

Université de Montréal

**Prédiction de la capacité de marche à un an lors de la phase aiguë du
traumatisme chez les patients blessés médullaires traumatiques**

Par

Stéphanie Jean M.D.

Programme de cycles supérieurs en sciences biomédicales
Faculté de Médecine

Mémoire présenté en vue de
l'obtention du grade de Maîtrise ès sciences (M.Sc.)
en Sciences biomédicales
option Médecine expérimentale

Novembre 2020

© Stéphanie Jean, 2020

Ce mémoire intitulé

**Prédiction de la capacité de marche à un an lors de la phase aiguë du
traumatisme chez les patients blessés médullaires traumatiques**

Présenté par

Stéphanie Jean

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Dr Jean-François Lemay PhD

Président-rapporteur

Dre Andréane Richard-Denis MD, MSc, FRCPC

Directrice de recherche

Dr Jean-Marc Mac-Thiong MD, PhD, FRCSC

Codirecteur

Dre Muriel Haziza MD, FRCPC

Membre du jury

Résumé

Une lésion médullaire traumatique (LMT) a des conséquences neurologiques importantes, dont l'altération de la capacité à marcher. Prédire précocement cette capacité suite au traumatisme a inspiré le développement de multiples règles de prédiction. Simples et précises, elles prédisent la marche intérieure sur de courtes distances, sans considérer la qualité de la marche. L'utilité et la valeur ajoutée de ces règles n'ont jamais été évaluées comparativement au jugement non structuré des cliniciens à qui elles sont dédiées.

L'objectif était d'identifier des éléments de l'évaluation aiguë standardisée ISNCSCI (*International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury*) permettant de développer une règle de prédiction clinique pour la marche communautaire extérieure indépendante un an après une LMT, tout en assurant une bonne validité externe et une utilité clinique lorsque comparée au jugement des cliniciens.

La force segmentaire du membre inférieur le plus fort et la préservation de la sensibilité au toucher léger sont de meilleurs prédicteurs d'une marche indépendante. Une règle de prédiction clinique a également pu être développée : elle est pertinente; généralisable; simple; tient compte de la qualité de la marche; et est axée sur la vie communautaire, la participation sociale et la qualité de vie.

La performance d'une règle de prédiction de la marche intérieure est statistiquement similaire à celle de cliniciens utilisant leur jugement non structuré, mais peut varier.

Cette recherche recommande l'utilisation de règles de prédiction clinique comme aide à la décision chez les patients après une LMT, dont celle développée pour la marche communautaire indépendante.

Mots clés : Moelle épinière, lésion médullaire, traumatisme, récupération clinique, règle de prédiction clinique, marche

Abstract

Traumatic spinal cord injury (TSCI) has important neurological consequences including impaired walking ability. Predicting early the ability to walk again after the trauma has inspired the development of multiple clinical prediction rules. Simple and accurate, they do predict walking on short indoor distances but do not consider the quality of walking. Moreover, the usefulness and added value of these rules have never been evaluated and compared to the unstructured clinical judgment of the physicians for whom they are intended.

The objective of this thesis was to identify elements of the acute INSCSCI (International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury) standardized evaluation that would allow the development of a clinical prediction rule for outdoor independent community walking one year after a TSCI, ensuring good internal and external validity as well as clinical usefulness when compared to clinical judgment.

The strength of the strongest lower limb and preserved light touch sensation are the best predictors of independent walking. A clinical prediction rule was developed to meet the objective: this rule is relevant; generalizable; simple; takes into consideration the quality of walking; and is focused on community living, social participation and quality of life.

The performance of a clinical prediction rule for indoor walking is statistically similar to that of clinicians using their unstructured judgment, but can vary depending on different factors.

This research recommends the use of clinical prediction rules as a decision aid in patients who have undergone a TSCI, including the one developed for independent functional community walking.

Keywords : spinal cord, spinal cord injury, trauma, functional recovery, clinical prediction rule, walking

Table des matières

RÉSUMÉ	3
ABSTRACT	4
TABLE DES MATIÈRES	5
LISTE DES TABLEAUX	8
LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	10
DÉDICACE	12
REMERCIEMENTS	13
CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE	15
1.1 INTRODUCTION.....	15
1.2 DISCUSSION DE LA PROBLÉMATIQUE.....	16
1.3 OBJECTIFS GÉNÉRAUX	17
CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE ET LACUNES	19
2.1 LA LÉSION MÉDULLAIRE	19
2.1.1 <i>La moelle épinière</i>	19
2.1.2 <i>Le traumatisme médullaire et ses étiologies</i>	24
2.1.3 <i>Incidence, prévalence et conséquences</i>	25
2.1.4 <i>Classification des lésions médullaires traumatiques</i>	25
2.1.5 <i>Phases du traumatisme à la moelle épinière</i>	28
2.2 LA MARCHÉ	30
2.2.1 <i>Le cycle de marche</i>	30
2.2.2 <i>Muscles déterminants de la marche</i>	32
2.2.3 <i>Types d'aide technique plus fréquemment utilisés par les patients avec lésion médullaire traumatique</i>	35
2.2.4 <i>Types de patron de marche chez les patients avec lésion médullaire</i>	38
2.2.5 <i>Facteurs influençant la marche chez les patients avec lésion médullaire</i>	40
2.2.5.1 <i>Facteurs sociodémographiques</i>	41
2.2.5.2 <i>Facteurs liés à la lésion médullaire</i>	42
2.2.6 <i>Niveaux de marche et marche fonctionnelle en communauté</i>	44
2.2.7 <i>Relation entre la marche et la qualité de vie</i>	47

2.3 RÉCUPÉRATION NEUROLOGIQUE ET FONCTIONNELLE CHEZ LES BLESSÉS MÉDULLAIRES.....	49
2.3.1 Récupération neurologique	49
2.3.2 Récupération neurologique motrice	52
2.3.3 Récupération fonctionnelle de la marche.....	54
2.3.4 Outils de suivi de la récupération neurologique et fonctionnelle.....	57
2.4 RÈGLES DE PRÉDICTION CLINIQUE DE LA MARCHÉ CHEZ LES PATIENTS AVEC LÉSION MÉDULLAIRE TRAUMATIQUE ET LEURS LACUNES	65
2.4.1 Présentation de l'étude de Van Middendorp et al. ¹⁸ et de ses lacunes.....	65
2.4.2 Présentation de l'étude de Hicks et al. et de ses lacunes.....	71
2.4.3 Présentation de l'étude de Phan et al. et de ses lacunes.....	72
2.4.4 Comparaison des règles de prédiction au jugement clinique.....	76
CHAPITRE 3 : OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES	79
3.1 HYPOTHÈSES	79
3.2 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES.....	80
CHAPITRE 4 : MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS	83
4.1 MÉTHODOLOGIE.....	83
4.2 ARTICLE 1 : EARLY CLINICAL PREDICTION OF INDEPENDENT OUTDOOR FUNCTIONAL WALKING CAPACITY IN A PROSPECTIVE COHORT OF TRAUMATIC SPINAL CORD INJURY PATIENTS	87
Abstract.....	89
Introduction.....	91
Methods.....	93
Results.....	97
Discussion.....	99
Conclusions.....	103
Figures' Legend.....	104
Tables' Legend	108
4.3 ARTICLE 2 : CLINICAL JUDGMENT IS A CORNERSTONE FOR VALIDATING AND USING CLINICAL PREDICTION RULES: A HEAD-TO-HEAD STUDY ON AMBULATION OUTCOMES FOR SPINAL CORD INJURED PATIENTS.....	113
Abstract.....	114
Introduction.....	116
Methods.....	117
Results.....	120
Discussion.....	121
Conclusions.....	124
Tables' Legend	127

4.4 ANALYSES ET RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES.....	130
4.4.1 Méthodologie.....	130
4.4.2 Résultats.....	131
4.4.2.1 Vérification des standards méthodologiques TRIPOD ¹⁴⁷	131
4.4.2.2 Analyses par sous-groupes de la précision et de la capacité de discrimination de la règle de prédiction développée dans le premier article.....	133
4.4.2.3 Processus de validation externe de la règle de prédiction développée dans le premier article.....	135
CHAPITRE 5 : DISCUSSION	139
5.1 RAPPEL DES OBJECTIFS ET RÉSUMÉ GLOBAL DES RÉSULTATS	139
5.2 IDENTIFICATION DE FACTEURS À L'EXAMEN PHYSIQUE INITIAL (ISNCSCI) CORRÉLÉS AVEC LA MARCHÉ COMMUNAUTAIRE CHEZ LES PATIENTS AVEC LÉSION MÉDULLAIRE TRAUMATIQUE.....	140
5.3 RÈGLE DE PRÉDICTION DE LA MARCHÉ COMMUNAUTAIRE CHEZ LES PATIENTS AVEC LÉSION MÉDULLAIRE TRAUMATIQUE.....	143
5.4 DIFFICULTÉ DANS LA PRÉDICTION DE LA MARCHÉ POUR LES PATIENTS AVEC LÉSION MÉDULLAIRE TRAUMATIQUE DE GRADES AIS B ET C.....	148
5.5 IMPORTANCE DE LA COMPARAISON DES RÈGLES STATISTIQUES AU JUGEMENT DES CLINIENS APPLIQUÉE À LA MARCHÉ CHEZ LES PATIENTS AVEC LÉSION MÉDULLAIRE TRAUMATIQUE	151
5.6 LIMITATIONS	155
5.7 APPLICATIONS CLINIQUES ET DIRECTIONS FUTURES	159
CHAPITRE 6 : CONCLUSION	163
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	165
ANNEXES.....	181
ANNEXE A : INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI) ASSESSMENT SCALE ³²	181
ANNEXE B : SCIM (SPINAL CORD INDEPENDENCE MEASURE), VERSION III ¹¹³	184

Liste des tableaux

TABLEAU 1. MYOTOMES CLÉS UTILISÉS DANS L'ÉVALUATION DE LÉSIONS À LA MOELLE ÉPINIÈRE (TIRÉ DE CUCCURULLO, PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION BOARD REVIEW, PAGE 552) ²³	21
TABLEAU 2 : ÉCHELLE DE SÉVÉRITÉ DES LMT SELON LES GRADES AIS ²	27
TABLEAU 3. COMPARAISON ENTRE DIFFÉRENTS OUTILS D'ÉVALUATION PARTICULIÈREMENT UTILISÉS POUR ÉVALUER LA MARCHE CHEZ LES PATIENTS AYANT SUBI UNE LÉSION MÉDULLAIRE	61
TABLEAU 4. VARIABLES DE PRÉDICTION CLINIQUE ET LEUR PONDÉRATION À UTILISER DANS L'ÉQUATION DE PRÉDICTION (TIRÉ DE VAN MIDDENDORP ET AL., A CLINICAL PREDICTION RULE FOR AMBULATION OUTCOMES AFTER TRAUMATIC SPINAL CORD INJURY: A LONGITUDINAL COHORT STUDY) ¹⁸	66
TABLEAU 5. COMPARAISON DE LA CAPACITÉ DE DISCRIMINATION ET DE LA PRÉCISION DES RÈGLES DE PRÉDICTION CLINIQUE DE LA MARCHE SELON LES GRADES AIS INDIVIDUELS OU REGROUPÉS (TIRÉ DE PHAN ET AL., HIGHLIGHTING DISCREPANCIES IN WALKING PREDICTION ACCURACY FOR PATIENTS WITH TRAUMATIC SPINAL CORD INJURY: AN EVALUATION OF VALIDATED PREDICTION MODELS USING A CANADIAN MULTICENTER SPINAL CORD INJURY REGISTRY) ¹⁷	73
TABLEAU 6. ANALYSE DE LA PRÉCISION ET DE LA PERFORMANCE DE LA RÈGLE DE PRÉDICTION DÉVELOPPÉE DANS LE PREMIER ARTICLE POUR LA COHORTE TOTALE DE PATIENTS, PAR GRADE AIS SÉPARÉMENT ET PAR GRADES AIS REGROUPÉS (A ET D COMPARÉ À B ET C)	135
TABLEAU 7. CARACTÉRISTIQUES DE BASE ET COMPARAISON DE LA COHORTE DE PATIENTS AYANT SUBI UNE LMT ET UTILISÉE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA RÈGLE DE PRÉDICTION PRÉSENTÉE DANS LE PREMIER ARTICLE ET LA COHORTE DE VALIDATION EXTERNE	136
TABLEAU 8. ANALYSE DE LA PRÉCISION ET DE LA PERFORMANCE DE LA RÈGLE DE PRÉDICTION DÉVELOPPÉE DANS LE PREMIER ARTICLE POUR LA COHORTE TOTALE DE PATIENTS DU GROUPE DE VALIDATION EXTERNE	137

