l'examen ISNCSCI original. Cette adaptation devait convenir à une population de patients polytraumatisés et permettre de déterminer la sévérité ainsi que la localisation de la LMT. L'examen proposé devait l'être à partir des éléments originaux de l'ISNCSCI.

Les propositions des cliniciens ont été collectées suivant une méthode Delphi, c'est-à-dire que les cliniciens ne savaient pas les propositions des autres cliniciens lors de la première ronde, de manière à diminuer le biais de modification. Seul le chercheur principal avait accès aux réponses individuelles qui furent compilées dans un tableur Excel™ (Microsoft). Les éléments de l'examen ISNCSCI qui étaient unanimement supprimés ont été retirés du modèle, alors que les éléments unanimement conservés par tous ont été ajoutés au modèle. Pour les éléments qui n'atteignaient pas un consensus lors de la première ronde, les éléments que la majorité des cliniciens désiraient conserver ont été ajoutés au modèle alors que ceux que la majorité souhaitait supprimer ont été retirés du modèle. Ce modèle fut présenté à tous les cliniciens dans une deuxième ronde et fut accepté à l'unanimité. C'est ce modèle qui représente l'adaptation simplifiée de l'ISNCSCI et qui a été nommé le *Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury* (MAC-SCI).

## **4.2 Validation du *Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury***

La deuxième portion de l'étude consista à valider la capacité du MAC-SCI à déterminer la sévérité de la LMT ainsi que sa localisation à l'étage cervical, thoracique ou lombaire par rapport à l'ISNCSCI original. Également, sa capacité à détecter les variations neurologiques périopératoires par rapport à l'ISNCSCI a été évaluée.

#### **4.2.1 Design**

Une étude rétrospective de la même base de données électronique complète de blessés médullaires de l'hôpital du Sacré-Cœur de Montréal entre le 1<sup>er</sup> juin 2018 et le 30 septembre 2021 fut effectuée pour identifier les patients avec un examen ISNCSCI complet à l'admission ainsi qu'en postopératoire. Une taille d'échantillon de 35 patients avait été déterminée pour détecter un désaccord de 10% entre le MAC-SCI et l'ISNCSCI pour une puissance de 80% et un niveau de signification à 0,05(47).

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

Les critères d'inclusion des patients pour la cohorte de validation du MAC-SCI étaient : 1) avoir consenti à participer à la base de données prospective de blessés médullaires traumatiques, être âgé de 18 ans et plus, 3) avoir un examen ISNCSCI complet à l'admission et en postopératoire, 4) avoir un grade de sévérité A, B, C ou D, 5) avoir un niveau neurologique lésionnel entre C1 et S5 (N.B. les patients avec syndrome de queue de cheval sont inclus). Les patients avec une radiculopathie en absence de LMT ont été exclus.

#### **4.2.3 Collecte des données**

Les examens MAC-SCI furent reconstitués à partir des 35 examens ISNCSCI préopératoires et postopératoires retenus dans la cohorte de validation. Deux évaluateurs indépendants ont déterminé le grade de sévérité ainsi que le niveau neurologique lésionnel (NNL) basé exclusivement sur les informations incluses dans le MAC-SCI sans connaître le grade de sévérité ainsi que le NNL dérivés de l'ISNCSCI . Le grade de sévérité ainsi que le NNL étaient par la suite obtenus des examens ISNCSCI à l'aide de l'algorithme électronique de l'ISNCSCI Version 2.0(48).

#### **4.2.4 Mesures principales et secondaires**

La première mesure principale était la capacité du MAC-SCI à déterminer la sévérité de la LMT. Ceci était déterminé en comparant le grade de sévérité de l'atteinte neurologique obtenu par le MAC-SCI par rapport au grade de sévérité obtenu par l'ISNCSCI considéré comme le test étalon. La seconde mesure principale était le NNL identifié par le MAC-SCI par rapport au NNL identifié par l'ISNCSCI original.

La mesure secondaire était la capacité du MAC-SCI à détecter les variations neurologiques périopératoires. Les variations neurologiques périopératoires étaient dans un premier temps identifiées en comparant le grade de sévérité et le NNL préopératoire et postopératoire obtenus par l'ISNCSCI. Advenant la présence d'une variation neurologique périopératoire ainsi détectée, le grade de sévérité ainsi que le NNL préopératoire et postopératoire étaient obtenus via le MAC-SCI pour déterminer si celui-ci aurait capté la variation neurologique. Une variation dans le même sens (détérioration ou amélioration neurologique) était alors considérée comme détectée par le MAC-SCI.

#### **4.2.5 Analyses statistiques**

Le pourcentage d'accord global entre le MAC-SCI et l'ISNCSCI a été calculé pour le grade de sévérité ainsi que le NNL à l'admission du patient. Également, le pourcentage d'accord global de variations neurologiques périopératoires détectées a été obtenu.

### **4.3 Implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI**

La partie finale de l'étude portait à implémenter cliniquement l'utilisation du MAC-SCI dans un hôpital de traumatologie tertiaire spécialisé en blessés médullaires, soit l'hôpital du Sacré-Cœur de Montréal.



#### **4.3.1 Application des connaissances intégrées**

Tout au long du développement du MAC-SCI, des experts ainsi que des utilisateurs d'outils d'évaluation neurologiques ont été consultés. L'implémentation clinique s'est donc faite de façon intégrée au développement du MAC-SCI par le biais de réunions de service incluant le service de traumatologie, le département de chirurgie orthopédique ainsi que par la diffusion via des présentations locales, régionales, provinciales et nationales.

#### **4.3.2 Évaluation de l'implémentation clinique préliminaire**

L'évaluation de cette implémentation clinique préliminaire a été effectuée en évaluant les taux de complétion du MAC-SCI et de chacun de ses 56 éléments dans les trois mois suivant son implémentation officielle dans un centre de traumatologie tertiaire spécialisé en blessés médullaires, soit l'hôpital du Sacré-Cœur de Montréal.

#### **4.3.3 Design**

Une étude rétrospective de la base de données électronique complète des patients avec une LMT entre le 1er février et le 30 avril 2022 a été menée. Les taux d'examen MAC-SCI (complet et incomplet), ainsi que les taux de complétion de chacun de ses éléments ont été évalués.

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

Les critères d'inclusion des patients pour la cohorte de validation du MAC-SCI étaient : 1) avoir consenti à participer à la base de données prospective de blessés médullaires traumatiques, être âgé de 18 ans et plus, 3) avoir un examen ISNCSCI complet à l'admission et en postopératoire, 4) avoir un grade de sévérité A, B, C ou D, 5) avoir un niveau neurologique lésionnel entre C1 et S5 (N.B. les patients avec syndrome de queue de cheval sont inclus). Les patients avec une radiculopathie en absence de LMT ont été exclus.

#### **4.3.5 Collecte des données**

Les examens MAC-SCI ont été recherchés dans l'ensemble des dossiers de patients inclus dans la cohorte d'évaluation de l'implémentation clinique. L'évaluation de pourcentage de complétion des examens MAC-SCI ainsi que de chacun de ses 56 éléments a été faite.

#### **4.3.6 Mesures principales**

La mesure principale était le pourcentage de complétion des examens MAC-SCI par rapport au taux de complétion des examens ISNCSCI canadiens précédemment estimé à maximum 44%.

#### **4.3.7 Analyses statistiques**

Un test de chi carré a été utilisé pour déterminer la signification statistique entre le taux de complétion du MAC-SCI et le taux de complétion de l'ISNCSCI canadien.

## Chapitre 5 – Article scientifique

### 5.1 Présentation de l'article

Cet article scientifique vise à répondre à l'objectif 1a, soit de proposer une adaptation simplifiée de l'examen neurologique de l'*International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury* (ISNCSCI) pour les patients avec une lésion médullaire traumatique (LMT) en contexte aigu. Le développement et le résultat de cette adaptation simplifiée de l'ISNCSCI nommé le *Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury* (MAC-SCI) y sont présentés.

Cet article vise aussi à répondre à l'objectif 1b, soit de valider la capacité du MAC-SCI à déterminer la sévérité ainsi que le niveau neurologique lésionnel (NNL) par rapport à l'ISNCSCI, l'examen de référence. Les résultats de cette validation à déterminer le grade de sévérité ainsi que le niveau neurologique lésionnel y sont également présentés. L'article a été soumis pour publication au *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*.

### 5.2 Déclaration des contributions des auteurs

Rémi Pelletier-Roy a participé au design de l'étude, à la collecte et à la mesure des données, à l'analyse des résultats, à l'élaboration du brouillon ainsi qu'à la révision finale du manuscrit de l'article.

Jean-Marc Mac-Thiong a participé au design de l'étude, à la mesure des données, à l'analyse des résultats, à l'élaboration du brouillon, à la révision du manuscrit de l'article et à la recherche du financement.

Antoine Dionne a participé au design de l'étude, à la collecte et à la mesure des données, à l'élaboration du brouillon ainsi qu'à la révision finale du manuscrit de l'article.

Andréane Richard-Denis a participé au design de l'étude, à l'analyse des résultats ainsi qu'à la révision finale du manuscrit de l'article.

Marie-Michèle Briand a participé au design de l'étude, à l'analyse des résultats ainsi qu'à la révision finale du manuscrit de l'article.

Étienne Bourassa-Moreau a participé au design de l'étude, à l'analyse des résultats ainsi qu'à la révision finale du manuscrit de l'article.

### **5.3 Article : Validation of a new tool to detect and characterize spinal cord injury in the acute trauma patient: the Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury (MAC-SCI)**

#### **5.3.1 Abstract**

##### **Background**

The International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI) is the most comprehensive tool for classifying spinal cord injuries (SCI), but it is not adapted for the initial evaluation of trauma patients. Therefore, the objective is to develop and validate a streamlined tool, the Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury (MAC-SCI) that can be integrated in the initial evaluation of trauma patients to detect and characterize traumatic SCI (tSCI), while preserving basic principles of the ISNCSCI.

##### **Methods**

The completion rate of the ISNCSCI during initial evaluation after tSCI was first estimated at a Level-1 trauma center specialized in SCI care. Using a modified Delphi technique, we then designed the MAC-SCI, a new tool to detect and characterize the severity grade and level of SCI in the polytrauma patient. A cohort consisting of the latest 35 consecutive tSCI patients with complete ISNCSCI documentation was used to validate the MAC-SCI. The severity grade and neurological level of injury (NLI) were assessed using the MAC-SCI, and compared to those obtained with the ISNCSCI.

## **Results**

Only 33% of 148 patients admitted after a tSCI had a complete ISNCSCI performed at initial presentation. The MAC-SCI retains 53 of the 134 elements from the ISNCSCI. There was a 100% concordance in severity grade between the MAC-SCI and ISNCSCI. The NLI were within two levels between the MAC-SCI and ISNCSCI for 100% of patients.

## **Conclusion**

The rate of completion of the ISNCSCI is low at presentation after an acute tSCI, even for a Level-I trauma center specialized in SCI. The MAC-SCI is a streamlined tool that accurately detects and characterizes tSCI in the acute trauma setting. It could be implemented in trauma protocols to guide the management of SCI patients.

**Level of Evidence:** Level III Diagnostic criteria

**Keywords:** Neurological evaluation, spinal cord injury, trauma

### 5.3.2 Introduction

Spinal cord injury (SCI) is a global health issue and is most often secondary to trauma. It has an estimated prevalence between 252,000 and 373,000 people in the United States(49). With an incidence of 54 cases per million population, about 17,900 new patients are admitted annually to emergency departments with an acute traumatic SCI in the United States(50). Falls and motor vehicle accidents are now the leading cause of traumatic SCI (tSCI)(2), such that a large proportion of tSCI patients present with polytrauma in the emergency departments.

The context of polytrauma necessitates prompt and standardized assessment of all injuries. The Advanced Trauma Life Support (ATLS) is a well-known systematic protocol aiming on managing life threatening issues and disabling conditions in an orderly fashion(12). The primary survey consists of a rapid 5-step examination known as the ABCDE (Airway, Breathing, Circulation, Disability and Exposure) to identify life-threatening injuries. The Disability step refers to the following concept: *“A rapid neurologic evaluation establishes the patient’s level of consciousness and pupillary size and reaction; identifies the presence of lateralizing signs; and determines spinal cord injury level if present.”*(12) In line with these goals, the Glasgow Coma Scale has been proposed as a quick, simple and objective method to define the level of consciousness. Once the patient has been stabilized during the primary survey, a more exhaustive evaluation of the patient can begin using the secondary survey. It consists of a system by system evaluation to identify injuries missed during the primary survey. Prompt detection of a SCI is essential because it can be associated with acute respiratory failure and neurogenic shock, and requires tight hemodynamic support and early spinal surgery to promote recovery(6).

However, the ATLS remains elusive as to how the SCI level should be determined. The ATLS suggests that a comprehensive neurological examination of motor and sensory functions be performed, and mentions that the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury worksheet (ISNCSCI)(14, 51) can be used to document the patient’s neurological examination. The ISNCSCI is the most widely used classification of SCI patients; it is based on a

comprehensive neurological examination to determine motor and sensory functions, as well as the neurological level of injury (NLI) and completeness of the injury. It has been used primarily for guiding the development of individualized rehabilitation programs, predict outcomes, document neurological recovery, and evaluate the effectiveness of interventions. Unfortunately, the ISNCSCI has not been developed specifically for the early acute management of trauma patients, and it is well known that in an acute trauma setting, full completion of the ISNCSCI remains difficult. Data from the Rick Hansen Spinal Cord Injury Registry (RHSCIR) reveal that completion rates of the ISNCSCI exam within seven days of admission for an acute tSCI are only 12% in Canadian trauma centers specialized in acute SCI care(23). Many barriers can explain these low completion rates even in trauma hospitals specialized in acute SCI care. For an experienced user, a complete ISNCSCI examination can take up to 45 minutes with a fully awakened and collaborative patient(24), which is time consuming for an emergent trauma situation. In addition to the time required to perform a complete ISNCSCI examination, potential patient's intrinsic barriers include associated injuries, closed head injury, intoxication, intubation, pain, sedation, psychological disorders and language barriers(52). Extrinsic barriers include the unfavorable environment in the trauma bay and the limited time for the neurological evaluation between life-saving interventions and examinations. These multiple barriers underscore the limitations of the ISNCSCI for use during the acute management of trauma patients.

To overcome these barriers, we will develop a new neurological assessment tool specifically adapted to the initial evaluation of trauma patients to detect and characterize SCI. While being applicable in the acute trauma setting, the Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury (MAC-SCI) includes a subset of the elements of the ISNCSCI documentation, and preserves basic principles of the ISNCSCI by determining the severity grade of the injury and NLI. Through this study, we will assess the ability of the MAC-SCI to determine the severity grade and NLI, in comparison with the ISNCSCI exam.



### **5.3.3 Methods**

This study was performed along the Standards for Reporting Diagnostic Accuracy Studies guideline (STARD) 2015. It was reviewed and approved by our local ethics committee and full study protocol can be accessed on request.

#### **Co-design of MAC-SCI**

##### **Completion of ISNCSCI exam in acute trauma setting**

We reviewed the medical charts of all patients admitted for a tSCI between June 1 2018, and September 30 2021, in order to retrieve the ISNCSCI documentation performed during the initial trauma assessment at admission to the emergency room, as part of the ATLS. The ISNCSCI documentation was implemented as a standard clinical evaluation tool in our electronic medical chart system June 1 2018. The completion rate of ISNCSCI documentation (complete vs. incomplete) was evaluated, as well as the completion rate of each of the 134 elements (20 for motor, 56 for light touch, 56 for pin prick, one for deep anal pressure and one for voluntary anal contraction) included in the ISNCSCI.

##### **Modified Delphi Method**

Using a modified Delphi method(53), we presented the completion rates for the ISNCSCI exams to two orthopedic surgeons, one orthopedic surgery resident, two physical and rehabilitation medicine physicians and one medical student. Based on these findings and on their clinical experience with the evaluation and management of SCI, these clinicians were asked to propose a simplified tool to detect and characterize SCI using any element of the ISNCSCI that they considered as relevant in an acute trauma setting. The selected elements were collected for each clinicians on an ISNCSCI worksheet and combined within a single spreadsheet (Microsoft Excel 2021). Their individual perceptions about the development of a new simplified tool adapted to the acute trauma setting were also collected. In addition to the anonymous clinicians'

perceptions, an ISNCSCI sheet including only the dermatomes and myotomes selected by the majority of the clinicians was presented to all the clinicians for a second iteration. At the end of the second iteration, a consensus was reached on which elements from the ISNCSCI to include in the MAC-SCI.

### **The MAC-SCI: Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury**

The MAC-SCI includes a subset of 53 elements taken from the ISNCSCI (Figure I): C2 to C4 and T2 to L1 dermatomes for light touch, C5 to T1 and L2 to S1 myotomes as well as the information from the rectal examination: voluntary anal contraction (VAC), superficial anal sensation (SAS) and deep anal sensation (DAP). Similar to VAC and DAP, assessment of SAS of light touch at S4-5 using the MAC-SCI is scored as present or absent, without consideration of laterality and magnitude (i.e. it is considered as present if any sensation is preserved on one or both sides). In case any myotome is non-testable in the extremities (e.g. limb fracture, associated injury, etc.), the corresponding dermatome for light touch (from C5 to T1 and L2 to S1) is assessed and a corresponding comment can be added in the examination barriers box on the MAC-SCI form. Assessment of pin prick sensation is not performed in the MAC-SCI.

Within the MAC-SCI, dermatomes are graded on a scale from zero to two. Zero for no sensation of light touch, one for diminished or altered sensation, and two for normal sensation. Myotomes are graded according to the Medical Research Council Muscle Scale<sup>(16)</sup> where zero is no contraction, one is contraction without movement, two is movement with gravity eliminated, three is full range of motion against gravity, four is full range of motion with resistance and five is normal resisted movement. Upper extremity myotomes from C5 to T1 are as follows: C5 elbow flexion, C6 wrist extension, C7 elbow extension, C8, fingers flexion and T1 fingers abduction. Lower extremity myotomes from L2 to S1 are: L2 hip flexion, L3 knee extension, L4 ankle dorsiflexion, L5 hallux extension and S1 ankle plantarflexion. MAC-SCI's simplified rectal

examination consists of superficial anal sensation, deep anal sensation and voluntary anal contraction.

The neurological level of injury (NLI) using the MAC-SCI is defined as the most distal segment of the spinal cord with normal sensory and motor function allowing full range of motion against gravity on both sides of the body (motor grade of three or more), provided that all proximal levels present intact motor and sensory function (motor grade of five and sensory function of two).

Severity grade of the MAC-SCI follows the same principles of the American Spinal Injury Association Impairment Scale (AIS). If there is no motor function or preserved sensation in the rectal examination (no VAC, no SAS and no DAP) the severity grade is classified as A (complete injury). If there is preserved DAP or SAS but no VAC the severity grade is classified as B (sensory incomplete). If there is VAC, the severity grade is classified as C (motor incomplete) if there is less than 50% of the myotomes distal to the NLI that have a motor grade of three or more, or classified as D (motor incomplete) if there is 50% or more of the myotomes distal to the NLI that have a motor grade of three or more. An additional consideration is if there is motor preservation more than three levels distal to a motor level, the patient is now considered motor incomplete C if there is less than 50% of the myotomes distal to the NLI that have a motor grade of three or more, or D if there is 50% or more of the myotomes distal to the NLI that have a motor grade of three or more. The motor level is defined as the most distal myotome that has a motor grade of three or more, provided that all proximal levels present intact motor function (motor grade of five). The motor level can be different on the right and left side.

Figure 5.1 – Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury (MAC-SCI)

# MAC-SCI

Montreal Acute Classification-SCI

Patient identification

|  |  | RIGHT |     | LEFT |  |  |
|--|--|-------|-----|------|--|--|
|  |  | /2    | C2  | /2   |  |  |
|  |  |       | C3  |      |  |  |
|  |  |       | C4  |      |  |  |
|  |  | /5    | C5  | /5   |  |  |
|  |  |       | C6  |      |  |  |
|  |  |       | C7  |      |  |  |
|  |  |       | C8  |      |  |  |
|  |  |       | T1  |      |  |  |
|  |  |       | T2  |      |  |  |
|  |  |       | T3  |      |  |  |
|  |  |       | T4  |      |  |  |
|  |  |       | T5  |      |  |  |
|  |  |       | T6  |      |  |  |
|  |  |       | T7  |      |  |  |
|  |  |       | T8  |      |  |  |
|  |  |       | T9  |      |  |  |
|  |  |       | T10 |      |  |  |
|  |  |       | T11 |      |  |  |
|  |  |       | T12 |      |  |  |
|  |  |       | L1  |      |  |  |
|  |  | /5    | L2  | /5   |  |  |
|  |  |       | L3  |      |  |  |
|  |  |       | L4  |      |  |  |
|  |  |       | L5  |      |  |  |
|  |  |       | S1  |      |  |  |

Grade

Level

Contraction  Yes  No

Superficial  Yes  No

Deep

Yes

No

Motor

Sensibility

**Injury**

Date (YYYY/MM/DD): \_\_\_\_\_

Time (HH:MM) : \_\_\_\_\_

Mechanism: \_\_\_\_\_

Associated injuries: \_\_\_\_\_

**Examination**

Date (YYYY/MM/DD): \_\_\_\_\_

Time (HH:MM) : \_\_\_\_\_

Exam barriers: \_\_\_\_\_

Examiner name : \_\_\_\_\_

Signature : \_\_\_\_\_

**Comments**

## **Validation of MAC-SCI**

### **Study design**

A retrospective analysis was carried out on a validation cohort of tSCI patients who had a complete ISNCSCI exam performed during the trauma assessment and ATLS at our Level-1 trauma center specialized in SCI care. These patients were identified from our electronic database of SCI patients admitted between June 1 2018, and September 30 2021. An estimated sample size of 35 was required to detect a 10% disagreement rate between the ISNCSCI and the MAC-SCI with a power of 80% and a level of significance of 0.05(47).

### **Validation Cohort**

Inclusion criteria for eligible patients to validate the MAC-SCI were: 1) consent to be included in our local prospective database of tSCI patients, 2) age 18 years or older, 3) complete ISNCSCI documentation during initial trauma assessment after an acute tSCI, 3) AIS grades A to D, and 4) NLI from C1 to S5 (N.B.: patients with cauda equina syndrome are included). Patients with radiculopathy in the absence of SCI were excluded. The latest 35 consecutive patients aged 55±17 years (27 males, 8 females) were included in the validation cohort. The baseline characteristics of the validation cohort are presented in Table I.

### **Data Collection and Validation**

We extracted the MAC-SCI from the ISNCSCI performed during the initial trauma assessment for all 35 patients of the validation cohort, and transferred the MAC-SCI on a spreadsheet. Two independent assessors (RPR and AD) determined the severity grade and NLI based exclusively on the information included in the MAC-SCI. The AIS grade and NLI were subsequently obtained from the complete ISNCSCI using the Version 2.0 (2019 updates) ISNCSCI algorithm(48).

**Table 5.1 – Baseline Characteristics of the Validation Cohort**

| <b>Characteristic</b>   | <b>Study Cohort<br/>(n=35 latest consecutive)</b> |
|---|---|
| Settings  | Level one trauma center                           |
| Inclusion period  | June 2018 to September 2021                       |
| Sex male n (%)  | 27 (77%)  |
| Mean age at injury years ( $\pm$ SD)                                | 53 ( $\pm$ 17)                                    |
| <b>AIS initial neurological deficit n (% patients)</b>              |   |
| AIS grade A   | 10 (29%)  |
| AIS grade B   | 6 (17%)   |
| AIS grade C   | 4 (11%)   |
| AIS grade D   | 15 (43%)  |
| <b>ISNCSCI Level of initial neurological deficit n (% patients)</b> |   |
| High cervical (C1-C4)   | 6 (17%)   |
| Low cervical (C5-T1)  | 11 (31%)  |
| High thoracic (T2-T10)  | 7 (20%)   |
| Low thoracic (T11-L2)   | 9 (26%)   |
| Lombo-sacral (L3-S5)  | 2 (6%)  |

ISNCSCI: International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury;

AIS: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale; SD: standard deviation.

## **Main Outcomes**

The first main outcome was the ability of the MAC-SCI to detect and grade the severity of the SCI. This was determined by the concordance between the severity grade derived from the MAC-SCI and the AIS grade derived from the ISNCSCI. Another main outcome was the ability of the MAC-SCI to localize the SCI within one or two levels of the NLI derived from the ISNCSCI.

## **Statistical Analysis**

The proportion of the concordance in the assessment of the severity grade and NLI between the MAC-SCI and ISNCSCI was calculated. Secondly, the ability of the MAC-SCI to discriminate between cervical (C0 to C7) vs. thoracic (T1 to T9) vs. thoraco-lumbar (T10 to L2) vs. lumbo-sacral (L3 to S5) injuries was also determined, in comparison with the ISNCSCI.

### **5.3.4 Results**

#### **Completion of ISNCSCI exam in acute trauma setting**

From June 1 2018 to September 30 2021, 49 of 148 spinal cord injured patients had complete ISNCSCI documentation at the initial trauma evaluation, resulting in a completion rate of 33%. Figure II presents the completion rates for each element of the ISNCSCI. The mean completion rate for C2 to C4 dermatome assessment was higher for light touch than pin prick (63% vs. 46%). The mean completion rate for C5 to T1 levels was highest for myotome assessment (89%), followed by dermatome assessment from light touch (80%) and pin prick (53%). The mean completion rate for T2 to L1 dermatome assessment was higher for light touch than pin prick (69% vs. 48%). The mean completion rate for L2 to S1 levels was highest for myotome assessment (94%), followed by dermatome assessment of light touch and pin prick (82% vs. 52%). The mean completion rate for S2 to S5 dermatome assessment was higher for light touch than pin prick (59% vs. 49%). Specifically for S4-5 sensation, mean completion rate was higher for light touch

than pin prick (66% vs. 51%). Deep anal pressure was assessed in only 63% of patients while voluntary anal contraction was assessed in 80% of patients.

**Figure 5.2 –** Completeness of ISNCSCI and each individual element at admission with retained dermatomes and myotomes for the MAC-SCI (in light gray)

## ISNCSCI completeness at trauma admission: 33%

### RIGHT

### LEFT

| RIGHT                            |                  |                | LEFT |                          |                |
|----------------------------------|------------------|----------------|------|--------------------------|----------------|
|                                  | Light Touch (LT) | Pin Prick (PP) |      | Light Touch (LT)         | Pin Prick (PP) |
|                                  | 63%              | 46%            |      | 62%                      | 46%            |
|                                  | 63%              | 46%            |      | 62%                      | 46%            |
|                                  | 65%              | 47%            |      | 64%                      | 47%            |
| C5                               | 89%              | 79%            | 79%  | 53%                      | 89%            |
| C6                               | 89%              | 79%            | 79%  | 53%                      | 89%            |
| C7                               | 90%              | 80%            | 80%  | 54%                      | 89%            |
| C8                               | 90%              | 80%            | 80%  | 53%                      | 89%            |
| T1                               | 89%              | 80%            | 80%  | 53%                      | 88%            |
|                                  | 68%              | 48%            |      | 68%                      | 49%            |
|                                  | 68%              | 46%            |      | 68%                      | 47%            |
|                                  | 68%              | 47%            |      | 68%                      | 47%            |
|                                  | 69%              | 47%            |      | 69%                      | 48%            |
|                                  | 69%              | 47%            |      | 69%                      | 48%            |
|                                  | 69%              | 47%            |      | 69%                      | 48%            |
|                                  | 70%              | 48%            |      | 69%                      | 48%            |
|                                  | 70%              | 48%            |      | 70%                      | 49%            |
|                                  | 70%              | 48%            |      | 70%                      | 49%            |
|                                  | 69%              | 47%            |      | 69%                      | 48%            |
|                                  | 70%              | 48%            |      | 70%                      | 49%            |
|                                  | 69%              | 48%            |      | 69%                      | 49%            |
| L2                               | 93%              | 82%            | 81%  | 52%                      | 93%            |
| L3                               | 94%              | 82%            | 82%  | 52%                      | 93%            |
| L4                               | 94%              | 82%            | 82%  | 53%                      | 94%            |
| L5                               | 94%              | 82%            | 82%  | 53%                      | 94%            |
| S1                               | 94%              | 82%            | 82%  | 53%                      | 94%            |
|                                  | 66%              | 50%            |      | 67%                      | 51%            |
|                                  | 65%              | 50%            |      | 65%                      | 51%            |
|                                  | 66%              | 51%            |      | 66%                      | 53%            |
| (VAC) Voluntary anal contraction | 80%              |                | 63%  | (DAP) Deep anal pressure |                |



## Validation of the MAC-SCI

The severity grade obtained from the MAC-SCI was concordant with the AIS grade obtained with the ISNCSCI for all 35 subjects (100% concordance). There were more patients with a severity grade D injury (43%), when compared to those with grade A (29%), B (17%) and C (11%) injuries.

The MAC-SCI identified the NLI within two levels of the NLI identified from the ISNCSCI in 100% of the cases. The MAC-SCI identified the NLI within one level of the NLI identified from the ISNCSCI in 91% of the cases. Furthermore, the MAC-SCI was 100% concordant with the ISNCSCI to discriminate between cervical vs. thoracic vs. thoraco-lumbar vs. lumbo-sacral SCI. There were 17% of patients with a high cervical SCI (C1-C4), 31% with a low cervical SCI (C5-T1), 20% with a high thoracic SCI (T2-T10), 26% with a thoraco-lumbar SCI (T11-L2), and 6% with a lumbo-sacral SCI (L3-S5). Since the severity grade and NLI were retrospectively calculated for both the MAC-SCI and the ISNCSCI there were no adverse events possible. Validation results are summarized in Table II.

**Table 5.2 – MAC-SCI Validation Results**

| <b>Study Cohort (n=35)</b>                             |      |
|--|------|
| <b>MAC-SCI severity grade vs AIS</b>                   |      |
| Identical  | 100% |
| <b>MAC-SCI vs ISNCSCI neurological level of injury</b> |      |
| Identical  | 71%  |
| Within 1 level   | 91%  |
| Within 2 levels  | 100% |

MAC-SCI: Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury

ISNCSCI: International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury

AIS: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale.

### 5.3.5 Discussion

The difficulty for performing a full ISNCSCI exam during the initial evaluation of trauma patients led to the development of the MAC-SCI, a streamlined neurological examination tool specifically dedicated to acute trauma patients. Full completion of the ISNCSCI at our Level-1 trauma center specialized in SCI care was only 33% during initial trauma assessment, paralleling the low completion rates observed in other trauma centers specialized in SCI care(23). We have also observed that for all levels of the upper and lower extremities, myotome assessment was more likely to be completed, followed by light touch and pin prick assessment. For other levels, light touch assessment was systematically more likely to be completed than pin prick assessment. Considering that this behavior is also generalized among other trauma centers specialized in SCI care(23), our participants of the Delphi process have prioritized myotome assessment over dermatomal assessment in the extremities, and light touch over pin prick assessment for other levels in the MAC-SCI, in order to facilitate clinical translation in the acute trauma setting.

The MAC-SCI was 100% accurate in determining the completeness of the SCI in terms of severity grade, when compared to the ISNCSCI. With the accuracy of 100% for locating the NLI within two levels of that obtained with the ISNCSCI, the MAC-SCI was also effective in localizing the level of the SCI. More specifically, the MAC-SCI was 100% accurate to discriminate between cervical vs. thoracic vs. thoraco-lumbar vs. lumbo-sacral SCI, which are landmarks often used to guide the investigation and early management of SCI (levels for imaging, intubation for impending ventilatory failure and procedures for spinal immobilization).

The MAC-SCI was able to detect and characterize SCI with only one neurologic modality (motor or sensory function) per neurologic level, which results in 60% fewer elements to assess than the ISNCSCI. By retaining less than 40% of the original elements of the ISNCSCI, the MAC-SCI may overcome multiple barriers preventing a complete ISNCSCI examination in an emergent trauma setting. In particular, the MAC-SCI inherently requires less time to perform, and it is expected that both patients and clinicians will be more motivated to complete the neurological assessment

using this new tool. The MAC-SCI could be particularly useful when additional emergent interventions are required (e.g. resuscitation, traction, etc.) or when a patient's alertness is limited. However, further study should be undertaken to determine whether this time saving could improve the reproducibility of the neurological assessment in acute trauma patients, or improve the outcomes. The flexibility to use the dermatome assessment of light touch for the extremities in case of non-testable myotomes also highlights the specificity of the MAC-SCI for the trauma setting, since trauma patients may have associated injuries to the extremities that limit strength testing.

Attempts have been made in the past to develop a simplified neurological examination tool for the acute management of SCI, supporting the important need for a streamlined neurological evaluation in an emergency setting. The SPEED(27) was intended to be performed by first line clinicians to detect SCI, but its oversimplification (scoring from 0 to 8) makes it impossible to determine with accuracy the severity grade and the NLI, which are two key principles of the ISNCSCI. For example, the severity grade and NLI are important aspects for clinicians to decide on the need, timing and level (i.e. cervical vs. thoracic vs. lumbo-sacral) for CT imaging of the spine and magnetic resonance imaging of the spinal cord, which are not included routinely as part of the ATLS imaging protocol. Moreover, as opposed to the MAC-SCI, this previous method does not allow comparison with subsequent ISNCSCI exams, when for example, a neurological deterioration is suspected. Conversely, all elements of the MAC-SCI are included in the ISNCSCI, such that direct comparisons can be made for corresponding elements. Another attempt at simplifying the ISNCSCI is the Expedited-ISNCSCI(24), although it has never been validated in a clinical study. This tool has been designed primarily for rehabilitation and follow-up purposes, and not for the acute trauma setting(24). Furthermore, performing the E-ISNCSCI examination relies on a previous complete ISNCSCI examination, which makes it unsuitable for use in trauma protocols when a neurological examination is performed for the first time after the trauma.