Liste des figures

FIGURE 1. MOELLE ÉPINIÈRE REPRÉSENTÉE DANS LE CANAL SPINAL (TIRÉ DE BLUMENFELD, NEUROANATOMY THROUGH CLINICAL CASES, PAGE 320) ²⁴	20
FIGURE 2 : DERMATOMES (TIRÉ DE BLUMENFELD, NEUROANATOMY THROUGH CLINICAL CASES, PAGE 324) ²⁴	21
FIGURE 3. COUPE TRANSVERSALE DE LA MOELLE ÉPINIÈRE AVEC VOIES ASCENDANTES ET DESCENDANTES DE LA MATIÈRE BLANCHE ILLUSTRÉES SCHÉMATIQUEMENT (TIRÉ DE BLUMENFELD, NEUROANATOMY THROUGH CLINICAL CASES, PAGE 281) ²⁴	23
FIGURE 4. CYCLE DE MARCHÉ ET PHASES DE LA MARCHÉ (TIRÉ DE CIFU, BRADDOM'S PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION, PAGE 217) ¹	31
FIGURE 5. CYCLE DE MARCHÉ NORMAL AVEC MUSCLES PRINCIPAUX ACTIVÉS PENDANT CHAQUE PHASE (TIRÉ DE CIFU, BRADDOM'S PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION, PAGE 219) ¹	33
FIGURE 6. PATRON DE MARCHÉ DE TYPE <i>SWING-THROUGH</i> CHEZ UN PATIENT ATTEINT DE PARAPLÉGIE (TIRÉ DE CIFU, BRADDOM'S PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION, PAGE 1114) ¹	39
FIGURE 7. PATRON DE MARCHÉ RÉCIPROQUE EN QUATRE TEMPS (TIRÉ DE MEDICAL DICTIONARY : THE FREE DICTIONARY) ⁵⁶ .	40
FIGURE 8. POURCENTAGE DE CONVERSION SELON LE GRADE AIS INITIAL À UN AN SUITE AU TRAUMATISME (TIRÉ DE FAWCETT ET AL., GUIDELINES FOR THE CONDUCT OF CLINICAL TRIALS FOR SPINAL CORD INJURY AS DEVELOPED BY THE ICCP PANEL: SPONTANEOUS RECOVERY AFTER SPINAL CORD INJURY AND STATISTICAL POWER NEEDED FOR THERAPEUTIC CLINICAL TRIALS) ³⁷	52
FIGURE 9. PROBABILITÉ DE MARCHER À UN AN SUIVANT UNE LMT SELON LE RÉSULTAT TOTAL OBTENU DES DIFFÉRENTES VARIABLES DE PRÉDICTION (TIRÉ DE <i>VAN MIDDENDORP ET AL., A CLINICAL PREDICTION RULE FOR AMBULATION OUTCOMES AFTER TRAUMATIC SPINAL CORD INJURY: A LONGITUDINAL COHORT STUDY</i>) ¹⁸	67
FIGURE 10. APPLICATION DES STANDARDS MÉTHODOLOGIQUES TRIPOD ¹⁴⁷ AU PREMIER ARTICLE JOINT À CE MÉMOIRE SUR LE DÉVELOPPEMENT D'UNE RÈGLE DE PRÉDICTION DE LA MARCHÉ COMMUNAUTAIRE FONCTIONNELLE CHEZ LES PATIENTS AYANT SUBI UNE LMT	132

Liste des sigles et abréviations

AIS	ASIA Impairment Scale
ASIA	American Spinal Injury Association
AUC	Area under the ROC Curve
AVC	Accident vasculaire cérébral
CCI	Charlson Comorbidity Index
Etc.	Et cetera
FIM	Functional Independence Measure
IC	Intervalle de confiance
ISNCSCI	International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury
ISS	Injury Severity Score
LCR	Liquide céphalo-rachidien
LM	Lésion médullaire
LMT	Lésion médullaire traumatique
LMNT	Lésion médullaire non traumatique
MRC	Medical Research Council
NLI	Neurological Level of Injury (niveau neurologique lésionnel)
OCA	Overall classification Accuracy (capacité de classification globale)
ROC	Receiver Operating Characteristic
SCI-FAI	Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory
SCI-FI	Spinal Cord Injury Functional Index
SCIM	Spinal Cord Independence Measure
SD	Standard deviation; écart-type
SF-36	Short Form 36
SWAT	Standing and Walking Assessment Tool
TCC	Traumatisme cranio-cérébral
TRIPOD	Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis
TSCI	Traumatic spinal cord injury
TUG	Timed Up and Go Test
WISCI	Walking Index for Spinal Cord Injury

10MWT 10-meters Walking Test

6MWT 6-minutes Walking Test

Dédicace

À mes parents, Monique et Christian, pour leurs encouragements et soutien infinis.

À Marie-Christine, pour tout ce que je lui dois.

À Bona, pour son réconfort et sa compréhension.

Remerciements

Je tiens à remercier Dre Andréane Richard-Denis, directrice de cette maîtrise, sans qui ce projet n'aurait pas eu lieu. Merci de m'avoir guidée dans mon parcours académique et dans ce processus de recherche. Merci également pour votre temps, vos conseils et suggestions ainsi que de m'avoir fait confiance. Cela m'a permis de développer mon autonomie en recherche et de réaliser ce travail de maîtrise.

Merci également à Dr Jean-Marc Mac-Thiong, co-directeur de cette maîtrise, pour ses commentaires soulevant la réflexion et son expertise en recherche, ainsi que son temps dédié à m'apporter des conseils.

Je tiens également à remercier sincèrement les membres de l'équipe de recherche d'orthopédie colonne à l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal qui m'ont permis de faire avancer plus rapidement et aisément ce projet. Un merci tout particulier à Geneviève pour sa disponibilité, son écoute et son aide. Merci également à Jean qui m'a permis de cheminer dans l'univers des statistiques et de développer des habiletés qui seront transférables dans de futurs projets.

Je tiens également à souligner la contribution importante des auteurs du deuxième article présenté dans ce mémoire : Dr Rémi Pelletier-Roy, Dr Étienne Bourassa-Moreau, Dr Jean Fleury et Geneviève Beauchamp-Vien. Ils m'ont permis de bonifier ce travail et de pousser plus loin ma réflexion avec la leur.

Merci également à Marie-Christine Jean et à Stéphanie Lalande qui ont révisé la linguistique de ce mémoire en plus de m'apporter leurs encouragements et appui pendant ce travail.

Finalement, merci à ma famille, mon amoureux, mes amis et mes collègues qui ont su m'écouter, me soutenir et me comprendre tout au long de ces études et de ce projet. Votre présence à mes côtés a eu un réel impact.

CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE

1.1 Introduction

Une lésion médullaire traumatique (LMT) entraîne une altération de la transmission des influx nerveux par la moelle.^{1,2} Cette altération de fonction entraîne de multiples déficits neurologiques et fonctionnels majeurs qui auront un impact sur le fonctionnement quotidien, l'autonomie, la participation à la vie communautaire et la qualité de vie des patients. À chaque année, 1389 Canadiens subissent une LMT et au total, plus de 86 000 Canadiens vivront avec ces conséquences de manière permanente.³ Les conséquences dévastatrices des LMT ont un impact sur de multiples aspects fonctionnels et sociaux, autant dans les phases aiguë que chronique du traumatisme.⁴ Une de ces conséquences est l'altération de la capacité de marcher, partielle ou complète, qui entraîne des changements majeurs dans le mode de fonctionnement quotidien et l'autonomie des patients atteints.^{5,6}

La marche est d'une importance capitale pour tous les patients ayant subi une LMT alors qu'ils sont encore dans la phase aiguë de leur traumatisme, étant donné son rôle comme déterminant de la santé et son influence sur les activités quotidiennes et la qualité de vie des patients.⁵⁻¹⁰ Dès lors, il est nécessaire de répondre le plus tôt possible à une question fondamentale des patients : « Vais-je pouvoir marcher à nouveau ? ». ^{5,8,11} Prédire la capacité de marche des patients est essentielle puisque cela permettra au patient d'ajuster ses attentes, de cibler des objectifs réalistes et permettra aux professionnels de la santé de mieux orienter le patient lors de sa réadaptation (accessibilité du domicile, retour au travail, participation communautaire).^{11,12} De nombreuses études ont tenté d'identifier des facteurs qui influenceraient positivement ou négativement la capacité de marcher des patients ayant subi une LMT en lien avec la récupération neurologique et fonctionnelle.^{11,13} Quelques règles de prédiction de la capacité de marche sur une courte distance intérieure sont également déjà disponibles dans la littérature pour tenter de combler ce besoin.¹⁴⁻¹⁶

1.2 Discussion de la problématique

Marcher est une fonction qui semble simple puisqu'elle est utilisée quotidiennement, mais elle est en réalité complexe.¹ La force de nombreux muscles, tout comme plusieurs autres facteurs seront déterminants dans la capacité de marcher et la capacité de parcourir de longues distances. Parmi ceux-ci, on retrouve entre autres le type de patron de marche utilisé et le type d'aide technique à la marche nécessaire. Pour le sujet qui nous intéresse, on retrouve également des facteurs qui ne sont pas intrinsèques à la marche, mais propres aux patients et au traumatisme, dont la LMT en tant que tel.^{11,13} Parmi les facteurs en lien avec la LMT, sa sévérité a longtemps été utilisée pour prédire la capacité de marcher, bien que cette méthode soit imparfaite. En effet, utiliser la sévérité de la LMT pour prédire le potentiel de marche peut s'avérer plus facile chez certains sous-groupes de patients, tels que ceux avec une lésion médullaire complète ou partielle avec une préservation de la majorité des forces musculaires antigravitaires.¹⁷ Identifier ces facteurs favorables et défavorables à la capacité de marcher a fait l'objet de nombreuses études avec les années. Cependant, toutes ces études ne font pas la distinction entre marcher quelques pas et marcher pour accomplir une activité dans la communauté et s'en servir pour avoir une vie sociale. À partir de ces études, des règles de prédiction clinique de la marche à un an ont été développées¹⁴⁻¹⁶: elles sont simples et précises, mais ont toutefois quelques défauts. Entre autres, elles prédisent la capacité de marcher à un an sur des surfaces intérieures, de même hauteur/niveau, en utilisant des aides techniques importantes et des patrons de marche qui impliquent une dépense énergétique extrêmement élevée.