The optimal window for performing the MAC-SCI evaluation is the acute period during which distractors such as associated injuries, pain and the need for additional emergent evaluations/interventions would make a complete ISNCSCI documentation unrealistic to perform. More specifically, we suggest that MAC-SCI be used within trauma assessment protocols such as the ATLS, and ISNCSCI be performed promptly when the ATLS is complete and all barriers precluding complete ISNCSCI documentation are overcome. Because the MAC-SCI retains a subset of the original elements of the ISNCSCI and is accurate for determining the initial severity grade and NLI, it can potentially be used as a reference to detect a neurological deterioration from subsequent ISNCSCI exams. This should be evaluated in a future study involving serial neurological assessments.

### **Limitations**

The MAC-SCI is not intended to replace the ISNCSCI. The ISNCSCI remains the most comprehensive and accurate neurological examination tool to characterize and manage SCI. It is crucial that a complete baseline ISNCSCI exam be performed whenever feasible following the acute trauma assessment. As for any trauma patient, every effort should be made to collect a good patient history in conjunction with the MAC-SCI, with particular attention to subjective symptoms, such as axial spinal pain and sensory deficits in the extremities such as paresthesia and numbness. The presence of subjective sensory deficits in the extremities is particularly important because it could help to detect a SCI that would not be identified solely from the MAC-SCI, such as a central cord syndrome with sensory deficits in the upper extremities but preserved motor strength(35, 54). In case patients complain about sensory deficits in the extremities, we recommend that light touch assessment be performed in dermatomes of corresponding extremities if motor testing shows normal strength for all myotome. Although isolated sensory radiculopathies are not considered as SCI per se, subjective sensory symptoms in the absence motor deficit should also warrant dermatome assessment in the corresponding extremities in addition to motor testing, because it could help to detect the presence of injuries such as isolated facet fracture and/or dislocation or traumatic disc herniation. Similarly, a subclinical cauda equina

or conus medullaris syndrome can potentially present without motor or sensory deficits on the MAC-SCI (and even on the ISNCSCI), and highlight the importance of assessing bowel and bladder function longitudinally and/or further document the strength of voluntary anal contraction in the presence of a severe thoraco-lumbar or lumbo-sacral spine injury.

### **5.3.6 Conclusion**

In conclusion, the MAC-SCI is a quick, simple and accurate neurological examination tool to detect and locate SCI in the trauma patient. It allows rapid detection and accurate location of the SCI while determining the completeness of the SCI with perfect concordance with the AIS grade. This new neurological examination tool should be used in trauma assessment protocols of polytrauma patients. We believe a simpler and quicker neurological evaluation tool like the MAC-SCI would lead to a better adherence to a standardized neurological examination, increased reproducibility between tests and observers, and ultimately better patient care in the acute management of traumatic spinal cord injuries.

### **Author Contribution**

JMMT participated in the study design, data measurement, data analysis, drafting of the manuscript, revision and final acceptance of the manuscript and in securing funding. RPR participated in the study design, data collection, data measurement, data analysis, drafting of the manuscript and revision and final acceptance of the manuscript. AD participated in the study design, data collection, measurement, data analysis, drafting of the manuscript and revision and final acceptance of the manuscript. ARD participated in the study design, data analysis, revision and final acceptance of the manuscript. MMB participated in the study design, data analysis, revision and final acceptance of the manuscript. EBM in the study design, data analysis, revision and final acceptance of the manuscript.

## **Conflicts of Interest**

Dr Mac-Thiong reports grants from Fonds de recherche du Québec - Santé, grants from Medtronic research chair in spinal trauma at Université de Montréal, grants from Praxis Spinal Cord Institute, during the conduct of the study; other from Spinologics Inc., grants from Medtronic, grants from DePuy-Synthes, grants from Canadian Institutes of Health Research, grants from Craig H Neilsen Foundation, grants from New Frontiers in Research Fund, grants from Fonds de recherche du Québec, grants from Canada Foundation for Innovation, grants from U.S. Department of Defense, grants from Medline Industries, grants from Vertex Pharmaceutical, grants from Abbvie, grants from Asahi Kasei Pharma, outside the submitted work; Dr. Pelletier-Roy has a scholarship from Medtronic research chair in spinal trauma at Université de Montréal; Antoine Dionne a scholarship from Medtronic research chair in spinal trauma at Université de Montréal and from PRogramme d'Excellence en Médecine pour l'Initiation En Recherche (PREMIER) at Université de Montréal; Dr Richard-Denis reports grants from Fonds de recherche du Québec – Santé, grants from Praxis Spinal Cord Institute, during the conduct of the study; other from Spinologics Inc., grants from Canadian Institutes of Health Research, grants from Craig H Neilsen Foundation, grants from New Frontiers in Research Fund, grants from Medline Industries, grants from Fonds de recherche du Québec, outside the submitted work ; Dr. Bourassa-Moreau reports grants from Medtronic, grants from Depuy-Synthes, outside the submitted work; Dr Briand reports grants from Fonds de recherche du Québec – Santé and scholarship from Canadian Institutes of Health Research.

## **Funding**

Rick Hansen Spinal Cord Injury Registry, Fonds de recherche du Québec – Santé, Medtronic Research Chair in Spine Trauma at Université de Montréal.

## **Chapitre 6 – Capacité du MAC-SCI à détecter les variations neurologiques périopératoires**

### **6.1 Introduction**

Ce chapitre présente les résultats du *Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury* (MAC-SCI) à détecter les variations neurologiques périopératoires identifiées par la version originale de l'*International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury* (ISNCSCI). Tel que mentionné au chapitre 4, il s'agit de la même cohorte de 35 patients sur lesquels la capacité du MAC-SCI à déterminer le grade de sévérité ainsi que la localisation de la lésion médullaire traumatique (LMT) a été validée. De plus, la capacité de l'ISNCSCI à détecter les variations neurologiques périopératoires à partir du MAC-SCI a été évaluée, car l'objectif du MAC-SCI est de s'inscrire comme l'outil d'évaluation neurologique simplifié durant la période où existent des barrières à l'examen complet exhaustif de l'ISNCSCI. Puisque l'ISNCSCI sera utilisé plus tard dans la prise en charge du patient avec une LMT, il est nécessaire que celui-ci puisse détecter les variations neurologiques périopératoires en se comparant à des examens MAC-SCI antérieurs. Le MAC-SCI se positionne comme une version simplifiée de l'ISNCSCI visant à être utilisée dans la phase aiguë de la prise en charge des patients blessés médullaires. Il est adapté pour l'arrivée à l'urgence du patient, principalement lors de l'évaluation neurologique intégrée dans l'évaluation secondaire de l'ATLS pour déterminer, en autres, l'imagerie nécessaire pour orienter la prise en charge médicale et chirurgicale comme démontré au chapitre 5. Son utilisation est par la suite justifiée en périopératoire tant et aussi longtemps que persistent des barrières à un examen ISNCSCI complet.

### **6.2 Résultats**

#### **6.2.1 Population d'étude**

Les 35 derniers patients consécutifs correspondant aux critères d'inclusion et d'exclusion ont été inclus dans la cohorte d'évaluation de la capacité du MAC-SCI à détecter les variations

neurologiques périopératoires. L'âge moyen des patients était de 55 ans et incluait un total de 27 hommes et 8 femmes. Les caractéristiques complètes des patients sont présentées dans le tableau 5.1 du chapitre 5.

### **6.2.2 Résultats des variations neurologiques périopératoires**

La présence de variations neurologiques périopératoires fut d'abord déterminée avec l'examen étalon, soit l'ISNCSCI original. L'ISNCSCI postopératoire a été comparé à l'ISNCSCI préopératoire et les variations neurologiques périopératoires ont ainsi été identifiées. Ces résultats sont présentés en détail dans le tableau 6.1. Un très grand nombre de variations neurologiques périopératoires furent détectées. Une détérioration du niveau neurologique lésionnel (NNL) fut observée chez 11 des 35 patients alors qu'une détérioration du NNL et du grade de sévérité neurologique a été notée chez quatre patients. Sur la cohorte de 35 patients, 15 patients ont ainsi obtenu un examen neurologique postopératoire détérioré par rapport à l'examen préopératoire, ce qui représente plus de 43% des patients. Les hypothèses en lien avec ce nombre élevé de détériorations neurologiques seront abordées dans la discussion du chapitre 8. Par rapport aux améliorations neurologiques, une amélioration du NNL a été observée chez sept patients et une amélioration du grade neurologique a été notée chez quatre patients. Un total de 11 patients ont ainsi obtenu une amélioration neurologique, soit 31% de la cohorte. Sept patients ne démontrèrent pas de variations neurologiques autant par rapport au NNL que par rapport au grade de sévérité. Finalement, deux patients ont obtenu des examens postopératoires de direction opposée entre leur NNL et leur grade de sévérité, c'est-à-dire qu'un patient avait un NNL postopératoire amélioré et un grade de sévérité détérioré, alors qu'un autre patient avait un NNL postopératoire détérioré et un grade de sévérité amélioré. En résumé, l'examen neurologique de 28 patients des 35, soit plus de 80%, a démontré une variation durant la période périopératoire.



**Tableau 6.1 – Variations neurologiques périopératoires selon l'examen étalon (ISNCSCI)**

| Patient | Préopératoire |       |         |       | Postopératoire |       |         |       | Variation neurologique selon l'ISNCSCI postopératoire vs préopératoire |
|---------|---------------|-------|---------|-------|----------------|-------|---------|-------|--|
|         | ISNCSCI       |       | MAC-SCI |       | ISNCSCI        |       | MAC-SCI |       |  |
|         | NNL           | Grade | NNL     | Grade | NNL            | Grade | NNL     | Grade |  |
| 2       | L2            | D     | L2      | D     | L1             | D     | L1      | D     | Détérioration NNL  |
| 3       | L1            | D     | L1      | D     | C5             | D     | C5      | D     | Détérioration NNL  |
| 5       | T9            | D     | T9      | D     | T7             | D     | T7      | D     | Détérioration NNL  |
| 6       | C4            | D     | C5      | D     | C1             | D     | C1      | D     | Détérioration NNL  |
| 7       | L5            | A     | S1      | A     | L5             | B     | S1      | B     | Amélioration grade   |
| 8       | C6            | D     | C8      | D     | C7             | D     | C8      | D     | Amélioration NNL   |
| 11      | T9            | A     | T9      | A     | T11            | A     | T11     | A     | Amélioration NNL   |
| 12      | L2            | D     | L2      | D     | T10            | D     | T10     | D     | Détérioration NNL  |
| 13      | C8            | A     | C8      | A     | T9             | A     | T9      | A     | Amélioration NNL   |
| 14      | C5            | A     | C5      | A     | C5             | B     | C5      | B     | Amélioration grade   |
| 15      | L1            | C     | L1      | C     | T10            | A     | T10     | A     | Détérioration NNL<br>Détérioration grade                               |
| 16      | T3            | C     | T3      | C     | T12            | C     | T12     | C     | Amélioration NNL   |
| 17      | L1            | D     | L2      | D     | T12            | A     | T12     | A     | Détérioration NNL<br>Détérioration grade                               |
| 18      | C5            | B     | C5      | B     | C5             | C     | C5      | C     | Amélioration grade   |
| 19      | C5            | C     | C5      | C     | C4             | B     | C4      | B     | Détérioration NNL<br>Détérioration grade                               |
| 20      | T10           | C     | T10     | C     | L1             | A     | L1      | A     | Amélioration NNL<br>Détérioration grade                                |
| 21      | C5            | D     | C5      | D     | C4             | D     | C4      | D     | Détérioration NNL  |
| 22      | C2            | D     | C2      | D     | C6             | D     | C6      | D     | Amélioration NNL   |
| 23      | L1            | A     | L2      | A     | L5             | A     | L5      | A     | Amélioration NNL   |
| 25      | C6            | D     | C8      | D     | C3             | D     | C3      | D     | Détérioration NNL  |
| 26      | C5            | D     | C5      | D     | C2             | D     | C2      | D     | Détérioration NNL  |
| 27      | L2            | B     | L2      | B     | T12            | B     | L1      | B     | Détérioration NNL  |
| 28      | C5            | C     | C5      | C     | C2             | C     | C2      | C     | Détérioration NNL  |
| 30      | T5            | D     | T5      | D     | T9             | D     | T9      | D     | Amélioration NNL   |
| 31      | C3            | B     | C3      | B     | C3             | C     | C3      | C     | Amélioration grade   |
| 32      | C6            | D     | C6      | D     | C2             | D     | C2      | D     | Détérioration NNL  |
| 33      | C5            | A     | C5      | A     | C2             | B     | C2      | B     | Détérioration NNL<br>Amélioration grade                                |
| 34      | T5            | D     | T5      | D     | T2             | C     | T8      | C     | Détérioration NNL<br>Détérioration grade                               |

### **6.2.3 Détection des variations neurologiques périopératoires par le MAC-SCI**

Tel que mentionné précédemment, l'examen neurologique de 28 des 35 patients inclus dans la cohorte de validation a varié durant la période périopératoire. Sur ces 28 patients, le MAC-SCI a correctement identifié la variation chez 26 patients, soit dans plus de 93% des cas. La seule amélioration neurologique ratée fut une amélioration postopératoire d'un NNL de C6 vers C7. Du côté des détériorations, le MAC-SCI a seulement omis une détérioration neurologique postopératoire d'un NNL de T5 vers T2. Par contre, chez ce même patient, le MAC-SCI avait capté la détérioration du grade de sévérité de D vers C. L'ensemble des résultats de la détection des variations neurologiques périopératoires par le MAC-SCI est présenté au tableau 6.2.

**Tableau 6.2 – Détection des variations neurologiques périopératoires par le MAC-SCI**

| Patient | Préopératoire |       |         |       | Postopératoire |       |         |       | Détection MAC-SCI postopératoire<br>par rapport à MAC-SCI préopératoire |
|---------|---------------|-------|---------|-------|----------------|-------|---------|-------|---|
|         | ISNCSCI       |       | MAC-SCI |       | ISNCSCI        |       | MAC-SCI |       |   |
|         | NNL           | Grade | NNL     | Grade | NNL            | Grade | NNL     | Grade |   |
| 2       | L2            | D     | L2      | D     | L1             | D     | L1      | D     | Détérioration NNL détectée  |
| 3       | L1            | D     | L1      | D     | C5             | D     | C5      | D     | Détérioration NNL détectée  |
| 5       | T9            | D     | T9      | D     | T7             | D     | T7      | D     | Détérioration NNL détectée  |
| 6       | C4            | D     | C5      | D     | C1             | D     | C1      | D     | Détérioration NNL détectée  |
| 7       | L5            | A     | S1      | A     | L5             | B     | S1      | B     | Amélioration grade détectée   |
| 8       | C6            | D     | C8      | D     | C7             | D     | C8      | D     | Amélioration NNL ratée  |
| 10      | T12           | B     | L1      | B     | T12            | B     | T12     | B     | Fausse détérioration NNL détectée                                       |
| 11      | T9            | A     | T9      | A     | T11            | A     | T11     | A     | Amélioration NNL détectée   |
| 12      | L2            | D     | L2      | D     | T10            | D     | T10     | D     | Détérioration NNL détectée  |
| 13      | C8            | A     | C8      | A     | T9             | A     | T9      | A     | Amélioration NNL détectée   |
| 14      | C5            | A     | C5      | A     | C5             | B     | C5      | B     | Amélioration grade détectée   |
| 15      | L1            | C     | L1      | C     | T10            | A     | T10     | A     | Détérioration NNL détectée<br>Détérioration grade détectée              |
| 16      | T3            | C     | T3      | C     | T12            | C     | T12     | C     | Amélioration NNL détectée   |
| 17      | L1            | D     | L2      | D     | T12            | A     | T12     | A     | Détérioration NNL détectée<br>Détérioration grade détectée              |
| 18      | C5            | B     | C5      | B     | C5             | C     | C5      | C     | Amélioration grade détectée   |
| 19      | C5            | C     | C5      | C     | C4             | B     | C4      | B     | Détérioration NNL détectée<br>Détérioration grade détectée              |
| 20      | T10           | C     | T10     | C     | L1             | A     | L1      | A     | Amélioration NNL détectée<br>Détérioration grade détectée               |
| 21      | C5            | D     | C5      | D     | C4             | D     | C4      | D     | Détérioration NNL détectée  |
| 22      | C2            | D     | C2      | D     | C6             | D     | C6      | D     | Amélioration NNL détectée   |
| 23      | L1            | A     | L2      | A     | L5             | A     | L5      | A     | Amélioration NNL détectée   |
| 24      | C4            | D     | C6      | D     | C4             | D     | C8      | D     | Fausse amélioration NNL détectée  |
| 25      | C6            | D     | C8      | D     | C3             | D     | C3      | D     | Détérioration NNL détectée  |
| 26      | C5            | D     | C5      | D     | C2             | D     | C2      | D     | Détérioration NNL détectée  |
| 27      | L2            | B     | L2      | B     | T12            | B     | L1      | B     | Détérioration NNL détectée  |
| 28      | C5            | C     | C5      | C     | C2             | C     | C2      | C     | Détérioration NNL détectée  |
| 30      | T5            | D     | T5      | D     | T9             | D     | T9      | D     | Amélioration NNL détectée   |
| 31      | C3            | B     | C3      | B     | C3             | C     | C3      | C     | Amélioration grade détectée   |
| 32      | C6            | D     | C6      | D     | C2             | D     | C2      | D     | Détérioration NNL détectée  |
| 33      | C5            | A     | C5      | A     | C2             | B     | C2      | B     | Détérioration NNL détectée<br>Amélioration grade détectée               |
| 34      | T5            | D     | T5      | D     | T2             | C     | T8      | C     | Détérioration NNL ratée<br>Détérioration grade détectée                 |
| 35      | C4            | A     | C5      | A     | C4             | A     | C4      | A     | Fausse détérioration NNL détectée                                       |

#### **6.2.4 Détection des variations neurologiques périopératoires par l'ISNCSCI à partir du MAC-SCI**

Le MAC-SCI a été développé dans le but d'être un outil d'évaluation neurologique simplifié lors de la prise en charge du patient avec une LMT en contexte aigu. Comme il sera abordé en détail au chapitre 8, son utilisation se situe dans la période aiguë de prise en charge qui débute dès l'arrivée du patient en salle de réanimation jusqu'au moment où les barrières à un examen neurologique exhaustif de l'ISNCSCI sont levées. Ce moment peut être dans les heures qui suivent l'admission du patient ou encore jusqu'à plusieurs jours en postopératoire. De cette façon, l'examen MAC-SCI d'un patient avec une LMT est amené à être comparé à un examen ISNCSCI ultérieurement. Pour cette raison, il était important d'évaluer si l'ISNCSCI postopératoire, comparé à un examen MAC-SCI préopératoire, serait en mesure de détecter une variation neurologique périopératoire.

Lorsque comparée au MAC-SCI préopératoire, l'utilisation de l'ISNCSCI postopératoire a détecté la variation chez 27 des 28 patients présentant une variation neurologique périopératoire, soit plus de 96% des cas. La seule variation périopératoire ratée par l'ISNCSCI postopératoire lorsque comparé au MAC-SCI préopératoire était une amélioration du NNL en postopératoire de C6 vers C7.

**Tableau 6.3 – Détections des variations neurologiques périopératoires par l'ISNCSCI postopératoire lorsque comparé au MAC-SCI préopératoire**

| Patient | Préopératoire |       |         |       | Postopératoire |       |         |       | Détection ISNCSCI postopératoire par rapport à MAC-SCI préopératoire |
|---------|---------------|-------|---------|-------|----------------|-------|---------|-------|--|
|         | ISNCSCI       |       | MAC-SCI |       | ISNCSCI        |       | MAC-SCI |       |  |
|         | NNL           | Grade | NNL     | Grade | NNL            | Grade | NNL     | Grade |  |
| 2       | L2            | D     | L2      | D     | L1             | D     | L1      | D     | Détérioration NNL détectée   |
| 3       | L1            | D     | L1      | D     | C5             | D     | C5      | D     | Détérioration NNL détectée   |
| 5       | T9            | D     | T9      | D     | T7             | D     | T7      | D     | Détérioration NNL détectée   |
| 6       | C4            | D     | C5      | D     | C1             | D     | C1      | D     | Détérioration NNL détectée   |
| 7       | L5            | A     | S1      | A     | L5             | B     | S1      | B     | Fausse amélioration NNL détectée<br>Amélioration grade détectée      |
| 8       | C6            | D     | C8      | D     | C7             | D     | C8      | D     | Amélioration NNL ratée   |
| 10      | T12           | B     | L1      | B     | T12            | B     | T12     | B     | Fausse détérioration NNL détectée                                    |
| 11      | T9            | A     | T9      | A     | T11            | A     | T11     | A     | Amélioration NNL détectée  |
| 12      | L2            | D     | L2      | D     | T10            | D     | T10     | D     | Détérioration NNL détectée   |
| 13      | C8            | A     | C8      | A     | T9             | A     | T9      | A     | Amélioration NNL détectée  |
| 14      | C5            | A     | C5      | A     | C5             | B     | C5      | B     | Amélioration grade détectée  |
| 15      | L1            | C     | L1      | C     | T10            | A     | T10     | A     | Détérioration NNL détectée<br>Détérioration grade détectée           |
| 16      | T3            | C     | T3      | C     | T12            | C     | T12     | C     | Amélioration NNL détectée  |
| 17      | L1            | D     | L2      | D     | T12            | A     | T12     | A     | Détérioration NNL détectée<br>Détérioration grade détectée           |
| 18      | C5            | B     | C5      | B     | C5             | C     | C5      | C     | Amélioration grade détectée  |
| 19      | C5            | C     | C5      | C     | C4             | B     | C4      | B     | Détérioration NNL détectée<br>Détérioration grade détectée           |
| 20      | T10           | C     | T10     | C     | L1             | A     | L1      | A     | Amélioration NNL détectée<br>Détérioration grade détectée            |
| 21      | C5            | D     | C5      | D     | C4             | D     | C4      | D     | Détérioration NNL détectée   |
| 22      | C2            | D     | C2      | D     | C6             | D     | C6      | D     | Amélioration NNL détectée  |
| 23      | L1            | A     | L2      | A     | L5             | A     | L5      | A     | Amélioration NNL détectée  |
| 24      | C4            | D     | C6      | D     | C4             | D     | C8      | D     | Fausse détérioration NNL détectée                                    |
| 25      | C6            | D     | C8      | D     | C3             | D     | C3      | D     | Détérioration NNL détectée   |
| 26      | C5            | D     | C5      | D     | C2             | D     | C2      | D     | Détérioration NNL détectée   |
| 27      | L2            | B     | L2      | B     | T12            | B     | L1      | B     | Détérioration NNL détectée   |
| 28      | C5            | C     | C5      | C     | C2             | C     | C2      | C     | Détérioration NNL détectée   |
| 30      | T5            | D     | T5      | D     | T9             | D     | T9      | D     | Amélioration NNL détectée  |
| 31      | C3            | B     | C3      | B     | C3             | C     | C3      | C     | Amélioration grade détectée  |
| 32      | C6            | D     | C6      | D     | C2             | D     | C2      | D     | Détérioration NNL détectée   |
| 33      | C5            | A     | C5      | A     | C2             | B     | C2      | B     | Détérioration NNL détectée<br>Amélioration grade détectée            |
| 34      | T5            | D     | T5      | D     | T2             | C     | T8      | C     | Détérioration NNL détectée<br>Détérioration grade détectée           |
| 35      | C4            | A     | C5      | A     | C4             | A     | C4      | A     | Fausse détérioration NNL détectée                                    |



# Chapitre 7 – Résultats de l’implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI

## 7.1 Introduction

Suite au développement de la version simplifiée de *l’International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury* (ISNCSC) pour le patient avec une lésion médullaire traumatique (LMT), à sa validation comme outil de caractérisation des LMTs et à la démonstration de sa capacité à détecter les variations neurologiques périopératoires, son implémentation clinique préliminaire a été évaluée. Une application intégrée des connaissances a été appliquée tout au long du développement du *Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury* (MAC-SCI) pour définir son cadre d’utilisation ainsi que son mode d’application. Par la suite, son utilisation fut étudiée dans les trois premiers mois de son implémentation clinique, soit du 1er février au 30 avril 2022 en évaluant les taux de complétion du MAC-SCI et de chacun de ses éléments.

## 7.2 Application intégrée des connaissances

L’application intégrée des connaissances a été faite tout au long du développement du MAC-SCI. En effet, son développement a émergé d’une méthode Delphi modifiée qui incluait des experts dans le domaine de l’évaluation des patients avec une LMT, mais qui étaient également à la fois des utilisateurs potentiels de ces connaissances en développement. De plus, dès le développement préliminaire du MAC-SCI, celui-ci fut présenté en réunion de service de traumatologie à l’hôpital du Sacré-Cœur devant plus d’une centaine de personnes représentant des utilisateurs potentiels soit des chirurgiens orthopédistes, des chirurgiens généraux impliqués en traumatologie, des urgentologues ainsi que des *trauma team leader* (TTL). L’évaluation de l’acceptabilité ainsi que les commentaires préliminaires des personnes impliquées ont alors été recueillis et pris en compte.

Par la suite, le MAC-SCI fut présenté dans différents congrès de niveau régional, provincial et finalement national. La réceptivité des potentiels utilisateurs fut évaluée tout en participa à la dissémination potentielle du MAC-SCI.

Après la validation du MAC-SCI et suite au développement du design graphique servant à colliger l'examen neurologique, le MAC-SCI fut implémenté à l'hôpital du Sacré-Cœur de Montréal. Cette implémentation clinique a été effectuée suite à une réunion de service du département de chirurgie orthopédique. L'outil fut présenté et accepté comme examen d'évaluation neurologique initial chez le patient présentant une LMT en contexte aigu. Le MAC-SCI fut imprimé à grande échelle et rendu disponible électroniquement pour les résidents en chirurgie orthopédique du rachis, principaux utilisateurs de l'outil.

## **7.3 Résultats**

### **7.3.1 Population d'étude**

Un total de 14 patients soit 12 hommes et deux femmes avec une LMT ont été inclus dans la cohorte d'évaluation de l'implémentation clinique du MAC-SCI. L'âge moyen des patients était de 54 ans. La distribution de la sévérité des atteintes neurologiques ainsi que du niveau neurologique lésionnel (NNL) est détaillée au tableau 7.1.



**Tableau 7.1 –** Caractéristiques de base de la cohorte d'évaluation de l'implémentation clinique

| <b>Caractéristiques</b>                              | <b>Cohorte de l'étude<br/>(n=14)</b> |
|--|--------------------------------------|
| Période d'inclusion                                  | 1er février au 30 avril 2022         |
| Hommes n (%)   | 12 (86%)                             |
| Âge moyen ( $\pm$ écart type)                        | 54 ( $\pm$ 19)                       |
| <b>Grade de sévérité neurologique n (% patients)</b> |                                      |
| Grade A  | 4 (29%)                              |
| Grade B  | 0 (0%)                               |
| Grade C  | 1 (7%)                               |
| Grade D  | 9 (64%)                              |
| <b>Niveau neurologique lésionnel n (% patients)</b>  |                                      |
| Cervical haut (C1-C4)                                | 5 (36%)                              |
| Cervical bas (C5-T1)                                 | 6 (43%)                              |
| Thoracique haut (T2-T10)                             | 2 (14%)                              |
| Thoracique bas (T11-L2)                              | 0 (0%)                               |
| Lombo-sacré (L3-S5)                                  | 1 (7%)                               |

### 7.3.2 Taux de complétion du MAC-SCI et de ses éléments

Dans les trois premiers mois suivant l'implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI à l'hôpital du Sacré-Cœur de Montréal, 79% des examens MAC-SCI ont été complétés adéquatement soit chez 11 des 14 patients. Ceci se compare positivement au taux de complétion canadien estimé à maximum 44% et est statistiquement significatif avec une valeur p à 0,01. Les myotomes des extrémités ont été colligés au dossier en moyenne dans 86% des cas. Les dermatomes cervicaux et thoraciques ont quant à eux été complétés en moyenne dans 79% des cas. L'évaluation de la

contraction anale volontaire ainsi que de la sensibilité anale superficielle ont été évaluées dans 86% des cas. L'élément le moins complété a été l'évaluation de la sensibilité anale profonde, qui l'a été chez 79% des cas. Les taux individuels de chacun des éléments du MAC-SCI sont présentés à la figure 7.1 et seront comparés dans la discussion du chapitre 8 aux taux de complétion obtenus lors du premier volet de ce travail pour la version originale de l'ISNCSCI.

**Figure 7.1 – Taux de complétion du MAC-SCI et de ses éléments individuels**

**79% complétion MAC-SCI à l'admission**

|                      |            | Droit | Gauche |            |           |
|----------------------|------------|-------|--------|------------|-----------|
|                      | <b>C2</b>  | 79%   | 79%    | <b>C2</b>  |           |
|                      | <b>C3</b>  | 79%   | 79%    | <b>C3</b>  |           |
|                      | <b>C4</b>  | 79%   | 79%    | <b>C4</b>  |           |
| <b>C5</b>            | 86%        | 79%   | 79%    | 86%        | <b>C5</b> |
| <b>C6</b>            | 86%        | 79%   | 79%    | 86%        | <b>C6</b> |
| <b>C7</b>            | 86%        | 79%   | 79%    | 86%        | <b>C7</b> |
| <b>C8</b>            | 86%        | 79%   | 79%    | 86%        | <b>C8</b> |
| <b>T1</b>            | 86%        | 79%   | 79%    | 86%        | <b>T1</b> |
|                      | <b>T2</b>  | 79%   | 79%    | <b>T2</b>  |           |
|                      | <b>T3</b>  | 79%   | 79%    | <b>T3</b>  |           |
|                      | <b>T4</b>  | 79%   | 79%    | <b>T4</b>  |           |
|                      | <b>T5</b>  | 79%   | 79%    | <b>T5</b>  |           |
|                      | <b>T6</b>  | 79%   | 79%    | <b>T6</b>  |           |
|                      | <b>T7</b>  | 79%   | 79%    | <b>T7</b>  |           |
|                      | <b>T8</b>  | 79%   | 79%    | <b>T8</b>  |           |
|                      | <b>T9</b>  | 79%   | 79%    | <b>T9</b>  |           |
|                      | <b>T10</b> | 79%   | 79%    | <b>T10</b> |           |
|                      | <b>T11</b> | 79%   | 79%    | <b>T11</b> |           |
|                      | <b>T12</b> | 79%   | 79%    | <b>T12</b> |           |
|                      | <b>L1</b>  | 79%   | 79%    | <b>L1</b>  |           |
| <b>L2</b>            | 86%        | 86%   | 86%    | 86%        | <b>L2</b> |
| <b>L3</b>            | 86%        | 86%   | 86%    | 86%        | <b>L3</b> |
| <b>L4</b>            | 86%        | 86%   | 86%    | 86%        | <b>L4</b> |
| <b>L5</b>            | 86%        | 86%   | 86%    | 86%        | <b>L5</b> |
| <b>S1</b>            | 86%        | 86%   | 86%    | 86%        | <b>S1</b> |
| <b>Contraction</b>   | 86%        |       |        |            |           |
| <b>Superficielle</b> | 86%        |       |        |            |           |
| <b>Profonde</b>      | 79%        |       |        |            |           |

### **7.3.3 Examens MAC-SCI incomplets**

L'ensemble des 14 patients inclus dans la cohorte d'évaluation de l'implémentation clinique est détaillé au tableau 7.2. L'étude des dossiers des trois patients présentant un examen MAC-SCI incomplet a révélé trois situations distinctes. Le premier patient avec un examen MAC-SCI non complété était un patient intubé et sédationné qui s'était présenté initialement avec un état de conscience sévèrement altéré représenté par un score de Glasgow de 8. Le second patient avec un examen incomplet était un patient avec une lésion thoracique qui avait un examen neurologique de ses membres inférieurs, mais n'avait pas d'examen neurologique documenté de ses membres supérieurs ni de ses dermatomes cervicaux. Finalement, le troisième patient avec un examen MAC-SCI incomplet présentait une sténose spinale cervicale et avait un examen neurologique de ses membres supérieurs, mais n'avait pas d'examen neurologique documenté de ses membres inférieurs ni de ses dermatomes thoraciques.