Il est étonnant de constater que malgré ce besoin de prédiction important, aucune des règles de prédiction existantes ne soit réellement utilisée de manière routinière lorsque le pronostic de marche des patients avec LMT est discuté. Évidemment, cela peut être expliqué par le fait que les patients ne veulent pas seulement savoir s'ils pourront faire quelques pas à l'intérieur du domicile.¹⁸ Ils veulent savoir s'ils pourront atteindre un niveau de marche suffisant pour pouvoir s'en servir fonctionnellement à l'extérieur de leur domicile.¹⁹ Un autre obstacle à l'utilisation de ces règles de prédiction clinique réside dans le fait qu'elles n'ont jamais été validées à savoir si elles apporteraient une prédiction plus précise que le jugement des cliniciens spécialisés dans le domaine.²⁰

1.3 Objectifs généraux

Le premier objectif de ce mémoire a donc été de construire une règle de prédiction clinique facile à utiliser couramment et qui permet de prédire correctement la capacité de marche fonctionnelle communautaire à un an de tous les patients ayant eu une LMT alors qu'ils sont encore dans la phase aiguë de leur traumatisme avec des éléments évalués lors de l'évaluation *International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury* (ISNCSCI) initiale. Puis, afin de valider l'utilisation d'une telle règle de prédiction dans la pratique courante en LMT, le deuxième objectif de ce mémoire était plutôt de vérifier si les règles de prédictions cliniques de marche à un an dans la population des LMT avaient une capacité de prédiction supérieure au jugement des cliniciens spécialisés dans ce domaine lorsque le patient se trouve dans la phase aiguë du traumatisme.

Pour le premier article, la candidate de ce mémoire est l'auteure principale et a contribué à l'élaboration de la structure de la recherche, la collecte de données, l'analyse des données, leur interprétation et à la rédaction de l'article. Dre Andréane Richard-Denis et Dr Jean-Marc Mac-Thiong, directeur et co-directeur, ont participé et supervisé l'élaboration de la structure de l'étude, la collecte de données, leur analyse, la rédaction et la révision de l'article. Jean Bégin a été un mentor et a supervisé le travail statistique. Marie-Christine Jean a participé à l'élaboration de l'article et sa révision.

Pour le deuxième article, la candidate de ce mémoire est co-auteure. Elle a participé à la collecte des mesures, l'analyse des données, la révision de l'article et l'acceptation de l'article final. Dr Jean-Marc Mac-Thiong, Dr Rémi Pelletier-Roy et Dre Andréane Richard-Denis ont participé à l'élaboration de la structure de l'étude, la collecte et l'analyse des données, ainsi que l'élaboration et la révision de l'article. Jean Bégin a participé à l'élaboration de la structure de l'étude, la collecte de données, l'analyse des données et la révision de l'article. Dr Étienne Bourassa-Moreau et Dr Jean Fleury ont participé à la collecte de données, leur analyse et la révision de l'article final. Geneviève Beauchamp-Vien a participé à l'analyse des données et la révision de l'article.

Le chapitre suivant fait une revue de la littérature pertinente au sujet de recherche, notamment, la lésion médullaire, la marche, le processus de récupération neurologique et fonctionnelle et présente aussi les règles de prédiction existantes et pertinentes pour la marche à un an chez les patients ayant subi une LMT. Le chapitre 3 détaille les hypothèses et objectifs spécifiques au sujet de recherche.

Le chapitre 4 présente la méthodologie et les résultats sous forme de deux articles scientifiques. Une section supplémentaire suit le chapitre 4 et présente la méthodologie et les résultats d'analyses supplémentaires. Le chapitre 5 discute des résultats obtenus, alors que le chapitre 6 conclut le présent travail.

Il est à noter qu'au moment de soumettre les corrections mineures demandées par le jury afin de procéder au dépôt final de ce mémoire, les deux articles scientifiques qui y sont présentés sont en cours de révision dans le cadre du processus de soumission d'article scientifique : le premier au *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, et le deuxième au *Spinal Cord Journal*. La version finale publiée de ces deux articles pourrait donc différer par rapport aux versions présentées dans ce mémoire.

CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE ET LACUNES

2.1 La lésion médullaire

2.1.1 La moelle épinière

La moelle épinière fait partie du système nerveux central et a comme rôle la transmission de messages nerveux entre l'encéphale et les nerfs, en plus d'être responsable de certains réflexes.²¹ Elle se trouve à l'intérieur du canal spinal, qui s'étend du foramen magnum au coccyx et qui est formé de 33 vertèbres : 7 cervicales, 12 thoraciques, 5 lombaires, 5 sacrées fusionnées et de 3 à 5 coccygiennes (fusionnées ou non).² Le canal spinal, avec son liquide céphalo-rachidien (LCR), se termine habituellement à la deuxième vertèbre sacrée, mais il existe une dissociation anatomique vertébro-médullaire. En effet, la relation anatomique, en termes de hauteur, des vertèbres avec la moelle est inégale, puisque la moelle occupe seulement deux tiers du canal spinal, se terminant généralement au niveau du disque intervertébral de L1-L2 (Figure 1, page 20).²² La moelle épinière donne naissance à 31 nerfs spinaux (8 cervicaux, 12 thoraciques, 5 lombaires, 5 sacrés et 1 coccygien) qui innervent les différents myotomes (Tableau 1, page 21) et dermatomes (Figure 2, page 21) du corps.² Un dermatome est une zone cutanée innervée par des axones sensitifs provenant d'une racine spinale correspondante, alors qu'un myotome est une collection de fibres musculaires innervée par des axones moteurs provenant de la racine spinale correspondante.^{2,23} Ce myotome peut donc aller innerver plus d'un muscle à la fois et un muscle est innervé plus fréquemment par deux myotomes différents. La moelle se termine par l'épiconus, le conus et la queue de cheval.² L'épiconus contient les segments médullaires de L1 à L5. Le conus contient les segments médullaires sacrés et se situe anatomiquement à la hauteur de la vertèbre L1. La queue de cheval est une collection des longues racines nerveuses lombaires et sacrées dans le canal médullaire.²

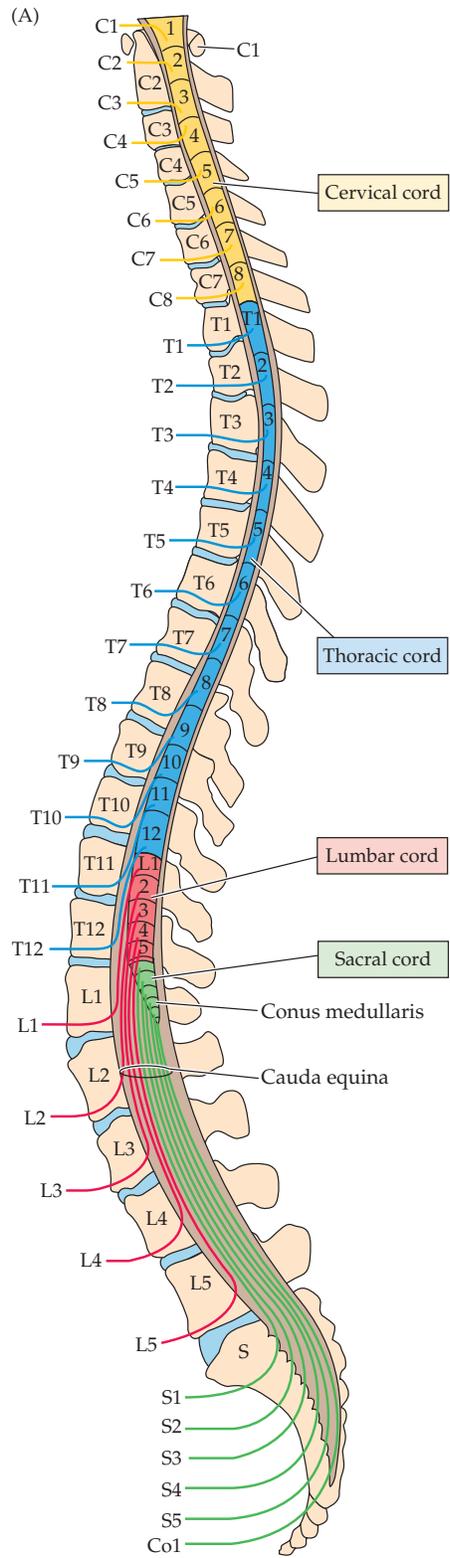


Figure 1. Moelle épinière représentée dans le canal spinal (Tiré de Blumenfeld, Neuroanatomy through Clinical Cases, page 320)²⁴

TABLEAU 1. MYOTOMES CLÉS UTILISÉS DANS L'ÉVALUATION DE LÉSIONS À LA MOELLE ÉPINIÈRE (TIRÉ DE CUCCURULLO, PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION BOARD REVIEW, PAGE 552)²³

Myotome	Index Muscle	Action
C5	Biceps brachialis	Elbow flexors
C6	Extensor carpi radialis	Wrist extensors
C7	Triceps	Elbow extensors
C8	Flexor digitorum profundus	Finger flexors (FDP of middle finger)
T1	Abductor digiti minimi	Small finger abductor
L2	Iliopsoas	Hip flexors
L3	Quadriceps	Knee extensors
L4	Tibialis anterior	Ankle dorsiflexors
L5	Extensor hallucis longus	Long toe extensors
S1	Gastrocnemius	Ankle plantarflexors

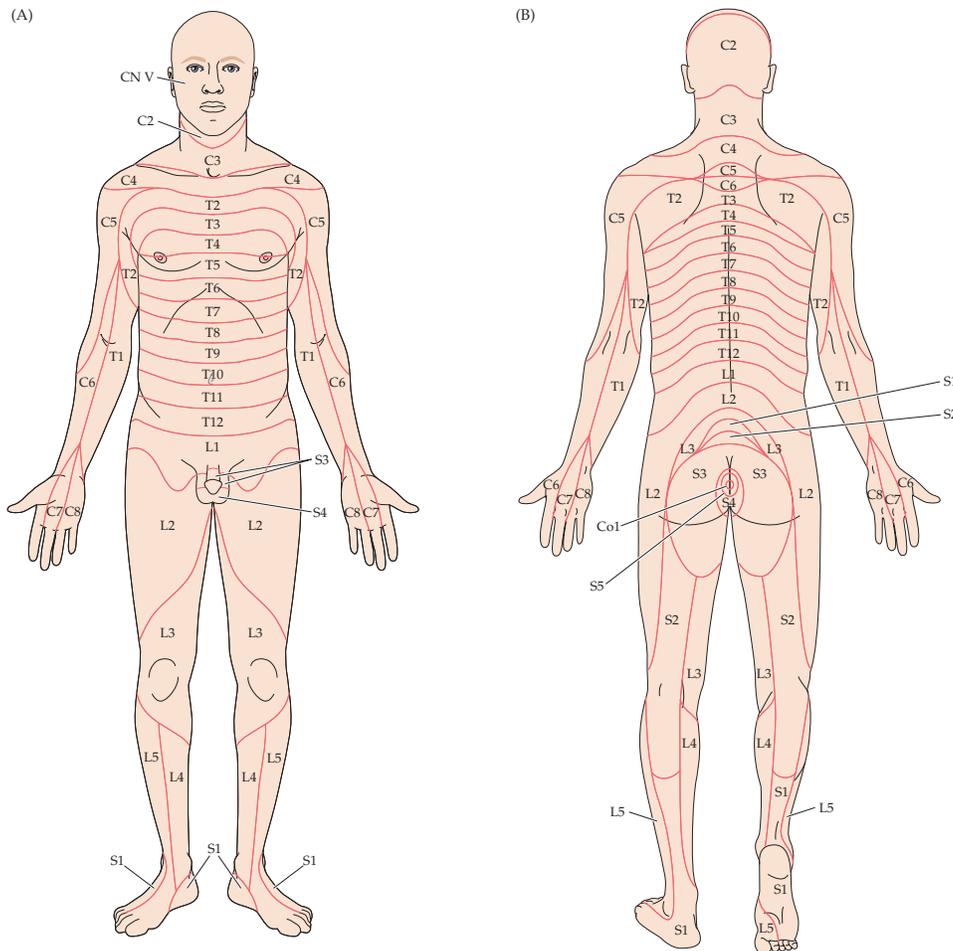


Figure 2 : Dermatomes (Tiré de Blumenfeld, Neuroanatomy through Clinical Cases, page 324)²⁴