**Tableau 7.2 – Détails des patients inclus dans la cohorte d'évaluation de l'implémentation clinique du MAC-SCI**

| No. | Patient |      | Lésion |     | Examen neurologique |       | Conditions associées |                |  | Identification de l'évaluateur | MAC-SCI   |
|-----|---------|------|--------|-----|---------------------|-------|----------------------|----------------|--|--------------------------------|-----------|
|     | Âge     | Sexe | Grade  | NNL | Jour                | Heure | Intubé               | TCC            | Atteinte musculo-squelettique  |                                |           |
| 1   | 35      | H    | D      | C5  | Mardi               | 03:45 | Non                  | Non            | Fx massif facial<br>Luxation hallux  | 1                              | Complet   |
| 2   | 77      | H    | D      | C5  | Mercredi            | 22:10 | Non                  | Léger          | Non  | 1                              | Complet   |
| 3   | 46      | H    | D      | C5  | Vendredi            | 09:30 | Non                  | Léger          | Non  | 1                              | Complet   |
| 4   | 83      | H    | D      | C5  | Dimanche            | 07:00 | Non                  | Non            | Non  | 2                              | Complet   |
| 5   | 56      | H    | D      | L3  | Mercredi            | 17:15 | Non                  | Non            | Non  | 2                              | Incomplet |
| 6   | 61      | H    | A      | C4  | Lundi               | 11:00 | Oui                  | Non            | Fx nez-orbite  | 3                              | Complet   |
| 7   | 65      | H    | D      | C5  | Mercredi            | 13:40 | Non                  | Non            | Non  | 2                              | Incomplet |
| 8   | 60      | H    | D      | C4  | Mercredi            | 18:30 | Non                  | Léger          | Non  | 4                              | Complet   |
| 9   | 28      | H    | D      | C4  | Vendredi            | 23:00 | Non                  | Léger          | Non  | 2                              | Complet   |
| 10  | 63      | F    | A      | C5  | Dimanche            | 14:30 | Non                  | Léger          | Non  | 2                              | Complet   |
| 11  | 49      | H    | C      | T9  | Lundi               | 09:00 | Non                  | Léger complexe | Fx radius distal droit<br>Fx humérus gauche<br>Déchirure ligamentaire genou gauche | 2                              | Complet   |
| 12  | 74      | H    | A      | C4  | Jeudi               | 13:30 | Oui                  | Léger          | Non  | 2                              | Incomplet |
| 13  | 33      | H    | D      | C1  | Jeudi               | 22:00 | Non                  | Léger          | Non  | 5                              | Complet   |
| 14  | 23      | F    | A      | T7  | Dimanche            | 01:30 | Non                  | Léger          | Luxation épaule gauche   | 6                              | Complet   |

TCC : traumatisme crânio-cérébral

Fx : fracture

## Chapitre 8 – Discussion

Ce chapitre vise à mettre en lien les principaux résultats des trois volets de ce travail présentés aux chapitres 5 à 7 et à les comparer avec les hypothèses et objectifs initiaux. Les conclusions tirées des différents volets de ce travail seront discutées et leurs limitations explorées. Également, un cadre et un guide d'utilisation du *Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury* (MAC-SCI) sont détaillés. Finalement, les perspectives de recherche et de développements cliniques en lien avec le nouvel outil d'évaluation neurologique simplifié pour le patient avec une lésion médullaire traumatique (LMT) en contexte aigu sont explorées.

### 8.1 Utilisation du MAC-SCI

#### 8.1.1 Cadre d'utilisation du MAC-SCI - Pour quand et pour qui

Tout d'abord, il est important de noter que la version simplifiée de l'ISNCSCI que nous avons développée ne vise pas à remplacer, mais plutôt à compléter l'ISNCSCI. Le MAC-SCI se positionne comme une version simplifiée de l'ISNCSCI visant à être utilisée dans la phase aiguë de la prise en charge des patients blessés médullaires. Il est adapté pour l'arrivée à l'urgence du patient, principalement lors de l'évaluation neurologique intégrée dans l'évaluation secondaire de l'ATLS pour déterminer, en autres, l'imagerie nécessaire pour orienter la prise en charge médicale et chirurgicale comme démontré au chapitre 5. Son utilisation est par la suite justifiée tant et aussi longtemps que persistent des barrières à un examen ISNCSCI complet. Son utilisation est également possible en phase périopératoire, puisque sa capacité à détecter les détériorations et les améliorations neurologiques périopératoires a été démontrée au chapitre 6. De plus, son utilisation est également encouragée en contexte de clinique ambulatoire ou dans le cadre de projets de recherche pour s'assurer de l'absence de détériorations neurologiques avant et après une intervention médicale. Le MAC-SCI est un outil d'évaluation neurologique pragmatique, c'est-à-dire qu'il est assez simple pour une utilisation clinique courante et quotidienne, tout en étant

suffisamment exhaustif et performant à établir la présence et la localisation d'une LMT ou encore d'une variation dans le statut neurologique d'un patient. Le réalisme clinique du MAC-SCI a été démontré au chapitre 7 lors de son implémentation clinique.

Le MAC-SCI est destiné à tout clinicien spécialisé dans la prise en charge des patients blessés médullaire. Un chirurgien orthopédiste, un chirurgien du rachis et un spécialiste de médecine physique et de réadaptation sont tous de potentiels utilisateurs du MAC-SCI. Sa nature simplifiée par rapport à l'ISNCSCI vise à rallier un maximum d'utilisateurs. L'adhérence du plus grand nombre d'utilisateurs possible permettra une communication plus homogène entre les différents cliniciens impliqués dans la prise en charge aiguë des patients avec une LMT.

L'ISNCSCI reste la méthode d'évaluation la plus détaillée et précise pour caractériser les LMT et pour orienter la prise en charge fonctionnelle des blessés médullaires. Le MAC-SCI ne vise pas à orienter la réhabilitation fonctionnelle ni à établir de pronostic de récupération neurologique. Malgré l'implémentation clinique du MAC-SCI, un examen ISNCSCI devrait être complété le plus rapidement possible après la phase aiguë lorsqu'il ne persiste plus de barrières à un tel examen neurologique. De plus, comme démontré précédemment, un tel examen ISNCSCI complet pourra être comparé à un examen MAC-SCI antérieur.

### **8.1.2 Comment utiliser le MAC-SCI**

Le MAC-SCI s'effectue avec le patient en décubitus dorsal tout au long de l'examen. Chaque niveau neurologique n'est évalué que par une seule modalité neurologique. Ceci permet de faire l'examen de la tête aux pieds du patient sans jamais revenir en arrière pour tester une autre modalité neurologique. Le clinicien débute par l'évaluation de la sensibilité légère pour les dermatomes cervicaux soit de C2 à C4 bilatéralement. Il procède ensuite à l'évaluation des membres supérieurs exclusivement au niveau moteur. L'évaluation se poursuit avec l'évaluation de la sensibilité légère des dermatomes thoraciques de T2 jusqu'à L1 bilatéralement. Ensuite, les

myotomes des membres inférieurs sont testés et l'examen rectal vient terminer l'examen du MAC-SCI. Certaines situations cliniques peuvent venir modifier les éléments à tester à l'intérieur du MAC-SCI pour le rendre adapté au contexte de traumatologie. En présence d'une atteinte musculo-squelettique à une extrémité, l'examen moteur de cette extrémité peut être remplacé par son évaluation sensitive. Également, en cas de suspicion d'une atteinte centromédullaire ou d'une radiculopathie sensitive, l'évaluation des dermatomes des membres supérieurs et inférieurs s'ajoute à l'examen MAC-SCI standard. Ces types d'atteintes seront suspectées en présence de plaintes uniquement sensibles du patient au niveau de ses extrémités et seront abordées ultérieurement lors de l'exploration des limitations de l'examen MAC-SCI.

La notation des dermatomes avec la modalité du toucher léger se fait de la même façon qu'avec l'ISNCSCI sur une échelle de zéro à deux soit :

0 : absence complète de sensation

1 : sensation diminuée ou altérée

2 : sensation normale

L'évaluation des myotomes des membres supérieurs et inférieurs est faite selon la même technique qu'avec l'ISNCSCI soit :

C5 : flexion du coude

C6 : extension du poignet

C7 : extension du coude

C8 : flexion des doigts

T1 : abduction des doigts

- L2 : flexion de la hanche
- L3 : extension du genou
- L4 : dorsiflexion de la cheville
- L5 : extension de l'hallux
- S1 : plantiflexion de la cheville

La notation des myotomes se fait également de la même façon qu'avec l'ISNCSCI en fonction des grades du Medical Research Council Muscle Scale(16) soit :

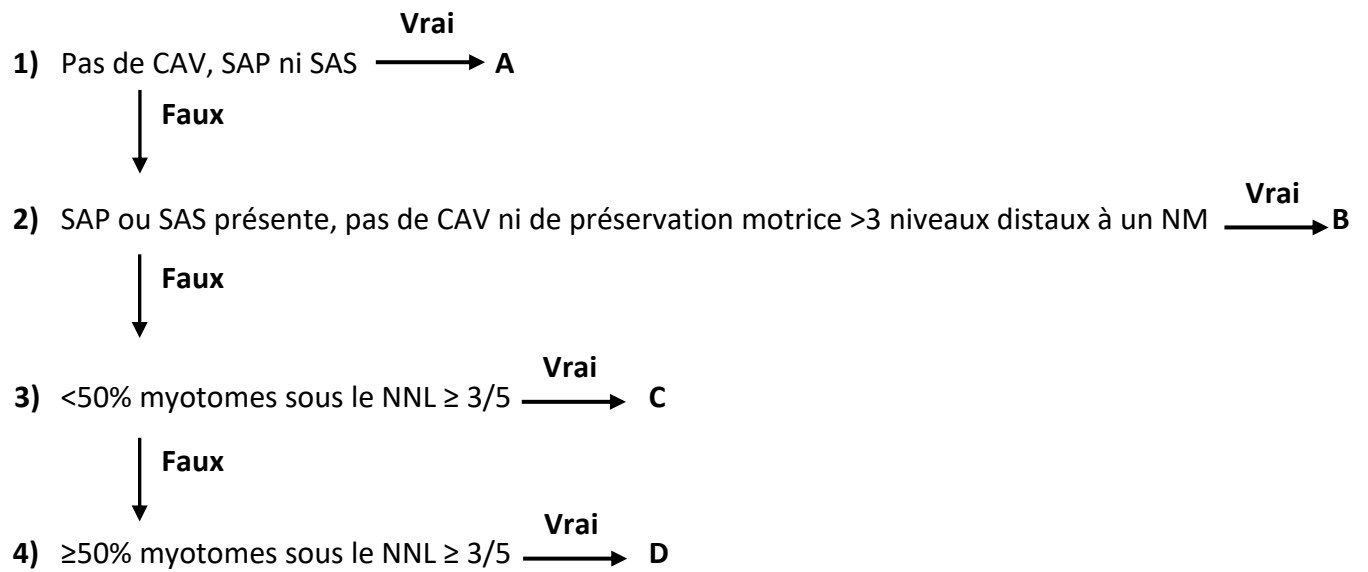
- 0 : aucune contraction musculaire
- 1 : contraction musculaire sans mouvement
- 2 : mouvement actif avec gravité éliminée
- 3 : mouvement actif contre gravité
- 4 : mouvement actif contre gravité et résistance
- 5 : force normale

Le MAC-SCI se termine par l'examen rectal. Celui-ci correspond à la sensibilité anale superficielle qui s'effectue avec le toucher léger de la marge anale sans considération pour la latéralisation, la sensibilité anale profonde qui correspond à la sensibilité interne du rectum ainsi que la contraction anale volontaire qui s'évalue en demandant au patient de retenir un mouvement intestinal. Ces trois éléments se notent comme présent ou absent à l'intérieur du MAC-SCI. L'absence de notation de latéralité au niveau de l'examen rectal permet d'effectuer l'examen rectal en maintenant le patient en décubitus dorsal. Une fois l'évaluation des dermatomes, des myotomes et l'examen rectal complété, le grade de sévérité et le NNL peuvent maintenant être déterminés. Ceux-ci se déterminent de la même façon qu'avec l'ISNCSCI et ont été détaillés au



point 2.2.2 du chapitre 2. Nous proposons de répondre à quatre questions illustrées à la figure 8.1 pour déterminer rapidement le grade de sévérité de la LMT.

**Figure 8.1 – Évaluation du grade de sévérité**



---

CAV: Contraction anale volontaire  
SAP: Sensibilité anale profonde  
SAS: Sensibilité anale superficielle  
NM: Niveau moteur  
NNL: Niveau neurologique lésionnel

## **8.2 Retour sur l'adaptation simplifiée de l'ISNCSCI**

L'objectif global de ce travail était de développer une version simplifiée de l'ISNCSCI qui comprendrait 50% moins d'éléments et qui serait ainsi plus adaptée à l'évaluation neurologique du patient avec une LMT en contexte aigu de traumatologie. L'hypothèse de recherche principale de ce travail (hypothèse 1) était qu'une version ainsi simplifiée de l'ISNCSCI pourrait déterminer le grade de sévérité neurologique ainsi que l'étage lésionnel avec un taux de concordance d'au moins 90%. L'objectif 1 de cette étude était donc de développer cette adaptation simplifiée de l'examen ISNCSCI (objectif 1a) et de valider sa capacité à déterminer le grade de sévérité ainsi que le niveau neurologique lésionnel (NNL) par rapport à l'examen de référence, l'ISNCSCI (objectif 1b).

### **8.2.1 Évaluation des taux de complétion de l'ISNCSCI et de ses éléments individuels**

Dans un premier temps, la confirmation que l'utilisation de l'ISNCSCI dans sa forme actuelle était faible était nécessaire pour motiver le développement d'une adaptation simplifiée pour les patients avec une LMT en contexte aigu. Les 33% d'examens ISNCSCI complets lors de l'admission en traumatologie sur notre cohorte de 148 blessés médullaires ont donc démontré la faible complétion de l'examen l'ISNCSCI dans notre centre de traumatologie tertiaire spécialisé en blessés médullaires. Malgré que ce taux soit supérieur à certains autres centres canadiens affichant des taux aussi bas que 8%(23), il n'en démontre pas moins de la sous-utilisation de l'ISNCSCI dans notre centre ainsi que de son inadaptation au contexte traumatique aigu.

Au-delà d'évaluer si les examens ISNCSCI étaient complets ou non, l'analyse des taux de complétion de chacun de ces éléments devenait intéressante puisqu'elle reflétait les pratiques naturelles des cliniciens. De hauts taux de complétion de l'examen des myotomes des membres supérieurs et inférieurs montraient que ces éléments étaient importants pour les cliniciens et réalisables la majorité du temps lors de la prise en charge d'un patient avec une LMT en contexte aigu.

### **8.2.2 Développement de l'adaptation simplifiée de l'ISNCSCI pour le patient avec une LMT en contexte aigu**

L'adaptation de l'ISNCSCI pour le patient avec une LMT en contexte aigu n'était possible qu'avec la collaboration de cliniciens impliqués dans l'évaluation et la prise en charge de blessés médullaires en traumatologie. Les six cliniciens participants, soit deux chirurgiens du rachis, un résident en chirurgie orthopédique, deux physiatres ainsi qu'un étudiant en médecine offraient une diversification de domaines et de niveaux d'expérience différents.

Le recours à une technique Delphi modifiée a permis de colliger l'avis des six cliniciens de façon indépendante et la moins influencée possible par les suggestions des autres cliniciens. L'idée d'avoir présenté les résultats des taux de complétion observés préalablement des examens ISNCSCI et de chacun de ses éléments permettait d'informer ces cliniciens sur les pratiques naturelles des personnes impliquées dans l'évaluation des blessés médullaires et de s'assurer que l'examen ISNCSCI était complété à des taux comparables aux autres centres de blessés médullaires canadiens. Ceci n'était pas fait dans l'optique d'influencer inadéquatement leur décision sur quels éléments de l'ISNCSCI conserver, mais plutôt que leur décision prenne en compte la réalité observée sur le terrain. De cette façon, nous atteignons le double objectif d'adapter l'ISNCSCI pour les patients avec une LMT en contexte aigu en tenant compte des éléments de l'examen neurologique les plus couramment effectués, tout en conservant les éléments jugés les plus importants par les cliniciens questionnés pour leur prise en charge médicale et chirurgicale.

L'adaptation de l'ISNCSCI qui résulte de cette méthode Delphi a été nommée le *Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury* (MAC-SCI). Comme présenté en détail au chapitre 5, le MAC-SCI comporte 53 des 134 éléments originaux de l'ISNCSCI, soit une réduction de plus de 60%. En plus du nombre d'éléments réduits, la nature des éléments retirés se doit d'être mise de l'avant. Par exemple, la modalité sensitive de la piquûre, souvent mal comprise par les patients, souvent mal exécutée par les cliniciens et très rarement complétée par les cliniciens a été complètement

retirée. Il en résulte donc un examen ISNCSCI adapté en termes de nombre d'éléments, mais également en termes de complexité d'éléments à évaluer. Le fait que le MAC-SCI ne comporte qu'une seule modalité neurologique à évaluer par niveau de C2 à S1 permet de faire l'examen de la région cervicale à sacrée, sans jamais n'avoir à retourner à un niveau précédemment évalué. Cette distribution de l'examen était importante pour s'assurer de l'efficacité et de la fluidité de la structure de l'examen neurologique adapté au patient avec une LMT et aux cliniciens en contexte aigu.

En résumé, l'objectif 1a de développer une version simplifiée de l'examen ISNCSCI avec 50% moins d'éléments a été accompli avec le développement du MAC-SCI qui comporte 60% moins d'éléments que l'examen ISNCSCI original, en plus d'avoir retiré les éléments les plus complexes de l'examen neurologique et en augmentant la fluidité de l'examen en ne conservant qu'une seule modalité neurologique à évaluer par niveau médullaire.

### **8.2.3 Avantages du MAC-SCI**

L'adaptation de l'ISNCSCI que nous avons développée détient de nombreux avantages sur la forme originale de l'ISNCSCI lors de l'évaluation d'un patient avec une LMT en contexte aigu. Le nombre réduit d'éléments est l'élément qui distingue le plus le MAC-SCI de l'ISNCSCI et représente un avantage sur différents aspects de la prise en charge du blessé médullaire.

D'abord, moins d'éléments signifient nécessairement moins de temps à compléter. Même si le temps à compléter le MAC-SCI n'a pas été directement évalué de par la nature rétrospective de la validation du MAC-SCI à partir d'exams ISNCSCI complets, le MAC-SCI détient 60% moins d'éléments que l'ISNCSCI. De plus, les 60% d'éléments retirés incluent les éléments les plus longs à évaluer comme la modalité sensitive de la piquûre qui consiste à déterminer si le patient ressent bel et bien la nature piquante de la stimulation et non simplement la stimulation du dermatome en question. Cette modalité d'évaluation sensitive de la piquûre a été complètement retirée dans

le MAC-SCI. Tel qu'il sera discuté au point 8.6 de ce chapitre sur les développements futurs, une évaluation prospective permettra, en autres, de déterminer le temps moyen épargné par l'utilisation du MAC-SCI. Une telle évaluation prospective se prête tout de même à certaines limitations logistiques qui seront abordées. Par contre, l'évaluation du temps épargné par le MAC-SCI par rapport à l'examen ISNCSCI a été estimée en mesurant le temps requis pour compléter chacun des éléments de l'examen ISNCSCI par une physiatre spécialisée en prise en charge aiguë des patients blessés médullaires dans notre centre. Cette évaluation préliminaire a permis d'estimer que le MAC-SCI nécessite approximativement 4 minutes 30 secondes à compléter, soit 44% du temps requis par l'ISNCSCI. Ceci représente donc une réduction de plus de 56% qui concorde bien avec la réduction du nombre d'éléments de l'examen neurologique située à 60%.

La notion de temps peut parfois être critique dans l'évaluation d'un patient en traumatologie qui nécessite des examens et des interventions visant à préserver ses fonctions vitales. Cette même notion de temps joue un rôle important dans la prise en charge du blessé médullaire et le concept de « *Time is spine(44)* » est bien reconnu pour améliorer le pronostic neurologique et fonctionnel des patients. Les bénéfices d'une chirurgie de décompression et de stabilisation à l'intérieur du premier 24 heures ont été démontrés dans la revue de littérature au chapitre 2 et toutes les mesures devraient être prises pour diminuer le temps entre la détection d'une LMT et la prise en charge médicale et chirurgicale.

Un autre important avantage d'avoir un nombre réduit d'éléments à évaluer avec le MAC-SCI est l'emphase mise sur les éléments les plus importants pour la prise en charge des patients blessés médullaire. En effet, un examen comportant 134 éléments à faire chez un patient de traumatologie avec une collaboration limitée n'est pas réaliste. Deux alternatives sont alors possibles. Soit l'examen est complété, mais avec une fiabilité douteuse, soit il est partiellement complété au choix de l'examineur. En réduisant de plus de la moitié les éléments inclus dans le MAC-SCI, l'objectif était avant tout que le clinicien en traumatologie se concentre de façon systématique sur les éléments les plus importants de la prise en charge clinique des blessés

médullaires. Cet avantage du MAC-SCI à inciter les cliniciens à se concentrer sur les éléments les plus importants de l'examen neurologique se démontre par l'augmentation significative des taux de complétion du MAC-SCI (79%) par rapport aux taux de complétion des éléments du MAC-SCI complétés à l'intérieur d'un examen ISNCSCI (41%). Ceci démontre que le taux de complétion du MAC-SCI (79%) plus élevé que celui de l'ISNCSCI (33%) n'est pas simplement dû au retrait d'éléments à évaluer, mais également à la meilleure complétion de l'examen MAC-SCI par les cliniciens devant une tâche plus réaliste et moins décourageante.

Un autre avantage découlant du fait que le clinicien en traumatologie se concentre sur les éléments proposés par le MAC-SCI est la constance dans le suivi neurologique. Un blessé médullaire sera soumis à de nombreux examens neurologiques sériés au cours de son hospitalisation, que ce soit en préopératoire ou en postopératoire. Le fait de comparer des examens ultérieurs complets à des examens initiaux incomplets ou dont la fiabilité est douteuse pose un problème clinique important. En effet, cela peut amener des questionnements suite à un examen ultérieur plus détaillé et complet, en postopératoire par exemple, qui pourrait démontrer un grade de sévérité plus sévère ou un niveau neurologique lésionnel plus proximal. À ce moment, le clinicien est aux prises à déterminer s'il s'agit d'une variabilité ou marge d'erreur associée à la méthode d'évaluation, ou d'une réelle détérioration. Devant un tel scénario, il se pourrait que le clinicien demande des examens d'imagerie ou des tests complémentaires, ce qui mobilise des ressources, et soumet le patient à des examens et peurs injustifiées. L'importance d'avoir un examen neurologique adapté au patient avec une LMT en contexte aigu n'est donc pas uniquement lors de son arrivée en réanimation, mais également pour avoir un outil de mesure reproductible au cours de ses évaluations neurologiques ultérieures.

Un autre avantage du MAC-SCI est sa flexibilité pour le patient de traumatologie. Par exemple, l'évaluation des dermatomes des extrémités (membres supérieurs et inférieurs) a été retirée du MAC-SCI, mais laissée comme optionnelle pour le clinicien évaluateur. En effet, devant un patient qui présenterait une atteinte musculo-squelettique à une extrémité rendant l'examen moteur

difficile ou non fiable, l'examen moteur peut alors être remplacé par l'examen sensitif du membre pour les myotomes non testables. Un autre élément démontrant son adaptation à la réalité du patient avec une LMT en contexte aigu est la simplification de l'évaluation des dermatomes S4 et S5 avec la méthode du toucher anal superficiel. Puisque le toucher anal superficiel se fait sans discrimination de latéralité, celui-ci peut s'effectuer en décubitus dorsal sans avoir à mobiliser le patient en bloc sur le côté, ce qui est nécessaire lorsqu'une évaluation spécifique de S4 et S5 bilatérale est effectuée. Il reste néanmoins nécessaire de tourner le patient en bloc lors de l'évaluation primaire du patient de traumatologie comme demandé par l'ATLS. L'objectif ici est plutôt de limiter les mobilisations subséquentes faites seulement aux fins de l'examen neurologique.

#### **8.2.4 Retour sur les résultats de la validation du MAC-SCI**

L'étape de la validation du MAC-SCI était nécessaire pour s'assurer de sa performance à déterminer le grade de sévérité et de localiser adéquatement le NNL. Le MAC-SCI a adéquatement répondu à cet objectif en classifiant le grade de sévérité et en localisant à l'étage cervical, thoracique ou lombo-sacré toutes les LMTs correctement. Pour ce qui en est du niveau neurologique lésionnel (NNL), l'objectif du MAC-SCI était de localiser l'étage lésionnel au niveau cervical, thoracique haut, thoracolombaire ou lombo-sacré. Avec une précision de 100% à localiser le NNL à l'intérieur de deux niveaux neurologiques et de 91% à localiser le NNL à l'intérieur d'un niveau neurologique de l'ISNCSCI, le MAC-SCI répond également positivement à cet objectif. Ceci était un objectif particulièrement important pour que le MAC-SCI puisse correctement orienter sur les régions du rachis à imager lors du bilan de traumatologie initial.

En résumé, l'objectif 1b de valider la capacité du MAC-SCI à déterminer le grade de sévérité ainsi que l'étage lésionnel de la LMT par rapport à l'examen de référence ISNCSCI a été atteint. De plus, les résultats de cette validation concordent avec l'hypothèse initiale qui était que la version simplifiée de l'ISNCSCI identifierait correctement le grade de sévérité ainsi que l'étage lésionnel

dans plus de 90% des cas. En effet, le grade de sévérité fut identifié correctement tout comme l'étage lésionnel de la LMT dans 100% des cas.

### **8.3 Retour sur la capacité du MAC-SCI à détecter les variations neurologiques périopératoires**

La seconde hypothèse de recherche (hypothèse 2) était qu'une version simplifiée de l'ISNCSCI pourrait détecter de façon adéquate les variations neurologiques périopératoires détectées par l'examen étalon, l'ISNCSCI. L'objectif 2 était donc d'évaluer quel était le taux de détection des variations neurologiques périopératoires du MAC-SCI par rapport à l'ISNCSCI.

#### **8.3.1 Détection des variations neurologiques périopératoires par le MAC-SCI**

Le premier élément qui retient l'attention de ce second volet de ce travail est le nombre excessivement important de variations neurologiques périopératoires, ou plutôt d'examen neurologiques postopératoires discordants avec les évaluations préopératoires. En effet, une détérioration neurologique a été observée dans la période périopératoire chez 15 patients sur les 35 patients inclus dans la cohorte de validation, soit 43% selon l'examen ISNCSCI. Cet impressionnant taux, de loin supérieur à ce qui est attendu, porte à ce questionner sur la réelle signification de ces détériorations neurologiques. En effet, tel que présenté au point 2.2.8 de la revue de littérature, les détériorations neurologiques périopératoires sont rares, allant de l'ordre de 0,2% à 0,8% pour les chirurgies spinales électives et de 4,9% à 6,5% pour les patients atteints d'une LMT. Différentes hypothèses peuvent expliquer la différence significative entre ces prévalences dans la littérature et les 43% de détériorations neurologiques observés dans notre cohorte. D'abord, la comparaison d'examen neurologiques faits de manière détaillée en postopératoire dans un environnement favorable à des examen ISNCSCI préopératoires faits lors de l'admission du patient le plus souvent en salle de réanimation lorsque des entraves à un examen ISNCSCI sont importantes peut expliquer des différences entre les examens en lien avec la fiabilité de l'examen préopératoire. Ensuite, dans notre cohorte, toute détérioration



neurologique était recensée et considérée comme telle (même s'il s'agissait uniquement d'une différence sensitive d'un niveau neurologique à la modalité sensitive de la piquûre par exemple) alors que les prévalences des détériorations neurologiques dans la littérature sont des détériorations neurologiques de critères variables, mais cliniquement significatives. Tel que soulevé au point 8.1, la présence d'un examen incomplet ou fait de manière expéditive en préopératoire peut causer un problème lorsque cet examen sera comparé à un examen complet et exhaustif en postopératoire. La question se pose alors à savoir si ces variations sont réelles ou représentent plutôt des éléments mal évalués en préopératoire. Le concept d'avoir un examen d'évaluation neurologique comportant 60% moins d'éléments que sa version originale vise d'une part à diminuer le temps requis à compléter l'évaluation, mais surtout à mettre l'emphasis sur les éléments importants de l'examen neurologique qui seront suivis subséquemment dans la prise en charge du patient avec une LMT.

Malgré la faible signification clinique de ces variations neurologiques, le MAC-SCI a tout de même identifié plus de 93% des variations neurologiques soulevées par l'ISNCSCI soit chez 26 des 28 patients présentant un examen neurologique ISNCSCI postopératoire discordant par rapport à l'examen ISNCSCI préopératoire. Le seul patient dont la détérioration n'a pas été captée par le MAC-SCI est un patient de grade de sévérité D et de NNL T5 en préopératoire qui a obtenu un examen ISNCSCI en postopératoire de grade de sévérité C et de NNL T3. Le MAC-SCI postopératoire a omis la détérioration du NNL en le situant à T8. L'analyse complète de ce dossier a révélé que c'était la modalité sensitive à la piquûre qui a fait modifier le niveau de T5 en préopératoire à T2 en postopératoire alors que la modalité du toucher léger était normale jusqu'à T8. Par contre, chez ce même patient, la détérioration du grade de sévérité de D vers C en postopératoire a été captée par le MAC-SCI, ce qui signifie que malgré l'erreur du MAC-SCI à détecter la détérioration du NNL, le MAC-SCI a tout de même capté la détérioration neurologique par l'entremise du grade de sévérité.

Le fait de revenir sur les éléments de l'ISNCSCI qui ont été retirés pour former le MAC-SCI permet de bien saisir pourquoi il serait très improbable que le MAC-SCI rate une détérioration neurologique cliniquement significative. Une des plus grandes différences entre l'ISNCSCI et le MAC-SCI est le retrait de la modalité sensitive de la piqûre. Advenant la découverte d'une différence dans cette modalité sensitive en postopératoire versus en préopératoire, il serait peu probable de voir un impact clinique significatif pour le patient. Il se pourrait en effet, comme expliqué précédemment, que cette différence soit simplement due à un déficit non identifié en préopératoire. Par contre, même si cette différence s'avérait être une réelle détérioration, il serait invraisemblable qu'une modification à sa prise en charge médicale ou chirurgicale soit faite devant l'incertitude clinique d'une telle détérioration.

### **8.3.2 Détection des variations neurologiques périopératoires par l'ISNCSCI à partir du MAC-SCI**

Un autre élément évaluer dans le cadre du dépistage des variations neurologiques périopératoires a été la capacité de l'ISNCSCI à détecter les variations neurologiques périopératoires à partir d'un examen MAC-SCI préalable. Comme mentionné à différentes reprises, l'utilisation du MAC-SCI s'inscrit dans la phase de prise en charge aiguë du patient avec une LMT, aussi longtemps que persistent des barrières à un examen neurologique ISNCSCI exhaustif complet. Un examen ISNCSCI sera ainsi fait aussitôt que possible dans la période périopératoire. La comparaison d'un examen ISNCSCI à un examen MAC-SCI devient donc un élément important dans l'évaluation de l'utilisation du MAC-SCI dans le contexte de variations neurologiques périopératoires. C'est également pour permettre de telles comparaisons que tous les éléments inclus dans le MAC-SCI sont des éléments issus de l'ISNCSCI. L'étude des variations neurologiques détectées par un examen ISNCSCI postopératoire par rapport à un examen MAC-SCI préopératoire a montré que 96% des variations étaient ainsi captées. Ce résultat démontre qu'en plus d'être un outil d'évaluation neurologique simplifié, le MAC-SCI est également un outil permettant de suivre les variations neurologiques périopératoires en plus de conserver la capacité de l'ISNCSCI à détecter également les variations neurologiques, lorsque comparé à un examen MAC-SCI préalable.

En résumé, l'objectif 2 de comparer l'évolution neurologique périopératoire mesurée par le MAC-SCI avec l'évolution neurologique périopératoire établie avec l'ISNCSCI a été atteint. À la lumière des résultats de ce second volet du travail, le MAC-SCI a démontré une précision intéressante pour être un outil utilisé comme examen neurologique de suivi périopératoire. Il est raisonnable d'avancer que les variations neurologiques cliniquement significatives seraient détectées alors que celles ratées n'auraient pas d'impact clinique pour le patient. De plus, le fait de comparer un examen MAC-SCI préalable à un examen ISNCSCI ultérieur conserve la capacité de l'ISNCSCI à détecter les variations neurologiques périopératoires.

#### **8.4 Retour sur l'implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI**

La troisième et dernière hypothèse de recherche (hypothèse 3) était que les taux de complétion d'une version simplifiée de l'ISNCSCI seraient significativement plus élevés que les taux de complétion canadiens estimés maximale à 44% de l'ISNCSCI original. L'objectif 3 était d'implémenter cette version simplifiée de l'examen ISNCSCI (objectif 3a) et d'évaluer sa complétion dans un centre de traumatologie tertiaire spécialisé en blessés médullaires (objectif 3b).

##### **8.4.1 Résumé des résultats de l'implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI**

Comme présenté au chapitre 7, le MAC-SCI a été entièrement complété à l'admission chez 79% des patients s'étant présentés avec une LMT entre le 1er février et le 30 avril 2022. Les myotomes ont été les éléments les plus souvent évalués, avec une moyenne de 86%. Les dermatomes cervicaux et thoraciques ont également montré une évaluation chez la majorité des patients avec une moyenne de 79%. L'emphase mise sur l'importance de l'évaluation des fonctions rectales s'est également transposée dans les résultats de l'évaluation de la contraction anale et de la sensibilité anale superficielle chez 86% des patients et de la sensibilité anale profonde chez 79% des patients.

#### **8.4.2 Comparaison avec les taux de complétion de l'ISNCSCI et de ses éléments individuels**

Lors du premier volet de ce travail, l'évaluation des taux de complétion de l'ISNCSCI ainsi que de ses éléments individuels avait été faite pour déterminer la pertinence de développer une adaptation simplifiée de l'ISNCSCI dans le contexte d'un patient avec une LMT en contexte aigu. Dans la cohorte de 148 patients s'étant présentés à l'hôpital du Sacré-Cœur de Montréal avec une LMT entre juin 2018 et septembre 2021, le pourcentage d'examens ISNCSCI complétés était de 33%. Lorsque l'on compare les 79% de complétion de l'examen MAC-SCI au 33% de complétion de l'examen ISNCSCI à l'intérieur de notre centre, nous obtenons une augmentation de 2,4 fois les taux d'examens complétés avec le MAC-SCI. Également, lorsque le taux de complétion du MAC-SCI de 79% est comparé au taux de complétion canadien de l'ISNCSCI estimé maximale à 44%(23), celui-ci est cliniquement et statistiquement significativement plus élevé.