La moelle épinière peut aussi être décrite anatomiquement en coupe transversale (Figure 3, page 23). Au centre, on retrouvera le canal épendymaire.² À tous les niveaux, la moelle épinière sera

composée de matière grise et de matière blanche. La matière grise, centrale et en forme de papillon, contient principalement les corps cellulaires des neurones et des interneurones ainsi que des cellules gliales de support et des petits vaisseaux sanguins.² La matière blanche, en périphérie, contient pour sa part les faisceaux d'axones myélinisés et non myélinisés ainsi que des cellules gliales de support.² Dans la matière blanche, on retrouve de nombreuses voies ascendantes (dont les neurones relient l'information de la périphérie vers le centre, afférentes) et descendantes (dont les neurones relient l'information du centre vers la périphérie, efférentes).²⁴ Trois retiendront particulièrement notre attention (Figure 3, page 23).² La première, ascendante, se nomme la voie spinothalamique. Celle-ci se trouve dans la colonne latérale de matière blanche et ses fibres relaient les informations douloureuses et en lien avec la température.² La deuxième, descendante, se nomme la voie corticospinale. Celle-ci se trouve également dans la colonne latérale de la matière blanche, mais plus centrale et postérieure à la voie spinothalamique. Ses fibres relaient l'information qui provient du cortex moteur et qui est responsable des mouvements volontaires et réflexes.² La troisième, ascendante, compose les cordons postérieurs et se divise en faisceaux gracile et cunéiforme. Ces faisceaux relaient l'information pour le toucher profond, la vibration, la discrimination de deux points et le sens de position. Le faisceau cunéiforme, situé latéralement, relaie principalement l'information pour les membres supérieurs alors que le faisceau gracile, situé en médial, relaie l'information pour les membres inférieurs.²

Les voies discutées sont donc essentielles à la fonction de la marche puisqu'elles permettent une motricité volontaire et la transmission d'informations sensibles des membres. Cependant, plusieurs autres voies sont importantes dans le processus de marche et ainsi à prendre en considération, bien qu'elles soient plus secondaires au sujet de ce mémoire.²² Il s'agit premièrement de voies descendantes qui se retrouvent dans la colonne antérieure: la voie vestibulospinale latérale, les voies réticulospinales ainsi que la voie rubrospinale. La fonction primaire de la voie vestibulospinale latérale est de faciliter le tonus musculaire en extension afin de maintenir une posture debout droite. Cette voie est également responsable des réflexes en extension des membres, autant par exemple lors de la marche que lors d'une chute. Comparativement, les neurones des voies réticulospinales permettent plutôt de faciliter ou d'inhiber les mouvements volontaires ainsi que d'influencer l'activité réflexe et le tonus musculaire. Finalement, les neurones de la voie rubrospinale facilitent l'activité en flexion des motoneurones. Ils seraient fonctionnellement reliés à la voie corticospinale latérale.

Deuxièmement, d'autres voies ascendantes situées au niveau de la corne antérieure et latérale permettent la transmission d'informations efférentes importantes pour la marche. La voie spinocérébelleuse postérieure permet la transmission de l'information proprioceptive des muscles, tendons et articulations; et la voie spinothalamique antérieure participe au toucher léger et permet de juger du caractère émotif de la sensation, par exemple agréable ou déplaisant.²²

Il est également important de mentionner la présence dans la littérature des *central pattern generators* qui pourraient potentiellement participer à la reprise de la marche à la suite d'une lésion médullaire sévère. Cette activité spontanée rythmique génère, via des circuits spinaux, une activité motrice rythmique involontaire où des patrons coordonnés involontaires permettent, par exemple, de reproduire la marche alors qu'il n'y a plus de contrôle supra-spinal.²⁵⁻²⁷ Leur action pourrait également avoir un impact sur d'autres fonctions motrices rythmiques telles que mâcher, respirer et digérer.²⁷ Ce phénomène a bien été décrit dans la littérature animale, mais plusieurs évidences se contredisent toujours dans la littérature actuelle afin de déterminer si ce phénomène est également présent chez les humains.²⁵

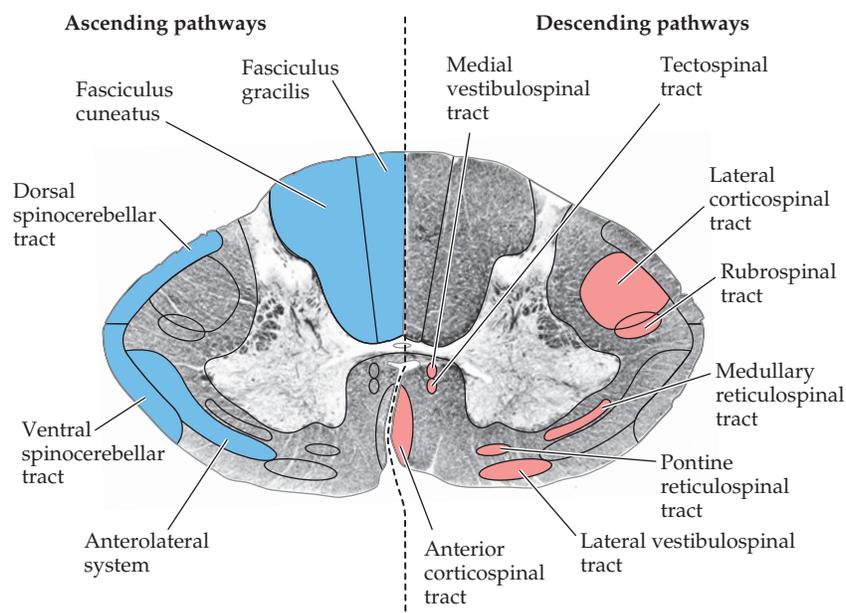


Figure 3. Coupe transversale de la moelle épinière avec voies ascendantes et descendantes de la matière blanche illustrées schématiquement (Tiré de Blumenfeld, Neuroanatomy through Clinical Cases, page 281)²⁴

Finalement, la moelle, lorsque regardée en coupe transversale, contiendra à certains niveaux une corne intermédiolatérale.² Dans cette corne se trouvent les neurones préganglionnaires sympathiques et parasympathiques qui ont une fonction sur le système nerveux autonome, innervant les muscles lisses et les glandes, afin de maintenir l'homéostasie non volontaire.² Cette corne intermédiolatérale est habituellement retrouvée de T1 à L2 pour le système nerveux sympathique alors qu'elle est retrouvée de S2 à S4 pour le système nerveux parasympathique, avec la contribution de neurones préganglionnaires localisés dans le tronc cérébral.²

2.1.2 Le traumatisme médullaire et ses étiologies

Une LMT consiste en une détérioration des fonctions neurologiques motrices, sensibles et/ou autonomes, qu'elle soit partielle ou complète. Elle survient à la suite de l'altération de la transmission des signaux nerveux dans la moelle entraînée par un traumatisme de la matière grise et blanche qui se fait en deux temps.^{24,28} Le traumatisme en tant que tel entraîne une première insulte à la moelle. Il cause de manière mécanique une interruption des axones et des longs faisceaux ascendants et descendants ainsi qu'un compromis vasculaire local.^{1,2} Cette première insulte déclenchera une cascade lésionnelle secondaire qui persistera pour plusieurs semaines. La lésion de petits vaisseaux sanguins entraîne des hémorragies dans la matière grise et blanche, un œdème médullaire et la relâche d'amines vasoactives et de facteurs de coagulation. La compression et l'ischémie secondaires entraînent le largage de neurotoxines chimiques et la migration de cellules inflammatoires.^{1,2} Ces processus mèneront à la démyélinisation des faisceaux de matière blanche, puis à l'apparition de dégénérescence wallérienne, c'est-à-dire une dégénérescence axonale induite par la lésion nerveuse, et donc à des dommages neurologiques chroniques.^{1,29,30}

Plusieurs étiologies peuvent être en cause lors d'une LMT. La plus fréquente est, peu importe le groupe d'âge, une LMT en lien avec une chute.³ Au Canada, cela représente 50% des LMT.³ La deuxième cause la plus fréquente concerne les accidents liés à l'utilisation de véhicules à moteur, totalisant 27% des LMT au Canada.³ Parmi les causes moins fréquentes, on retrouve les LMT reliées aux sports (13%), aux agressions (5%) et à d'autres causes diverses (5%).³

2.1.3 Incidence, prévalence et conséquences

Au Canada, plus de 86 000 personnes vivent avec une lésion médullaire, dont 43 974 sont d'origine traumatique.³ Chaque année, 1 389 personnes subissent une LMT.³ 77% de ces patients sont des hommes et l'âge moyen des patients est de 53,4 ans.³ La LMT sera sévère (complète) chez 29% des patients et le niveau neurologique touché sera dans la moelle cervicale dans 59% des cas.⁴ Le coût annuel associé aux LMT représente plus de 2,7 milliards de dollars canadiens.³ Pour chaque individu ayant subi une LMT, le coût estimé à vie est de 2 millions de dollars canadiens.⁴ Les principales conséquences qui en découlent sont des complications médicales dans la phase aiguë ou chronique, des changements dans la capacité physique et des changements dans l'autonomie et le fonctionnement de la vie de tous les jours.⁴

Un patient qui subit une LMT rencontrera des changements significatifs dans toutes les sphères de sa vie, et ce, tout au long de celle-ci. Ceux-ci auront un impact sur sa participation à ses activités de la vie quotidienne et domestique, sa participation à la vie communautaire, son statut de travailleur, ses revenus et ses relations personnelles.³ Une des atteintes secondaires à la LMT peut être la perte de la capacité de marcher à l'extérieur sur de longues distances. Afin de participer à la vie communautaire, il est primordial que les patients atteints de LMT puissent sortir de leur lieu de résidence de manière indépendante. En 2017, 43% des patients canadiens ayant subi une LMT rapportaient être capables de marcher à l'extérieur de leur domicile.⁴ Parmi le 57% des patients utilisant un fauteuil roulant à l'extérieur, 8% pouvaient marcher à l'intérieur de leur domicile.⁴ Conséquemment, leur participation communautaire ainsi que leur qualité de vie sont fortement touchées.⁷ En 2017, seulement 31% des patients canadiens ayant subi une LMT se disaient satisfaits ou très satisfaits de leur santé physique, 44% de leur santé psychologique, 28% de leur situation vocationnelle et 33% de leurs loisirs.⁴

2.1.4 Classification des lésions médullaires traumatiques

La description d'une lésion médullaire traumatique inclut deux entités importantes : le niveau lésionnel neurologique et la sévérité de la LMT.^{1,22} D'abord, le niveau lésionnel neurologique de l'atteinte médullaire correspond au niveau médullaire le plus distal ayant une sensibilité intacte et une fonction motrice préservée à au moins 3/5 bilatéralement, en tenant pour acquis que les niveaux plus proximaux ont une fonction normale.^{1,22} Ces niveaux peuvent être divisés en sous-catégories :

les patients atteints de tétraplégie et de paraplégie. Les patients atteints de tétraplégie auront une atteinte complète ou partielle des fonctions sensibles et/ou motrices dans leurs bras, leur tronc et leurs jambes.^{1,22} On retrouve les patients atteints de tétraplégie supérieure (atteinte entre C1 et C4) et les patients atteints de tétraplégie inférieure (atteinte entre C5 et T1).³¹ Les patients atteints de paraplégie auront une atteinte complète ou partielle des fonctions sensibles et/ou motrices dans leurs jambes et, fréquemment de leur tronc.²² On retrouve les patients atteints de paraplégie supérieure (atteinte entre T2 et T10) et les patients atteints de tétraplégie inférieure (atteinte entre T11 et L2).³¹ La deuxième entité correspond à la sévérité de la lésion médullaire : complète ou incomplète.^{1,22} Les patients avec une lésion médullaire complète ont une atteinte totale des fonctions sensibles et motrices sous le niveau de la lésion.²² Les patients avec une atteinte incomplète, ce qui est beaucoup plus fréquent, ont une certaine fonction sensitive ou motrice préservée sous le niveau lésionnel.^{1,22}

L'ISNCSCI est un outil d'évaluation et de classification standardisé afin de permettre aux cliniciens et chercheurs de caractériser les LMT internationalement (Annexe A, page 181).^{1,2,32} Cet outil, considéré comme l'étalon d'or dans le domaine, guide l'évaluateur par étapes afin de déterminer le niveau sensitif, le niveau moteur, le niveau lésionnel neurologique et la sévérité lésionnelle.^{1,2} Cette sévérité est classée selon cinq niveaux que l'on nomme grade AIS pour *ASIA (American Spinal Injury Association) Impairment Scale* (Tableau 2, page 27). Étant donné que chaque dermatome apporte une information sensitive distincte et que chaque muscle est innervé en général par deux myotomes adjacents, il est possible, à l'aide de ces informations cliniques, de procéder à cette évaluation et classification.^{1,2}

TABLEAU 2 : ÉCHELLE DE SÉVÉRITÉ DES LMT SELON LES GRADES AIS²

Grade AIS	Description
A	Lésion complète : déficit neurologique sensitif et moteur sans épargne sacrée
B	Lésion incomplète sensitive : épargne sensitive sacrée et possiblement sous-lésionnelle, sans contraction anale volontaire ni fonction motrice plus de trois niveaux sous le niveau moteur bilatéralement
C	Lésion incomplète motrice : épargne motrice sacrée ou épargne sensitive sacrée avec préservation d'une fonction motrice dans les myotomes plus de trois niveaux sous le niveau moteur d'au moins un côté
D	Lésion incomplète motrice : épargne sensitive sacrée avec une fonction motrice préservée dans 50% ou plus des myotomes sous le niveau lésionnel et où ceux-ci ont une force segmentaire selon le MRC de 3/5 ou plus
E	Récupération neurologique complète (grade pouvant seulement être atteint lors de la période de suivi) : normalisation des composantes sensitives et motrices de l'examen neurologique pour lesquels un déficit avait auparavant été identifié

LMT Lésion médullaire traumatique ; AIS ASIA (American Spinal Injury Association) Impairment Scale ; MRC Medical Research Council

Afin de déterminer le niveau neurologique lésionnel (NLI) ainsi que la sévérité lésionnelle, le niveau moteur et sensitif devront être déterminés.^{1,2}

Le niveau moteur est le segment le plus caudal de la moelle épinière qui a une fonction motrice normale bilatéralement.^{1,2} Afin de déterminer ce niveau moteur, dix muscles clés ont été choisis pour leur consistance à être innervé primairement par le myotome indiqué.² On utilise l'échelle MRC (*Medical Research Council*) afin de coter la force de chacun de ces 10 myotomes : cette échelle ordinale va de 0 à 5. Une force à 0/5 signifie qu'il n'y a pas de contraction musculaire ou mouvement visualisé. Une force à 3/5 permettra un mouvement anti-gravitaire complet et permet de déduire que la racine la plus rostrale qui innerve ce muscle est intacte.² Une force à 5/5 permet un mouvement complet contre résistance normale et permet de déduire que les deux racines qui innervent ce muscle sont intactes.²

Le niveau sensitif pour sa part est le segment le plus caudal de la moelle épinière qui a une fonction sensitive normale des deux côtés.^{1,2} Afin de déterminer ce niveau sensitif, 28 dermatomes doivent être testés avec deux modalités sensitives différentes : le toucher léger et la piqûre.² Le toucher léger est évalué à l'aide d'un coton-tige effiloché, alors que l'évaluation de la piqûre nécessite de faire la distinction entre le bout pointu et le bout arrondi d'une épingle de sûreté.² On utilise une échelle à trois niveaux afin d'évaluer la fonction sensitive : cette échelle ordinale va de 0 à 2.² Une sensation évaluée à 0/2 signifie une absence de sensation ou que le patient est incapable de différencier le bout pointu du bout arrondi de l'épingle.² Une sensation à 1/2 signifie que la sensation est altérée : l'intensité du toucher léger ou de la piqûre est différente (hyper- ou hypo-sensible), mais le patient peut différencier au moins huit fois sur dix le bout pointu du bout arrondi pour la piqûre.²

2.1.5 Phases du traumatisme à la moelle épinière

Trois phases du traumatisme à la moelle épinière ont été décrites^{2,33} : les phases aiguë, subaiguë et chronique. Ces phases du traumatisme sont à différencier des phases de réadaptation (hospitalisation/réadaptation aiguë, réadaptation fonctionnelle intensive, réintégration communautaire et maintien des acquis) qui n'ont pas d'association avec le sujet de recherche actuel.³⁴

La phase aiguë suivant une lésion médullaire réfère à la période immédiate suivant le traumatisme, alors que le dommage à la moelle se produit et se poursuit.^{33,35,36} Elle est caractérisée par des changements dans la matière grise centrale au site de la lésion dans les minutes à heures qui suivent le traumatisme suivi par des changements dans la matière blanche. Dans la phase aiguë du traumatisme, on retrouve principalement la première insulte et la cascade lésionnelle secondaire décrite plus tôt.^{33,35,36} Ces mécanismes lésionnels entraînent des insultes pour typiquement 24 à 48 heures, période qui définit classiquement la phase aiguë.³³ Cependant, les dommages peuvent se poursuivre pendant plusieurs semaines, voire mois après le traumatisme.^{35,36}

La phase subaiguë d'une LMT est plus variable en termes de temps et ambiguë en termes de définition. Elle peut parfois être sous-divisée en phases subaiguë et intermédiaire, caractéristiquement moins de deux semaines et moins de six mois respectivement après le traumatisme.³³ Classiquement, elle débute lorsqu'il n'y a plus de dommage actif à la moelle, mais

est souvent aussi décrite à partir du moment où la moelle commence son processus de réparation.^{33,35,36} Ce dernier processus débiterait moins de 24 heures après le traumatisme, bien que des dommages soient toujours en cours à ce moment.³³ Il s'agit d'une phase caractérisée par la formation d'une cavité, une infiltration cellulaire massive, une démyélinisation, une dégénération puis remyélinisation axonale continue et un remodelage de la matrice extracellulaire. Il s'agit de la phase pendant laquelle il y a aussi une prolifération cellulaire marquée, du *sprouting axonal*, le développement d'une cicatrice fibreuse et une importante angiogénèse.³³ Résumé plus globalement, il s'agirait de toute la durée entre les phases aiguë et chronique qui elles, sont mieux définies.³⁷

La phase chronique suivant une LMT est caractérisée par l'arrêt du processus de réparation et de récupération ainsi que par la stabilisation des déficits.^{33,36} Elle est caractérisée par une absence de changements vasculaire, inflammatoire, biochimique, axonale et périlésionnel, à l'exception de la poursuite de la dégénérescence walérienne.^{33,36} Elle pourrait commencer dès 6 mois après le traumatisme³³ bien que la tendance littéraire laisse croire qu'elle serait plutôt atteinte plus tardivement, soit à 12 mois après le traumatisme ou plus tard.³⁷

2.2 La marche

2.2.1 Le cycle de marche

La définition de la marche normale est une série de mouvements rythmiques alternés du tronc et des membres, qui résulte en une progression vers l'avant du centre de masse.¹

Le cycle de marche peut être divisé en deux grandes phases : la phase d'appui et la phase d'oscillation (Figure 4, page 31).^{1,23,38} Chaque jambe possède son propre cycle de marche. La phase d'appui correspond à la portion du cycle de marche pendant laquelle le membre de référence est en contact avec le sol, seul (appui unipodal) ou avec le membre controlatéral (appui bipodal). La phase d'oscillation correspond à la portion du cycle de marche pendant laquelle le membre de référence n'est plus en contact avec le sol. Pendant un cycle de marche normal, chacune de ces phases représente 60% et 40% du cycle de marche respectivement.

La terminologie *Rancho Los Amigos* est la référence pour décrire les phases du cycle de marche. La phase d'appui comprend la phase de contact initial, l'acceptation du poids (*loading response*), la phase d'appui moyenne (*midstance*), la phase d'appui terminale (*terminal stance*) et la phase préoscillatoire (*preswing*). La phase d'oscillation, pour sa part, comprend l'oscillation initiale (*initial swing*), l'oscillation moyenne (*midswing*) et l'oscillation terminale (*terminal swing*). Lors d'un cycle de marche normal, les deux membres seront en appui au sol au même moment (appui bipodal) 20% du temps, soit pendant les phases de contact initial, d'acceptation du poids et préoscillatoire.^{1,23,38}

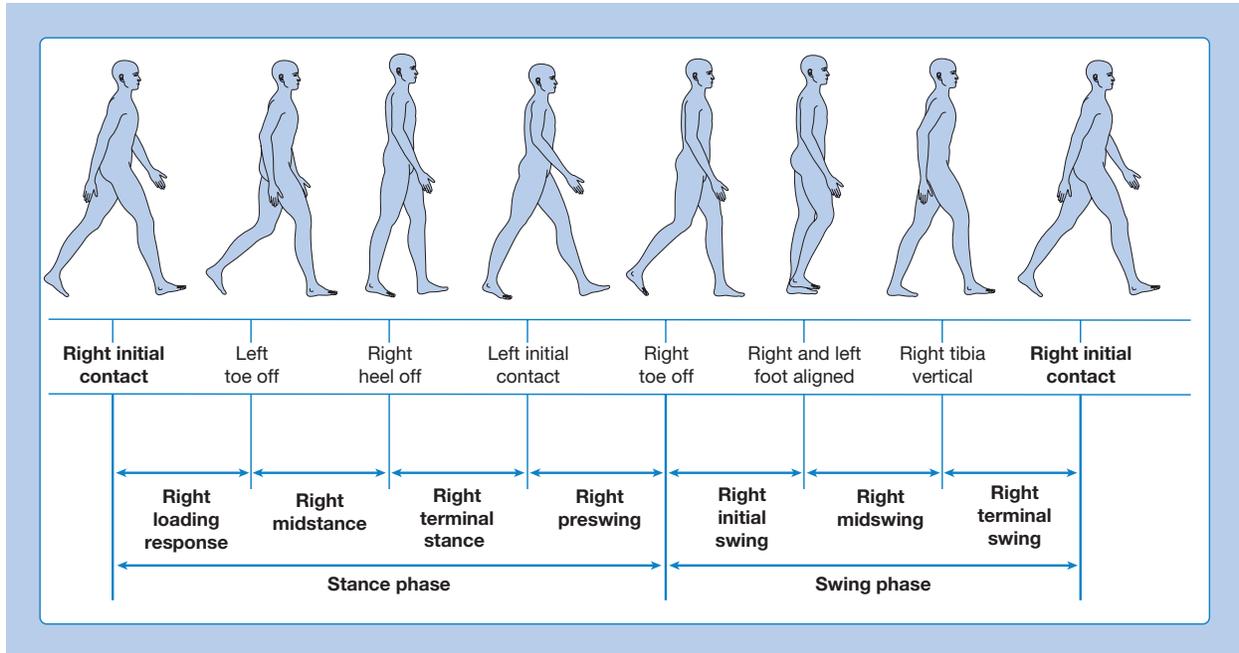


Figure 4. Cycle de marche et phases de la marche (Tiré de Cifu, Braddom's Physical Medicine and Rehabilitation, page 217)¹