L'analyse détaillée de l'évaluation des dermatomes cervicaux et thoraciques du MAC-SCI par rapport à l'ISNCSCI permet de tirer d'intéressantes conclusions. La moyenne des évaluations des dermatomes cervicaux et thoraciques pour la modalité du toucher léger avec l'ISNCSCI était respectivement de 63% et de 69% pour une moyenne combinée de 68%. L'évaluation de la même modalité du toucher léger pour les dermatomes cervicaux et thoraciques avec le MAC-SCI était de 79%. Cette augmentation de 11% de l'évaluation des dermatomes cervicaux et thoraciques est particulièrement importante puisqu'à ces différents niveaux médullaires, aucun myotome n'est testé. L'établissement du NNL dépend donc entièrement de l'évaluation sensitive cervicale ou thoracique à ces niveaux. Tel que mentionné précédemment, l'établissement d'un NNL adéquat permet de prescrire les niveaux d'imagerie appropriés et d'anticiper les complications propres aux différents segments médullaires. Deux hypothèses peuvent expliquer cette augmentation dans la compliance de l'évaluation sensitive cervicale et thoracique. Premièrement, l'emphase mise sur ces éléments qui représentent 30 des 53 éléments inclus dans le MAC-SCI soit plus de 57% des éléments totaux. Deuxièmement, le retrait de plus de 60% de l'ISNCSCI original permet au clinicien de se concentrer sur un nombre réduit d'éléments à tester et encourage ainsi la complétion de l'examen neurologique sensitif cervical et thoracique. Par rapport à l'évaluation

des myotomes des membres supérieurs et inférieurs faite à l'intérieur du MAC-SCI, celle-ci se compare à celle faite lors de l'ISNCSCI avec des taux de complétion respectifs de 86% et de 91%.

En lien avec l'examen rectal, l'évaluation de la contraction anale volontaire est restée constante avec l'utilisation du MAC-SCI par rapport à l'ISNCSCI avec des taux d'évaluation respectifs de 86% et de 80%. Un élément intéressant à noter au niveau de l'évaluation rectale est l'examen de la sensibilité anale superficielle. Alors que celle-ci a été faite chez seulement 66% des patients via l'évaluation S4-S5 de l'ISNCSCI, elle l'a été chez 86% des patients avec le MAC-SCI. Il était curieux de noter qu'avec l'ISNCSCI l'évaluation de la contraction anale était faite chez 80% des patients tandis que l'évaluation sensitive anale superficielle de S4-S5 ne l'était que chez 66% des patients. En effet, l'évaluation de la contraction anale volontaire et de la sensibilité anale superficielle est très rapprochée anatomiquement. Les explications possibles en lien avec cette différence pourraient être une méconnaissance anatomique des évaluateurs de la distribution S4-S5 qui portait ceux-ci à ne pas évaluer cette zone simultanément à l'évaluation de la contraction anale volontaire, un oubli de l'évaluateur ou encore en lien avec la méthode d'évaluation de la sensibilité superficielle S4-S5 simplifiée du MAC-SCI. Le MAC-SCI ramène les taux d'évaluation de la contraction anale volontaire et de la sensibilité anale superficielle à des taux identiques de 86%. En lien avec les hypothèses mentionnées, il se pourrait que la simple notation comme « sensibilité superficielle » et non par la notation « S4-S5 » favorise l'adhérence et la compréhension du clinicien en lien avec l'évaluation de la sensibilité anale superficielle. Cette augmentation de 20% de l'évaluation et de la documentation de la sensibilité anale superficielle est cliniquement significative. En effet, la préservation de sensibilité anale superficielle suffit à modifier le grade AIS de A vers B advenant l'absence de contraction anale volontaire et de sensibilité anale profonde. Ce changement de grade est significativement important pour l'évaluation du pronostic de récupération neurologique ainsi que du suivi longitudinal et fonctionnel du patient.

## **8.5 Limitations du MAC-SCI**

### **8.5.1 Syndrome centromédullaire**

Le syndrome centromédullaire a initialement été décrit par Schneider en 1954 et était défini comme une faiblesse disproportionnée des membres supérieurs par rapport aux membres inférieurs avec une atteinte quelconque de la vessie(35). Encore de manière contemporaine, il n'existe pas de définition unanime du syndrome centromédullaire. Pouw et coll. ont observé dans leur revue systématique de 30 études que le score moteur des membres supérieurs était en moyenne de dix points inférieurs au score moteur des membres inférieurs chez les patients diagnostiqués avec un syndrome centromédullaire(54). Alors que la majorité des définitions inclut une forme de faiblesse aux membres supérieurs, une sous-catégorie de ces patients peut se présenter avec un déficit aux membres supérieurs de nature uniquement sensitive. Ayant retiré l'évaluation des dermatomes sensitifs des membres supérieurs à l'intérieur du MAC-SCI au profit des myotomes des membres supérieurs, le MAC-SCI pourrait donc potentiellement rater ce sous-groupe de patients. Par contre, l'évaluation des dermatomes des extrémités demeure une section optionnelle à l'intérieur de l'examen du MAC-SCI par exemple en cas d'une blessure musculo-squelettique qui empêcherait l'évaluation motrice des extrémités. Devant un patient se présentant uniquement avec une plainte sensitive aux membres supérieurs, l'histoire clinique devrait prédominer et les cases optionnelles pour colliger l'examen sensitif des membres supérieurs devraient être complétées. En effet, dans les cas d'atteinte uniquement sensitive aux membres supérieurs, l'histoire de même que l'examen moteur révéleront le plus souvent des douleurs neurogènes significatives.

### **8.5.2 Radiculopathies**

Une autre entité clinique représentant une possible limitation pour le MAC-SCI est une radiculopathie exclusivement sensitive. Bien que les radiculopathies, surtout unilatérales, ne soient pas à proprement dit des LMTs puisque la racine nerveuse affectée fait partie du système nerveux périphérique, il n'en reste néanmoins que l'identification de cette pathologie est pertinente dans le contexte d'un patient de traumatologie. En effet, une telle radiculopathie

pourrait, par exemple, être la cause d'une luxation ou subluxation facettaire pouvant nécessiter une réduction fermée ou même une intervention chirurgicale. De la même manière qu'avec le syndrome centromédullaire sensitif mentionné au point 8.4.1, devant une radiculopathie de nature exclusivement sensitive, le clinicien devrait laisser la prédominance au questionnaire clinique et compléter l'évaluation des dermatomes des extrémités de manière à localiser le niveau de l'atteinte radiculaire. De plus, ces lésions radiculaires seront fortement suspectées sur l'imagerie initiale sous forme de fracture avec ou sans luxation facettaire.

### **8.5.3 Queue de cheval et cône médullaire**

Les deux derniers syndromes pouvant se présenter avec un examen MAC-SCI normal sont le syndrome de la queue de cheval et du cône médullaire. Les patients atteints de ces syndromes auront habituellement des atteintes sensitives ou motrices à l'examen rectal, mais une certaine proportion de ces patients auront une présentation subclinique ou dynamique et auront ainsi un examen neurologique presque normal. Bien que cela représente une limitation du MAC-SCI, un tel diagnostic serait également raté par un examen ISNCSCI complet. Ceci met l'accent sur l'importance du suivi longitudinal des fonctions sphinctériennes anale et vésicale.

### **8.5.4 Persistance de barrières à l'examen neurologique abrégé**

Malgré le retrait de plus de 60% des éléments inclus dans l'examen ISNCSCI original, des barrières persistent à l'utilisation de sa forme simplifiée. Comme présenté au chapitre 7, trois patients sur les 14 inclus dans la cohorte d'évaluation de l'implémentation clinique préliminaire du MAC-SCI ont présenté un examen incomplet. Un patient intubé et sédationné n'avait aucun examen neurologique documenté, un patient avec une lésion thoracique n'avait pas d'examen neurologique de ses membres supérieurs et un patient avec une sténose spinale cervicale n'avait pas d'examen neurologique de ses membres inférieurs.

Premièrement, aucun examen neurologique clinique aussi simplifié qu'il soit ne permettra de surpasser certaines limitations intrinsèques au patient tel que le fait d'être intubé et sédationné. La même chose est vraie pour un patient avec une altération de l'état de conscience sévère. Par contre, certains patients sont intubés par mesures préventives et sont ensuite sédationnés pour leur confort durant la période d'intubation. Avec de tels patients, il est possible de baisser les sédations et de compléter certains éléments d'évaluation neurologique. Par exemple, il peut être possible de tester la modalité du toucher léger par confirmation visuelle du patient après la stimulation des différents dermatomes. Certains patients intubés peuvent même collaborer à certaines portions de l'examen neurologique moteur lorsque les sédations sont diminuées. Alors que difficilement quantifiable, il semble adéquat qu'un examen contenant 60% moins d'éléments à compléter seraient potentiellement plus motivant à compléter autant pour l'examineur que pour le patient. Cette hypothèse est soutenue par un examen MAC-SCI complété à 100% chez un patient intubé dans la cohorte d'évaluation de l'implémentation clinique. Ceci étant dit, aucun examen neurologique clinique ne permettra de diagnostiquer la sévérité ainsi que le NNL chez un patient avec lequel aucun contact n'est possible.

Les deux cas où l'examen neurologique des membres supérieurs ou inférieurs était manquant offrent d'intéressantes pistes d'enseignement. En effet, un patient se présentant avec une lésion thoracique et une atteinte neurologique aux membres inférieurs devrait en tout temps avoir une évaluation neurologique de ses membres supérieurs. La même chose est vraie pour un patient avec une atteinte cervicale et une atteinte neurologique aux membres supérieurs, celui-ci devrait toujours avoir une évaluation neurologique sensitive de son thorax et motrice de ses membres inférieurs. Malgré que le contexte des soins en traumatologie soit différent pour chaque patient et qu'un aspect de vitesse et de rapidité soit la plupart du temps nécessaire, un examen neurologique des quatre extrémités est un minimum nécessaire pour déceler des atteintes non contiguës fréquentes chez cette population. L'emphase que le MAC-SCI met sur l'examen des extrémités qui représente 40% de l'examen ainsi que la flexibilité du MAC-SCI sur la façon dont l'examen neurologique des extrémités est effectué (moteur ou sensitif) vise à maximiser la compliance des cliniciens à compléter l'examen neurologique des quatre extrémités. Les cas



soulevés dans la cohorte d'évaluation de l'implémentation du MAC-SCI qui n'avaient pas d'examen neurologique de toutes les extrémités montrent que le MAC-SCI en soi n'est pas suffisant à encourager les cliniciens à faire des examens neurologiques complets et qu'une portion d'éducation ne saura se soustraire au succès de l'implémentation de ce nouvel outil.

## **8.6 Développements futurs du MAC-SCI**

### **8.6.1 Études cliniques subséquentes**

À l'intérieur de ce travail, le MAC-SCI a été développé à partir des taux de complétion des éléments de l'ISNCSCI observés dans une large cohorte de patients avec une LMT et d'une méthode Delphi incluant six cliniciens d'expertise et de niveaux d'expérience variés. Par la suite, le MAC-SCI a été validé de façon rétrospective. Alors que ce devis d'étude rétrospective a permis d'établir la performance du MAC-SCI à déterminer la sévérité ainsi que la localisation de la LMT chez des patients préalablement connus blessés médullaires, il n'est pas possible d'en assurer son habileté à détecter les LMT chez une population traumatique générale. Pour établir le MAC-SCI comme outil de détection des LMTs, en plus d'un outil de détermination de sévérité et de localisation de la LMT, il devra être soumis à un devis d'étude prospective chez une population traumatique générale et non spécifiquement blessée médullaire. Ce devis d'étude pose plusieurs défis. Étant donné que le MAC-SCI a expressément été développé dans le contexte que l'ISNCSCI n'était pas adapté au patient de traumatologie se présentant en salle de réanimation, il est peu réaliste qu'un devis prospectif propose de faire à la fois le MAC-SCI ainsi que l'ISNCSCI chez de tels patients. Un devis prospectif serait donc vraisemblablement plus approprié dans un contexte contrôlé tel que dans un contexte postopératoire ou de clinique ambulatoire. Un devis prospectif dans ce contexte présenterait tout de même certaines limitations, puisqu'il serait réalisé dans un autre contexte auquel le MAC-SCI est dédié, mais pourrait être un substitut aux limites techniques de faire un double examen neurologique chez le patient de traumatologie en contexte aigu. En plus de permettre d'établir ou non le MAC-SCI comme outil de détection des LMTs chez le patient de traumatologie, ce devis pourrait permettre de déterminer le temps moyen épargné par le MAC-SCI par rapport à l'ISNCSCI puisque les deux examens seraient faits dans le même contexte

contrôlé et serait idéalement complété par deux observateurs différents de manière à pouvoir évaluer l'accord interobservateur et la reproductibilité clinique du MAC-SCI.

Un second aspect à évaluer sera la validité externe du MAC-SCI. Ceci pourra être fait à l'aide d'un devis rétrospectif tel que dans l'étude actuelle, mais dans un autre centre de blessés médullaires. Dans l'optique d'exportation du MAC-SCI à d'autres centres de blessés médullaires traumatiques, l'étude de sa validation externe est une étape nécessaire.

Une fois la capacité du MAC-SCI à détecter les LMTs dans une population traumatique générale et sa validité externe confirmée, la dernière étape sera d'étudier son utilisation auprès des cliniciens de traumatologie de première ligne tels que les urgentologues et les chirurgiens en traumatologie. Cette étude devra confirmer la capacité de ces cliniciens à utiliser adéquatement l'outil d'évaluation neurologique du MAC-SCI en comparant leur performance aux utilisateurs initiaux du MAC-SCI. Cette dernière étape permettra de favoriser son implémentation clinique à large échelle et potentiellement à l'intérieur de protocoles de traumatologie standardisés comme l'ATLS.

### **8.6.2 Plan de dissémination et développements cliniques futurs**

Le plan de dissémination local du MAC-SCI ayant déjà été effectué au niveau local, celui-ci est maintenant l'unique outil d'évaluation neurologique utilisé par les chirurgiens du rachis ainsi que les résidents en chirurgie orthopédique à l'hôpital du Sacré-Cœur de Montréal. Le plan de dissémination externe a débuté par des présentations provinciales et nationales tout au long du développement du MAC-SCI pour susciter l'intérêt et les commentaires des différents utilisateurs potentiels. Le plan de dissémination à venir sera via le biais de publications et présentations scientifiques qui émaneront des différentes étapes de validation du MAC-SCI (validation comme outil de détection des LMTs, validation externe et validation auprès des cliniciens de traumatologie de première ligne). À terme, des discussions sont souhaitées avec les membres des

conseils des sociétés de l'*American Spinal Injury Association* (ASIA) et de l'ATLS pour présenter et soumettre le MAC-SCI comme outil d'évaluation neurologique adapté à l'évaluation secondaire du patient polytraumatisé.

L'adaptation simplifiée de l'ISNCSCI pour le patient avec une LMT en traumatologie ouvre la porte à de multiples opportunités cliniques. Une de ces opportunités est le développement d'une application mobile. En plus d'être un outil où colliger les données de l'examen neurologique, une telle application pourrait calculer automatiquement le grade de sévérité de la LMT ainsi que le NNL. Cette étape de détermination du grade de sévérité ainsi que du NNL est souvent l'étape la plus complexe et faite de façon erronée par les cliniciens. Le développement d'une application permettant l'automatisation de ce calcul réduirait les erreurs humaines de calcul du grade de sévérité ainsi que du NNL.

Un autre développement clinique possible est l'incorporation de l'examen MAC-SCI à la « Fiche d'évaluation du patient polytraumatisé » utilisée lors de l'évaluation primaire des patients polytraumatisés. Ayant le MAC-SCI à l'intérieur de ce document aiderait le clinicien en traumatologie à compléter les différentes sections du MAC-SCI et éviterait la multiplication de documentation d'examens neurologiques différents.

Finalement, l'objectif ultime est d'en arriver avec un outil d'évaluation neurologique adapté au patient de traumatologie en contexte aigu qui sera validé pour détecter la présence d'une atteinte médullaire et d'en déterminer la sévérité ainsi que la localisation. Un tel outil combiné à une utilisation technologique appropriée aurait toutes les raisons d'être exporté à large échelle et incorporé dans les protocoles de traumatologie standardisés.



## Chapitre 9 – Conclusion

Ce travail visait à combler le besoin clinique d'avoir un outil d'évaluation neurologique adapté au patient avec une lésion médullaire traumatique (LMT) en contexte aigu.