L'efficacité de la marche dépend du travail accompli et de l'énergie dépensée.³⁸ Le travail lors de la marche consiste à conserver la stabilité lors de l'appui et à faciliter la progression vers l'avant.³⁸ Lorsque l'on sort d'un patron de marche normal, la dépense énergétique augmente afin de pouvoir réussir à se déplacer.²³ Les déterminants de la marche sont des stratégies physiologiques utilisées pour optimiser l'efficacité de la marche, tout en minimisant les mouvements du centre de gravité (en hauteur et latéralement) et la dépense énergétique qui y est liée.^{1,23,38,39} En effet, plus le centre de gravité bouge uniquement linéairement vers l'avant, moins il y a de dépense énergétique associée.^{1,23,38} Trois des déterminants de la marche se produisent au bassin, c'est-à-dire la rotation pelvienne dans le plan horizontal, la bascule du bassin dans le plan frontal et le déplacement latéral du bassin. Trois autres déterminants de la marche se produisent plus distalement dans les membres inférieurs, soit la flexion précoce du genou, la biomécanique de la relation du pied et de la cheville ainsi que la flexion tardive du genou.^{1,23,38} La plupart des déterminants de la marche visent à réduire les déplacements du centre de gravité dans le plan vertical, alors que le déplacement latéral du bassin est le seul déterminant qui vise à réduire les déplacements dans le plan horizontal.²³ Ces déterminants diminuent l'excursion du centre de gravité dans différents plans, ce qui permet de garder une faible dépense énergétique et une marche efficace.^{1,23,38}

Le contrôle de la vitesse de marche est une autre stratégie pour diminuer la dépense énergétique reliée à la marche.³⁸ La cadence correspond au nombre de pas faits dans une période de temps donnée. Une cadence moyenne normale correspond à 80 à 110 pas par minute, ce qui représente une vitesse de marche moyenne de 60 à 80 mètres par minute.¹ Il s'agit de la vitesse de marche confortable pour une personne « normale » ou sans pathologie ayant un impact sur la marche et correspond à une vitesse de 1.54 mètre par seconde ou 5 kilomètres par heure.^{1,40} Cette vitesse de marche confortable est choisie inconsciemment par une personne normale puisqu'elle correspond à la vélocité de marche à laquelle il y a le moins d'énergie dépensée par unité de distance parcourue.³⁸ Une variation de cette vitesse de marche confortable, soit plus rapide ou plus lente, augmentera la dépense énergétique.³⁸ Marcher à une vitesse plus rapide diminue le temps passé en phase d'appui et augmente le temps passé en phase d'oscillation.²³ La vitesse de marche peut être ralentie par une diminution de la cadence ou de la longueur d'un pas.³⁸ Ces multiples facteurs sont à prendre en considération lorsque l'on dévie d'un patron de marche normal, considérant qu'ils augmentent significativement le travail et la dépense énergétique.

2.2.2 Muscles déterminants de la marche

Un contrôle musculaire sélectif permet également de diminuer le travail et la dépense énergétique reliés à la marche.³⁸ Il est important de connaître les phases qui composent le cycle de la marche normale puisque des muscles différents seront activés selon la phase dans laquelle le membre inférieur de référence se situe (Figure 5, page 33).¹

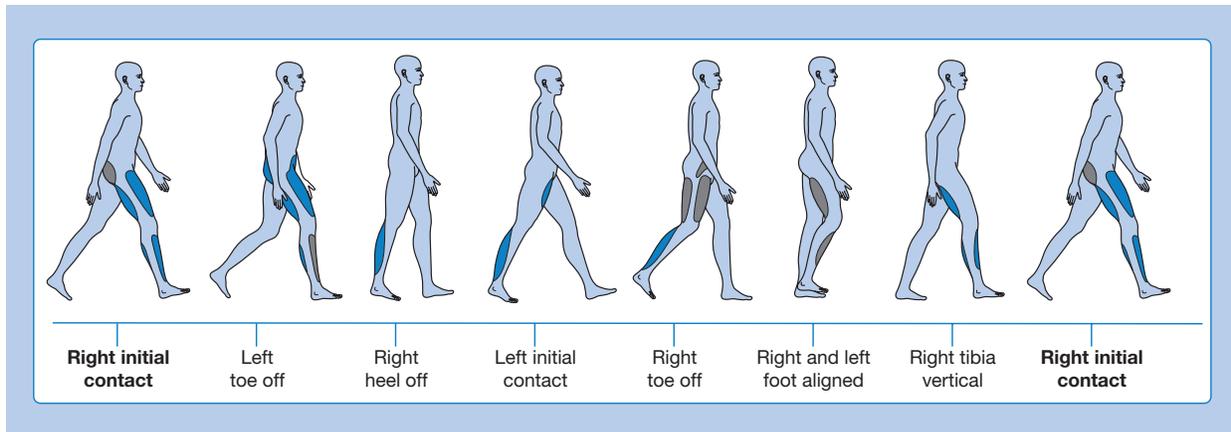


Figure 5. Cycle de marche normal avec muscles principaux activés pendant chaque phase (Tiré de Cifu, Braddom's Physical Medicine and Rehabilitation, page 219)¹

L'analyse cinétique du cycle de la marche peut se faire selon ses différentes phases d'appui et d'oscillation.^{23,38} Pendant la phase d'appui, les muscles se contractent principalement de manière excentrique, soit par un allongement du muscle, mais aussi de manière concentrique, soit par un raccourcissement du muscle. Lors du contact initial, il y a une contraction excentrique des *gluteus maximus* et *medius*, des *ischiojambiers*, du *quadriceps* et des muscles dorsifléchisseurs de la cheville afin de bien positionner le membre inférieur en début de cycle. Lors de la phase d'acceptation du poids, cette contraction excentrique est plus isolée au *gluteus medius*, aux *ischiojambiers*, au *quadriceps* et aux muscles dorsifléchisseurs de la cheville afin d'absorber le transfert de poids, stabiliser le membre qui porte le poids et préserver la progression linéaire vers l'avant. Lors de la phase d'appui moyenne, il y a seulement une contraction excentrique des *gluteus medius* et des muscles plantifléchisseurs du mollet afin de stabiliser le tronc et le membre porteur et permettre la progression vers l'avant du corps. Lors de la phase d'appui terminale, il y a une contraction concentrique de l'*iliopsoas* et des muscles plantifléchisseurs du mollet et une contraction excentrique du *gluteus medius* afin de permettre la progression du corps au-delà du pied porteur et permettre la propulsion. Lors de la phase préoscillatoire, la contraction concentrique à l'*iliopsoas* demeure avec celle des muscles plantifléchisseurs du mollet et il y a en plus une contraction excentrique du *quadriceps* afin de positionner le membre inférieur pour l'oscillation et permettre un transfert de poids rapide au membre controlatéral.^{23,38}

Pendant la phase d'oscillation, les muscles se contractent également de manière excentrique et concentrique.^{23,38} La contraction excentrique sert principalement à la décélération du membre en

mouvement afin de permettre son bon positionnement dans l'espace. Lors de la phase d'oscillation initiale, il y a une contraction concentrique de l'iliopsoas, des muscles dorsifléchisseurs de la cheville ainsi que du chef court du biceps femoris et une contraction excentrique légère du quadriceps afin de dégager le pied du sol et avancer le membre en oscillation, tout en évitant la chute de la jambe. Lors de la phase d'oscillation moyenne, la même contraction concentrique se poursuit à l'iliopsoas et aux muscles dorsifléchisseurs de la cheville et une contraction excentrique plus franche des ischiojambiers s'ajoute afin d'avancer le membre en oscillation et dégager la pointe des orteils du sol, tout en ralentissant le fouet en extension au genou induit par la flexion de la hanche. Lors de la phase d'oscillation terminale, il y a une contraction concentrique des muscles dorsifléchisseurs de la cheville et une activation du quadriceps pour assurer une extension complète du genou ainsi qu'une contraction excentrique maximale des ischiojambiers afin de compléter l'oscillation tout en ralentissant le *momentum* pour éviter l'hyperextension au genou, dans le but de bien positionner le membre inférieur pour la réception du poids.^{23,38}

Malgré qu'un cycle de marche normal nécessite une interrelation complexe de multiples muscles qui s'activent soit au même moment ou dans une suite logique, il est tout de même possible de marcher pour les patients atteints de lésion médullaire. Par contre, la perte du cycle de marche normal entrainera des changements dans la qualité de la marche qui inclut, sans s'y limiter, le patron de marche utilisé, l'utilisation d'aide technique, la vitesse de marche et la dépense énergétique qui y est associée. Particulièrement, le travail et la dépense énergétique en lien avec cette marche seront augmentés puisque le contrôle musculaire sélectif est altéré.³⁹ Afin de marcher, il serait minimalement nécessaire d'avoir une force de 3/5 ou plus à un fléchisseur de hanche (L2, iliopsoas) et une force de 3/5 ou plus à l'extenseur du genou controlatéral (L3, quadriceps) en plus d'avoir une sensation proprioceptive intacte.⁴¹ Cette force permettrait de marcher avec une orthèse long jambier d'un côté et une orthèse tibiale courte du côté controlatéral.⁴¹ Cependant, la dépense énergétique engendrée par ce type de marche serait extrêmement importante et la vitesse de marche grandement diminuée. Il serait difficile d'utiliser cette marche pour parcourir une distance suffisante et remplir une fonction quelconque. Pour avoir une marche fonctionnelle, il serait plutôt minimalement nécessaire d'avoir une force de 3/5 ou plus aux deux fléchisseurs de hanche (L2, iliopsoas) et une force de 3/5 ou plus dans un extenseur du genou (L3, quadriceps).^{2,42} Chez les patients avec lésion médullaire incomplète, une force minimale de plus de 3/5 dans un extenseur du genou (L3, quadriceps) moins de 2 mois après leur traumatisme serait ainsi garant d'une marche

à 6 mois après le traumatisme.⁴³⁻⁴⁵ Cependant, une fois cette force anti-gravitaire (3/5) atteinte, une force plus grande (>3/5) ne serait pas nécessairement garante d'une meilleure fonctionnalité de la marche.⁴⁶ Certaines études ont également constaté que la force dans les plantifléchisseurs de la cheville (S1, triceps sural), en plus des muscles précédemment mentionnées, pouvait prédire une marche indépendante un an après une LMT.^{18,47} Ainsi, afin de pouvoir marcher sur une plus longue distance et à l'extérieur, un patient avec une lésion médullaire nécessite un bon contrôle de son bassin, un bon contrôle des fléchisseurs de hanche actifs (L2, iliopsoas), une fonction acceptable ou bonne d'au moins un extenseur du genou (L3, quadriceps) et, de préférence, n'a pas besoin d'orthèse et n'a pas de déformation articulaire ou de spasticité importante.⁴² *Hussey et al.*⁴² ne précisent pas directement ce qu'ils entendent par une fonction acceptable ou bonne d'un extenseur du genou, mais étant donné qu'ils mentionnent utiliser l'échelle MRC, il est possible de déduire grâce à d'autres ressources qu'ils font référence à une force de 3 à 4 sur 5.⁴⁸⁻⁵⁰ Quant aux muscles du bassin et aux fléchisseurs de hanche actifs, les auteurs ne précisent malheureusement pas davantage ce qu'ils veulent dire par «bon contrôle». Également, le port d'une orthèse, une certaine déformation articulaire et un certain niveau de spasticité ne devraient pas en principe empêcher les patients de marcher, mais cela augmentera leur dépense énergétique.