Nous avons proposé une version simplifiée de l'outil d'évaluation et de classification des LMTs le plus utilisé et reconnu mondialement, l'*International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI)*, en prenant compte des tendances évaluées sur une cohorte de 148 patients ainsi que de l'avis de six cliniciens impliqués dans la prise en charge des patients blessés médullaires. L'adaptation ainsi dérivée contient 60% moins d'éléments et ne contient qu'une modalité neurologique à évaluer par niveau.

Nous avons par la suite validé cette version simplifiée que nous avons nommé le *Montreal Acute Classification of Spinal Cord Injury (MAC-SCI)* sur une cohorte de 35 patients et avons démontré une précision de 100% à classer le grade de sévérité des LMTs et à localiser l'étage lésionnel neurologique par rapport à l'ISNCSCI. Sa capacité à détecter les variations neurologiques périopératoires a également été illustrée en ne ratant aucune détérioration. Finalement, l'évaluation de son implémentation clinique préliminaire a révélé des taux de complétion de 2,4 fois supérieurs à l'ISNCSCI original.

En conclusion, le MAC-SCI se positionne comme un outil d'évaluation neurologique simplifié pour le patient avec une LMT en contexte aigu développé à partir de l'évaluation neurologique la plus reconnue mondialement, l'ISNCSCI. Nous souhaitons que le MAC-SCI soit incorporé dans les protocoles d'évaluation de traumatologie à grande échelle, dans le but d'uniformiser l'évaluation des patients blessés médullaires et ultimement d'augmenter la qualité des soins apportés à ces patients dans la phase aiguë de leur prise en charge.



## Références bibliographiques

1. Praxis Spinal Cord Institute. Rick Hansen Spinal Cord Injury Registry - A look at traumatic spinal cord injury in Canada in 2019. Vancouver, BC: Praxis; 2021.
2. National Spinal Cord Injury Statistical Center, Facts and Figures at a Glance. Birmingham, AL: University of Alabama at Birmingham, 2021.
3. Eisen A. Disorders affecting the spinal cord. In: UpToDate, Post TW (Ed), UpToDate, Waltham, MA. (Consulté le 11 mai 2022). [
4. Devivo MJ. Epidemiology of traumatic spinal cord injury: trends and future implications. Spinal Cord. 2012;50(5):365-72.
5. Hansebout R, Kachur E. Acute traumatic spinal cord injury. In: UpToDate, Post TW (Ed), UpToDate, Waltham, MA. (Consulté le 11 mai 2022).
6. Ahuja CS, Wilson JR, Nori S, Kotter MRN, Druschel C, Curt A, et al. Traumatic spinal cord injury. Nat Rev Dis Primers. 2017;3:17018.
7. Lin V, Cardenas DD, Cutter NC, editors. Spinal Cord Medicine : Principles and Practice. New York: Demos Medical Publishing; 2003. Created from umontreal-ebooks on 2022-05-15 11:37:00.
8. Eisen A. Anatomy and localization of spinal cord disorders. In: UpToDate, Post TW (Ed), UpToDate, Waltham, MA. (Image consultée le 12 mai 2022).
9. Anandasivam NS, Ondeck NT, Bagi PS, Galivanche AR, Samuel AM, Bohl DD, et al. Spinal fractures and/or spinal cord injuries are associated with orthopedic and internal organ injuries in proximity to the spinal injury. N Am Spine Soc J. 2021;6:100057.
10. Tator C, Benzel E. Contemporary Management of Spinal Cord Injury: From Impact to Rehabilitation. 3rd ed. Park Ridge, IL: American Association of Neurological Surgeons; 2000.

11. Koay J, Davis DD, Hogg JP. Chance Fractures. [Updated 2021 Aug 25]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536926/>.
12. American College of Surgeons. (2018). Advanced trauma life support: Student course manual.
13. Teasdale G, Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale. *Lancet*. 1974;2(7872):81-4.
14. Rupp R, Biering-Sørensen F, Burns SP, Graves DE, Guest J, Jones L, et al. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury: Revised 2019. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2021;27(2):1-22.
15. Vasquez N, Gall A, Ellaway PH, Craggs MD. Light touch and pin prick disparity in the International Standard for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI). *Spinal Cord*. 2013;51(5):375-8.
16. Compston A. Aids to the investigation of peripheral nerve injuries. Medical Research Council: Nerve Injuries Research Committee. His Majesty's Stationery Office: 1942; pp. 48 (iii) and 74 figures and 7 diagrams; with aids to the examination of the peripheral nervous system. By Michael O'Brien for the Guarantors of Brain. Saunders Elsevier: 2010; pp. [8] 64 and 94 Figures. *Brain*. 2010;133(10):2838-44.
17. Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michaelis LS, Ungar GH, et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. I. Paraplegia. 1969;7(3):179-92.
18. Roberts TT, Leonard GR, Cepela DJ. Classifications In Brief: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale. *Clin Orthop Relat Res*. 2017;475(5):1499-504.
19. Association ASCI. Standards for neurological classification of spinal injured patients. ASIA, Chicago. 1982.



20. Kirshblum S, Botticello A, Benedetto J, Donovan J, Marino R, Hsieh S, et al. A Comparison of Diagnostic Stability of the ASIA Impairment Scale Versus Frankel Classification Systems for Traumatic Spinal Cord Injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2020;101(9):1556-62.
21. Benzel EC, Lancon J, Kesterson L, Hadden T. Cervical laminectomy and dentate ligament section for cervical spondylotic myelopathy. *J Spinal Disord.* 1991;4(3):286-95.
22. Geisler FH, Coleman WP, Grieco G, Poonian D, Group tSS. Measurements and Recovery Patterns in a Multicenter Study of Acute Spinal Cord Injury. *Spine.* 2001;26(24S):S68-S86.
23. Walden K, Parsons J, Bailey C, Dhaliwal P, Fournay D, Noonan V, et al. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI): use in acute care. 2021 Canadian Spine Society Abstracts. *Can J Surg.* 2021;64(4):S1-36.
24. Burns SP, Tansey KE. The Expedited International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (E-ISNCSCI). *Spinal Cord.* 2020;58(6):633-4.
25. Brown PJ, Marino RJ, Herbison GJ, Ditunno JF, Jr. The 72-hour examination as a predictor of recovery in motor complete quadriplegia. *Arch Phys Med Rehabil.* 1991;72(8):546-8.
26. Evaniew N, Sharifi B, Waheed Z, Fallah N, Ailon T, Dea N, et al. The influence of neurological examination timing within hours after acute traumatic spinal cord injuries: an observational study. *Spinal Cord.* 2020;58(2):247-54.
27. Battistuzzo CR, Smith K, Skeers P, Armstrong A, Clark J, Agostinello J, et al. Early Rapid Neurological Assessment for Acute Spinal Cord Injury Trials. *J Neurotrauma.* 2016;33(21):1936-45.
28. Stiell IG, Wells GA, Vandemheen KL, Clement CM, Lesiuk H, De Maio VJ, et al. The Canadian C-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *Jama.* 2001;286(15):1841-8.
29. Hoffman JR, Mower WR, Wolfson AB, Todd KH, Zucker MI. Validity of a set of clinical criteria to rule out injury to the cervical spine in patients with blunt trauma. National Emergency X-Radiography Utilization Study Group. *N Engl J Med.* 2000;343(2):94-9.

30. Broder J, Warshauer DM. Increasing utilization of computed tomography in the adult emergency department, 2000-2005. *Emerg Radiol.* 2006;13(1):25-30.
31. Kokabi N, Raper DM, Xing M, Giuffre BM. Application of imaging guidelines in patients with suspected cervical spine trauma: retrospective analysis and literature review. *Emerg Radiol.* 2011;18(1):31-8.
32. Miller CP, Brubacher JW, Biswas D, Lawrence BD, Whang PG, Grauer JN. The incidence of noncontiguous spinal fractures and other traumatic injuries associated with cervical spine fractures: a 10-year experience at an academic medical center. *Spine (Phila Pa 1976).* 2011;36(19):1532-40.
33. Pang D, Wilberger JE, Jr. Spinal cord injury without radiographic abnormalities in children. *J Neurosurg.* 1982;57(1):114-29.
34. Kasimatis GB, Panagiotopoulos E, Megas P, Matzaroglou C, Gliatis J, Tyllianakis M, et al. The adult spinal cord injury without radiographic abnormalities syndrome: magnetic resonance imaging and clinical findings in adults with spinal cord injuries having normal radiographs and computed tomography studies. *J Trauma.* 2008;65(1):86-93.
35. Schneider RC, Cherry G, Pantek H. The syndrome of acute central cervical spinal cord injury; with special reference to the mechanisms involved in hyperextension injuries of cervical spine. *J Neurosurg.* 1954;11(6):546-77.
36. Walters BC, Hadley MN, Hurlbert RJ, Aarabi B, Dhall SS, Gelb DE, et al. Guidelines for the management of acute cervical spine and spinal cord injuries: 2013 update. *Neurosurgery.* 2013;60(CN\_suppl\_1):82-91.
37. Shank CD, Walters BC, Hadley MN. Current Topics in the Management of Acute Traumatic Spinal Cord Injury. *Neurocrit Care.* 2019;30(2):261-71.
38. Hawryluk G, Whetstone W, Saigal R, Ferguson A, Talbott J, Bresnahan J, et al. Mean Arterial Blood Pressure Correlates with Neurological Recovery after Human Spinal Cord Injury: Analysis of High Frequency Physiologic Data. *J Neurotrauma.* 2015;32(24):1958-67.

39. Thirumala P, Zhou J, Natarajan P, Balzer J, Dixon E, Okonkwo D, et al. Perioperative neurologic complications during spinal fusion surgery: incidence and trends. *Spine J*. 2017;17(11):1611-24.
40. Cramer DE, Maher PC, Pettigrew DB, Kuntz Ct. Major neurologic deficit immediately after adult spinal surgery: incidence and etiology over 10 years at a single training institution. *J Spinal Disord Tech*. 2009;22(8):565-70.
41. Marshall LF, Knowlton S, Garfin SR, Klauber MR, Eisenberg HM, Kopaniky D, et al. Deterioration following spinal cord injury. A multicenter study. *J Neurosurg*. 1987;66(3):400-4.
42. Harrop JS, Sharan AD, Vaccaro AR, Przybylski GJ. The cause of neurologic deterioration after acute cervical spinal cord injury. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(4):340-6.
43. Ahn H, Fehlings MG. Prevention, identification, and treatment of perioperative spinal cord injury. *Neurosurg Focus*. 2008;25(5):E15.
44. Ahuja CS, Badhiwala JH, Fehlings MG. "Time is spine": the importance of early intervention for traumatic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2020;58(9):1037-9.
45. Fehlings MG, Vaccaro A, Wilson JR, Singh A, D WC, Harrop JS, 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(2):e32037.
46. Badhiwala JH, Wilson JR, Witiw CD, Harrop JS, Vaccaro AR, Aarabi B, et al. The influence of timing of surgical decompression for acute spinal cord injury: a pooled analysis of individual patient data. *Lancet Neurol*. 2021;20(2):117-26.
47. Temel G, Erdogan S. Determining the sample size in agreement studies. *Marmara Medical Journal*. 2017;30:101-12.
48. Praxis Spinal Cord Institute. A reliable computational algorithm to score the impairment scale calculations of the ASIA International Standards For Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI). Version 2.0 (2019 updates). Available from: <https://www.isncscialgorithm.com/>

49. Lasfargues JE, Custis D, Morrone F, Carswell J, Nguyen T. A model for estimating spinal cord injury prevalence in the United States. *Paraplegia*. 1995;33(2):62-8.
50. Jain NB, Ayers GD, Peterson EN, Harris MB, Morse L, O'Connor KC, et al. Traumatic spinal cord injury in the United States, 1993-2012. *Jama*. 2015;313(22):2236-43.
51. Kirshblum S, Snider B, Rupp R, Read MS. Updates of the International Standards for Neurologic Classification of Spinal Cord Injury: 2015 and 2019. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2020;31(3):319-30.
52. Burns AS, Lee BS, Ditunno JF, Jr., Tessler A. Patient selection for clinical trials: the reliability of the early spinal cord injury examination. *J Neurotrauma*. 2003;20(5):477-82.
53. Hasson F, Keeney S, McKenna H. Research guidelines for the Delphi survey technique. *J Adv Nurs*. 2000;32(4):1008-15.
54. Pouw MH, van Middendorp JJ, van Kampen A, Hirschfeld S, Veth RP, Curt A, et al. Diagnostic criteria of traumatic central cord syndrome. Part 1: a systematic review of clinical descriptors and scores. *Spinal Cord*. 2010;48(9):652-6.

## **Annexes**

**Annexe 1 - Tableau complet des examens neurologiques ISNCSCI et MAC-SCI  
préopératoires et postopératoires**

| Patient | Préopératoire |       |         |       | Postopératoire |       |         |       | Variation neurologique selon l'ISNCSCI postopératoire vs préopératoire |
|---------|---------------|-------|---------|-------|----------------|-------|---------|-------|--|
|         | ISNCSCI       |       | MAC-SCI |       | ISNCSCI        |       | MAC-SCI |       |  |
|         | NNL           | Grade | NNL     | Grade | NNL            | Grade | NNL     | Grade |  |
| 1       | C5            | A     | C5      | A     | C5             | A     | C5      | A     | Pas de variation   |
| 2       | L2            | D     | L2      | D     | L1             | D     | L1      | D     | Détérioration NNL  |
| 3       | L1            | D     | L1      | D     | C5             | D     | C5      | D     | Détérioration NNL  |
| 4       | C5            | A     | C5      | A     | C5             | A     | C5      | A     | Pas de variation   |
| 5       | T9            | D     | T9      | D     | T7             | D     | T7      | D     | Détérioration NNL  |
| 6       | C4            | D     | C5      | D     | C1             | D     | C1      | D     | Détérioration NNL  |
| 7       | L5            | A     | S1      | A     | L5             | B     | S1      | B     | Amélioration grade   |
| 8       | C6            | D     | C8      | D     | C7             | D     | C8      | D     | Amélioration NNL   |
| 9       | L1            | A     | L1      | A     | L1             | A     | L1      | A     | Pas de variation   |
| 10      | T12           | B     | L1      | B     | T12            | B     | T12     | B     | Pas de variation   |
| 11      | T9            | A     | T9      | A     | T11            | A     | T11     | A     | Amélioration NNL   |
| 12      | L2            | D     | L2      | D     | T10            | D     | T10     | D     | Détérioration NNL  |
| 13      | C8            | A     | C8      | A     | T9             | A     | T9      | A     | Amélioration NNL   |
| 14      | C5            | A     | C5      | A     | C5             | B     | C5      | B     | Amélioration grade   |
| 15      | L1            | C     | L1      | C     | T10            | A     | T10     | A     | Détérioration NNL<br>Détérioration grade                               |
| 16      | T3            | C     | T3      | C     | T12            | C     | T12     | C     | Amélioration NNL   |
| 17      | L1            | D     | L2      | D     | T12            | A     | T12     | A     | Détérioration NNL<br>Détérioration grade                               |
| 18      | C5            | B     | C5      | B     | C5             | C     | C5      | C     | Amélioration grade   |
| 19      | C5            | C     | C5      | C     | C4             | B     | C4      | B     | Détérioration NNL<br>Détérioration grade                               |
| 20      | T10           | C     | T10     | C     | L1             | A     | L1      | A     | Amélioration NNL<br>Détérioration grade                                |
| 21      | C5            | D     | C5      | D     | C4             | D     | C4      | D     | Détérioration NNL  |
| 22      | C2            | D     | C2      | D     | C6             | D     | C6      | D     | Amélioration NNL   |
| 23      | L1            | A     | L2      | A     | L5             | A     | L5      | A     | Amélioration NNL   |
| 24      | C4            | D     | C6      | D     | C4             | D     | C8      | D     | Pas de variation   |
| 25      | C6            | D     | C8      | D     | C3             | D     | C3      | D     | Détérioration NNL  |
| 26      | C5            | D     | C5      | D     | C2             | D     | C2      | D     | Détérioration NNL  |
| 27      | L2            | B     | L2      | B     | T12            | B     | L1      | B     | Détérioration NNL  |
| 28      | C5            | C     | C5      | C     | C2             | C     | C2      | C     | Détérioration NNL  |
| 29      | L1            | D     | L1      | D     | L1             | D     | L1      | D     | Pas de variation   |
| 30      | T5            | D     | T5      | D     | T9             | D     | T9      | D     | Amélioration NNL   |
| 31      | C3            | B     | C3      | B     | C3             | C     | C3      | C     | Amélioration grade   |
| 32      | C6            | D     | C6      | D     | C2             | D     | C2      | D     | Détérioration NNL  |
| 33      | C5            | A     | C5      | A     | C2             | B     | C2      | B     | Détérioration NNL<br>Amélioration grade                                |
| 34      | T5            | D     | T5      | D     | T2             | C     | T8      | C     | Détérioration NNL<br>Détérioration grade                               |
| 35      | C4            | A     | C5      | A     | C4             | A     | C4      | A     | Pas de variation   |