En général, la force au membre inférieur le plus fort sera 50% plus déterminante pour la fonction de la marche que celle du membre inférieur le plus faible.⁴⁶ La force du membre inférieur le plus fort pourrait donc probablement compenser pour le membre inférieur plus faible. La force du fléchisseur de hanche (L2, iliopsoas) le plus fort fait varier de plus de 54 et 57% respectivement la vitesse de marche et la distance parcourue à une vitesse donnée.⁴⁶ La force des abducteurs de la hanche du côté le plus fort a également une influence significative sur ces deux paramètres. La force des abducteurs de la hanche du côté le plus fort a donc également un impact significatif sur la capacité de marche ambulatoire indépendante.⁴⁶ La force de l'extenseur de la hanche le plus fort fait pour sa part varier de 64% la capacité de marcher dans la communauté.⁴⁶

2.2.3 Types d'aide technique plus fréquemment utilisés par les patients avec lésion médullaire traumatique

En général, les patients avec lésion médullaire marchent plus lentement, de manière moins efficace et dépensent quatre à six fois plus d'énergie pour accomplir la même distance qu'un patient sans

lésion médullaire.^{2,5,6,9,39,46,51-53} Ceci est d'autant plus vrai pour les patients atteints de tétraplégie comparativement aux patients atteints de paraplégie : ils auront besoin d'encore plus de force aux membres supérieurs et inférieurs pour marcher et manipuler diverses aides techniques.^{10,39} Comparativement, la propulsion d'un fauteuil roulant manuel par un patient atteint de paraplégie représente une dépense énergétique légèrement plus élevée (9%) qu'une marche normale.^{9,23,39} Bien que les déplacements en fauteuil roulant puissent être adaptés pour tous les patients ayant subi une LMT, les obstacles environnementaux à son utilisation et les bénéfices de la marche sont nombreux et considérables.⁹ Une aide technique qui permettra de compenser les désavantages mentionnés, qui diminuera la dépense énergétique à la marche et qui la rendra plus efficace est donc non négligeable.^{13,39} Différents types d'aide technique sont disponibles pour les patients avec LMT afin de maximiser les patrons de marche. Ces aides techniques peuvent exercer de multiples fonctions spécifiques et elles auront également une dépense énergétique propre à leur utilisation. Globalement, leur fonction est d'augmenter la base de support des patients pour améliorer leur équilibre et leur stabilité, redistribuer la zone de support du poids corporel, assister la propulsion et offrir un rappel sensitif via les membres supérieurs.^{1,54}

Une marchette permettra d'augmenter l'équilibre d'un patient en augmentant sa base de support, qui sera plus large et plus stable, en supportant son poids corporel et en augmentant sa stabilité latérale à différents niveaux selon le type de marchette utilisée.^{6,23,54} Elle est indiquée en présence d'une faiblesse bilatérale aux membres inférieurs; lorsque la mise en charge doit être diminuée complètement ou partiellement aux membres inférieurs; et lorsqu'une aide générale à la mobilité est nécessaire.²³ La vitesse de marche reliée à son utilisation est en général diminuée en raison du temps plus long passé en phase d'appui.^{1,6} Son aspect est cependant plus volumineux et apparent et elle est plus encombrante, notamment dans les zones de mobilité restreinte et dans les escaliers.^{23,54} De plus, lors de la progression à des patrons de marche plus sophistiqués, la marchette peut interférer avec un patron réciproque plus harmonieux puisqu'elle diminue la longueur du pas de par sa constitution.²³ Qu'elle soit utilisée avec ou sans orthèse, l'utilisation d'une marchette demeure l'aide technique qui augmente le plus la dépense énergétique, nécessitant 6.75 fois l'énergie nécessaire d'une personne normale.⁵²

Plusieurs types de béquilles sont disponibles, dont les béquilles axillaires et les béquilles de Lofstrand. En général, les béquilles sont utilisées lorsqu'un transfert de poids supérieur à ce qu'il

est possible de transférer avec une canne est nécessaire, ou encore pour utiliser des patrons de marche spécifiques.⁵⁴ L'utilisation de béquilles est avantageuse puisqu'elles permettent de décharger 80 à 100% du poids corporel et sont en général faciles à utiliser et peu coûteuses.^{1,23,54} Cependant, l'utilisation de béquilles requière une bonne force aux membres supérieurs, de bonnes amplitudes articulaires aux membres supérieurs et un meilleur équilibre du tronc.^{23,54} Leur utilisation empêche aussi l'utilisation des membres supérieurs pour accomplir d'autres activités et augmente également la demande cardiaque et métabolique.² De plus, un usage ou un ajustement inapproprié est à risque de plusieurs neuropathies compressives.^{23,54} Marcher avec des béquilles nécessite plus d'énergie et une demande musculaire autre que celle requise lors du cycle de marche normal, soit une activation des muscles latissimus dorsi, triceps et pectoralis major.²³ Utiliser des béquilles plutôt qu'une marchette permet aux patients ayant subi une LMT d'augmenter leur vitesse de marche et de diminuer leur dépense énergétique.^{9,52} Cependant, marcher avec des béquilles, peu importe leur type, demeure une dépense énergétique plus importante qu'une marche normale de l'ordre de 33 à 50%.^{39,51,54}

Il existe une grande variété de cannes avec différents types de poignée et de base de support. Globalement, une canne permet d'augmenter la base de support (et donc l'équilibre), de diminuer la charge et la demande sur les membres inférieurs (donc de diminuer la douleur et la mise en charge sur une structure atteinte) ou de compenser pour une faiblesse musculaire.²³ Elle fournit également une information sensitive supplémentaire et aide lors des phases d'accélération et de décélération pendant la marche.²³ L'utilisation d'une canne est avantageuse puisqu'elle permet de décharger 20 à 25% du poids corporel tout en étant légère et peu coûteuse.^{1,23,54} Lorsqu'une seule canne est utilisée, le membre supérieur controlatéral devient libre et peut accomplir d'autres activités. La dépense énergétique liée à l'utilisation d'une canne est semblable à celle liée à l'utilisation de béquilles, donc légèrement plus élevée que chez les individus n'utilisant pas d'aide technique (estimée à 33%).^{51,54}

Une orthèse est un dispositif externe appliqué à une partie du corps qui permet d'améliorer la fonction, stabiliser une articulation, assister un mouvement en présence d'une faiblesse musculaire et de restreindre une amplitude articulaire.²³ Les orthèses aux membres inférieurs peuvent parfois être utilisées chez les patients avec LMT afin de compenser certaines faiblesses.²² Les plus fréquemment utilisées sont les orthèses tibiales (orthèse tibio-pédieuse) et les orthèses longs

jambiers (orthèse fémoro-pédieuse).²² Une orthèse tibiale sera utilisée pour stabiliser la cheville et compenser une faiblesse des dorsifléchisseurs, plantifléchisseurs ou inverseurs et éverseurs de la cheville.^{1,39} Une orthèse long jambier sera utilisée chez les patients avec LMT lorsqu'il y a une faiblesse marquée au quadriceps ou un manque de proprioception au genou.^{1,39} L'objectif de l'utilisation d'une orthèse aux membres inférieurs est de normaliser le patron de marche et de diminuer au maximum la dépense énergétique liée à son utilisation.¹ Toutefois, il demeure néanmoins qu'un patient qui nécessite une orthèse aux membres inférieurs pour pouvoir marcher dépensera plus d'énergie qu'un patient qui n'en porte pas.⁵² Même, un patient qui utilise deux orthèses longs jambiers aura une dépense énergétique de plus de 226% par rapport à celle d'une personne normale et une vitesse de marche moyenne extrêmement ralentie à 0.32 mètre par seconde (18.9 mètres par minute).³⁹ En comparaison, un patient qui utilise une seule orthèse tibiale aura une dépense énergétique 81% supérieure à une personne normale et une vitesse de marche moyenne de 0.80 mètre par seconde (48 mètres par minute).³⁹

2.2.4 Types de patron de marche chez les patients avec lésion médullaire

Certains patients ayant subi une LMT ne peuvent malheureusement pas utiliser un patron de marche normal tel que décrit précédemment en raison de leur patron de faiblesses particulier, et ce, malgré l'utilisation d'aides techniques tel que décrit dans la section précédente. Une option intermédiaire pour ces patients est de modifier leur patron de marche, mais cela se fait au coût d'un travail et d'une dépense énergétique augmentés ainsi que d'une vitesse de marche diminuée.³⁹ Deux patrons de marche plus fréquemment utilisés par les patients avec lésion médullaire seront analysés.

Premièrement, un patron de marche de type *swing* est souvent adopté par les patients avec lésion médullaire (Figure 6, page 39).¹ Lors d'un patron de marche *swing-through*, les deux membres inférieurs quittent le sol au même moment dans la phase d'oscillation à l'aide d'une propulsion vers l'avant via les membres supérieurs pour aller dépasser l'aide technique utilisée et atterrir au sol également au même moment lors de la phase d'appui.^{2,39,54,55} Les béquilles sont habituellement utilisées pour ce type de patron de marche, mais une marchette pourrait aussi l'être. Le patron de marche *swing-to* se différencie du précédent sur un point, c'est-à-dire que les membres inférieurs arrivent au même niveau que l'aide technique utilisée plutôt que de la dépasser lors du contact au sol pour débiter la phase d'appui.^{2,54} Le *swing* demande un important effort physique, diminue

considérablement la vitesse de marche (en moyenne de 64%) et implique une demande énergétique 78% plus importante pour une même vitesse de marche.^{2,39,51,55} Cette dépense énergétique beaucoup plus importante limite les activités communautaires pour lesquelles ce patron de marche peut être utilisé et favorise même l'utilisation d'un fauteuil roulant sur les longues distances.³⁹ Nonobstant cela, les patients avec une LMT sévère qui utilisent ce patron de marche ont plus souvent une diminution de force de flexion des hanches et nécessitent généralement en plus des orthèses longs jambiers bilatéralement puisque leurs genoux et chevilles devront être stabilisés par une aide externe.³⁹ Ces faiblesses musculaires combinées à ce type de patron de marche augmentent le travail de manière encore plus importante aux épaules et dans les membres supérieurs.³⁹ Les patients avec lésion médullaire qui utiliseront ce type de marche auront une vitesse moyenne de 0.48 mètre par seconde (29 mètres par minute) et la dépense énergétique reliée sera de plus de 160% par rapport à celle d'une personne normale.³⁹

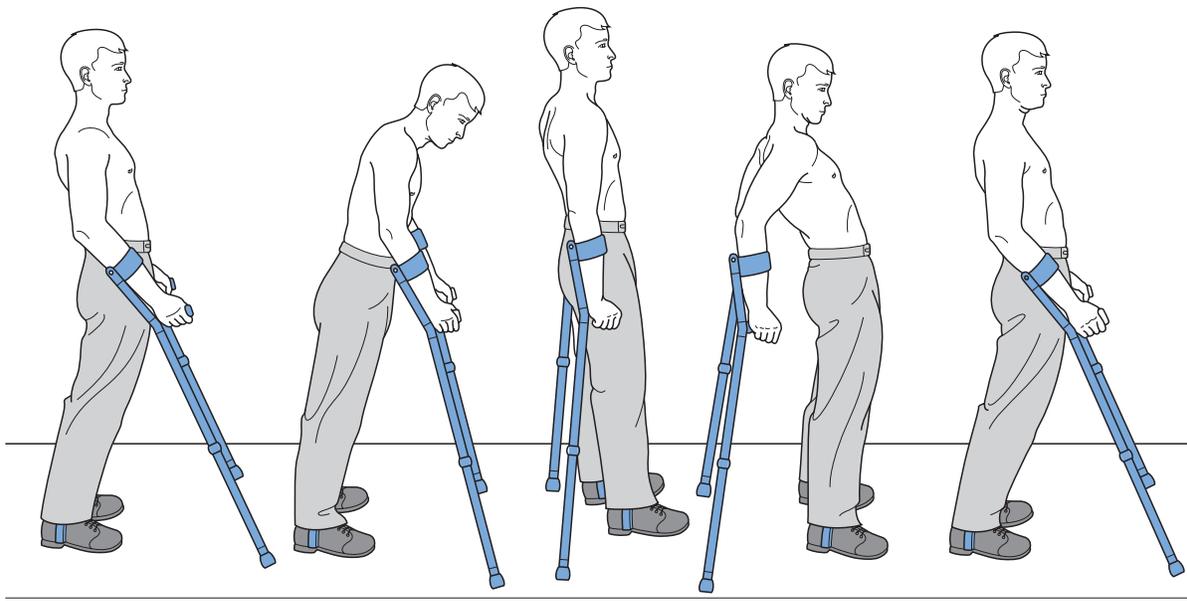


Figure 6. Patron de marche de type *swing-through* chez un patient atteint de paraplégie (Tiré de Cifu, Braddom's Physical Medicine and Rehabilitation, page 1114)¹

Un patron de marche réciproque est un patron pendant lequel un membre inférieur avance en alternance avec un membre supérieur (Figure 7, page 40).² Ce patron de marche peut être utilisé en deux, trois ou quatre temps, le patron en deux temps se rapprochant le plus d'un patron de marche normal mais requérant plus de force aux membres supérieurs et inférieurs ainsi qu'une meilleure stabilité du tronc.⁵⁴ Le patron de marche réciproque fournit une bonne stabilité et diminue la demande sur les membres supérieurs et le système cardiovasculaire par rapport au patron de marche

swing; par contre, il diminue la vitesse de marche.⁵⁴ Tout de même, les patients ayant subi une LMT utilisant ce patron de marche auront une dépense énergétique moindre que ceux utilisant un patron *swing* ; la vitesse de marche et la dépense énergétique dépendront principalement de la force totale de tous les muscles des membres inférieurs.^{2,39,54} Un patient qui peut utiliser ce patron de marche mais dont le total de la force musculaire aux membres inférieurs demeure diminué devra faire une mise en charge plus importante sur ses membres supérieurs et aura donc une très haute dépense énergétique reliée à son patron de marche.³⁹ Également, ce même patient aura généralement besoin d'utiliser une aide technique dans chaque membre supérieur (cane ou béquille). Conséquemment, leur vitesse de marche moyenne sera de 0.43 à 0.51 mètre par seconde (26 à 30.5 mètres par minute) et la dépense énergétique reliée sera de plus de 158% par rapport à celle d'une personne normale.³⁹ Dans ce contexte, les patients qui utilisent ce type de patron de marche dans ces conditions le feront exclusivement à l'intérieur de leur domicile et utiliseront plutôt un fauteuil roulant à l'extérieur de celui-ci.³⁹

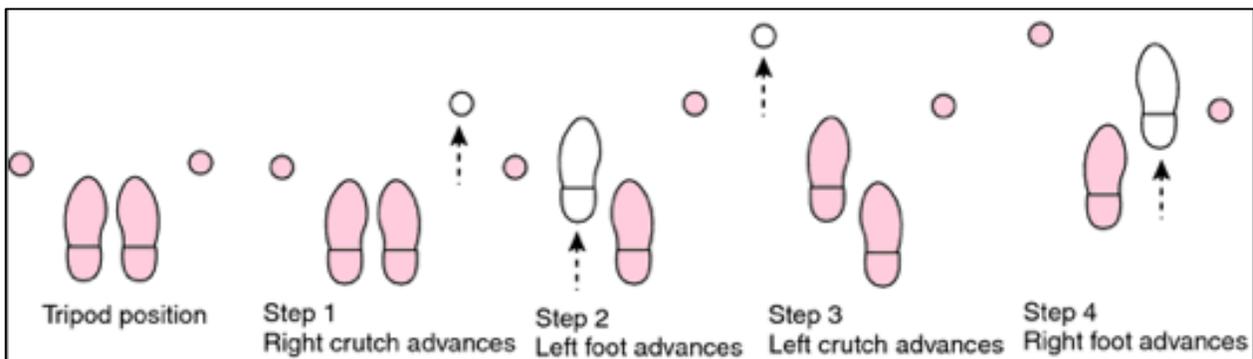


Figure 7. Patron de marche réciproque en quatre temps (Tiré de Medical Dictionary : The Free Dictionary)⁵⁶

2.2.5 Facteurs influençant la marche chez les patients avec lésion médullaire

Plusieurs facteurs peuvent influencer la capacité de marcher et le potentiel de récupération de la marche chez les patients ayant subi une lésion médullaire. Certains sont propres aux patients eux-mêmes, mais d'autres sont en relation avec le traumatisme subi.

2.2.5.1 Facteurs sociodémographiques

Le premier facteur propre au patient qui peut influencer la marche de multiples façons dans un contexte de lésion médullaire est sans contredit l'âge, influence qui est le plus souvent négative.^{5,10,52} Les patients plus âgés ont souvent plus de comorbidités, lesquelles sont généralement plus sévères.^{11,41,52,57-59} Par exemple, les patients plus âgés peuvent être déjà atteints de pathologies articulaires dégénératives ou de déficit proprioceptif limitant leur capacité à marcher.^{11,52,57,58} La présence de conditions cardiaque et/ou pulmonaire, de neuropathie périphérique, de maladie cérébrovasculaire et de démence pourrait également influencer la marche.^{11,41,58} De façon générale, la dépense énergétique à la marche est également plus grande chez les patients plus âgés, qu'ils aient ou non une LMT.^{39,52} Les patients d'âge avancé ont également plus fréquemment des complications médicales à la suite de leur traumatisme et celles-ci sont en général plus sévères que chez les patients plus jeunes.^{11,41,52} Ces complications pourraient potentiellement diminuer leur récupération ainsi que leur potentiel de marche.¹¹

Néanmoins, les patients plus âgés ont habituellement un mécanisme de traumatisme différent des patients plus jeunes.¹¹ En effet, ceux-ci vont plus fréquemment subir une blessure médullaire secondaire à une chute alors qu'ils présentent déjà une spondylose cervicale et une sténose spinale centrale.^{2,11,41,57,60} Le patron typique de chute en hyperextension cervicale viendra faire une compression sur la moelle en antérieur de par les changements dégénératifs osseux et en postérieur de par un bombement du ligament jaune.^{2,60} Ce patron typique, combiné avec les facteurs de risques mentionnés, entraînera un syndrome centromédullaire.² Dans ce syndrome, la faiblesse des membres supérieurs sera habituellement plus importante que celle des membres inférieurs en raison de la somatotopie à l'intérieur du faisceau corticospinal.² Il y aura aussi une épargne sacrée.^{2,60} L'atteinte sensitive est également variable dans ce syndrome, pouvant être minime et localisée exclusivement aux membres supérieurs.^{2,24} Le pronostic de récupération avec ce syndrome est généralement bon avec une récupération motrice plus importante et plus précoce aux membres inférieurs.^{2,11} En général, 57 à 86% des patients de tous les âges confondus atteints de ce syndrome vont récupérer la fonction de la marche.^{2,11}

L'âge influencerait donc le potentiel de marche pour de multiples raisons diverses. Cependant, l'âge à partir duquel un patient aura une récupération motrice moindre et une récupération de la

marche différente des patients plus jeunes demeure imprécis dans la littérature à ce jour. Les études qui se sont penchées sur le sujet ont eu tendance à dichotomiser l'âge auquel un changement dans le potentiel de récupération arrivait alors qu'il s'agit plutôt d'un processus qui se fait progressivement et sur une longue période de temps. Certaines études ont rapporté que ce changement dans la récupération avait lieu à partir de 50 ans.^{10,11,41} Cet âge correspondrait au moment où les cellules de la corne antérieure sont atteintes chroniquement par une artériosclérose des vaisseaux spinaux et où il y a moins de plasticité cérébrale et de remyélinisation pour permettre de récupérer des déficits.^{11,41} Cet âge aurait un impact négatif sur la distance possible à parcourir en raison d'une résistance à l'effort diminuée, d'une dépense énergétique augmentée et d'une plus grande fatigue musculaire.¹⁰ D'autres études ont plutôt rapporté que ces changements avaient lieu à 65 ans et que la récupération motrice associée à sa transposition en récupération fonctionnelle était plus importante avant cet âge.^{14,15,43,58-61} Ainsi, le degré d'assistance physique et d'aide technique requis augmenteraient à partir de 65 ans.^{60,61}

D'autres facteurs propres au patient influençant la marche après une lésion médullaire peuvent également être identifiés. Parmi ceux-ci, on retrouve les comorbidités du patient peu importe son âge.⁵ L'impact du fardeau de ces comorbidités chez un patient avec LMT peut être estimé en recherche par le pointage au *Charlson Comorbidity Index* (CCI).^{12,62} Ces comorbidités ont plus fréquemment un impact sur le niveau de forme physique antérieur à la lésion, ce qui influencera grandement le niveau de marche possible.^{5,9} En effet, il est fort peu probable qu'un patient qui ne marchait pas à l'extérieur de son domicile avant sa lésion médullaire marche à l'extérieur de son domicile un an après sa LMT. La présence d'un surplus de poids peut également affecter le potentiel de marche.^{10,52,63} Finalement, la motivation du patient à récupérer la marche est également extrêmement importante.^{2,5,9}

Globalement, le genre ne semble pas influencer le potentiel de marche malgré une contradiction initiale entre certaines études.^{41,59,64,65}

2.2.5.2 Facteurs liés à la lésion médullaire

De multiples facteurs liés à la lésion médullaire influenceront également la capacité de marcher d'un patient, comme par exemple les aides techniques et le patron de marche utilisés, tel que discuté dans les sections précédentes.⁶⁶ Le niveau médullaire et la sévérité de la lésion sont deux facteurs

extrêmement importants qui ont également une influence directe sur les aides techniques nécessaires et sur le patron de marche utilisé.^{2,5,9-11,52,67,68} Leur influence sera discutée de manière extensive dans la section *Récupération neurologique et fonctionnelle chez les blessés médullaires*. Plus précisément, la force, la préservation de la sensibilité et la proprioception aux membres inférieurs ainsi que la force aux membres supérieurs sont tous particulièrement importants.^{2,10,52,66}

Parmi les autres facteurs liés à la lésion médullaire ayant une influence sur la marche, la présence de spasticité et de déformation articulaire sont des facteurs importants.^{2,10,42,52,60,66,69} Bien que la spasticité aux membres inférieurs puisse parfois aider les patients à se mettre debout et avancer de quelques pas, traiter la spasticité aux membres inférieurs permet d'améliorer la capacité de marche en rendant l'enchaînement des différentes phases du cycle de marche plus fluide.¹⁰ Devoir marcher avec de la spasticité aux membres inférieurs augmente le travail et la dépense énergétique nécessaires; aussi, cela influence négativement la vitesse de marche, la distance parcourue, la coordination et l'équilibre.^{10,60}

L'endurance physique est également diminuée suite à une lésion médullaire, ce qui peut influencer le potentiel de conditionnement physique et donc la récupération de la marche.^{5,9,52} L'équilibre peut aussi être diminué avant le traumatisme, mais une LMT peut rendre l'équilibre encore plus précaire.^{2,10} Cette précarité diminue la qualité de la marche, plus particulièrement la vitesse de marche, ainsi que la distance parcourue par les patients, et augmente la quantité d'aides techniques nécessaires. Ceci diminue le potentiel de marche.¹⁰ Finalement, le tonus du tronc, la vision et le statut cognitif sont aussi des facteurs qui auront une influence sur le potentiel de marche après une LMT.²

La présence et la sévérité de la douleur, peu importe son origine, pourraient également influencer négativement le potentiel de marche.^{52,53} La relation spécifique entre la douleur neuropathique et son influence sur le potentiel de marche semble cependant remise en question.⁶⁰

La méthode de traitement de la LMT (traitement conservateur ou chirurgie spinale) ne semble pas influencer le potentiel de marche en aigu ou en chronique.⁶⁰ L'influence du fardeau des lésions traumatiques associées à une LMT (habituellement estimé par l'*Injury Severity Score (ISS)*)⁷⁰ sur le potentiel de marche ne semble quant à lui pas avoir été étudié spécifiquement. Il est cependant plausible de penser que ce fardeau aurait un impact négatif sur la récupération de la marche.

En résumé, le niveau et la sévérité de la lésion médullaire, et donc la force musculaire résiduelle aux membres inférieurs, sont des facteurs particulièrement importants qui font varier le potentiel de marche. Cependant, le statut fonctionnel antérieur, l'environnement du patient et sa santé globale après sa LMT sont à prendre en considération afin d'estimer le niveau de marche qu'un patient pourra atteindre. L'âge avancé a également une influence négative sur plusieurs aspects de la marche, quoique l'âge auquel ce processus longitudinal de vieillissement devient significatif demeure imprécis. Ceci est important à prendre en considération afin d'éviter de faire de l'âgisme et de conclure trop précocement qu'un patient plus âgé aura un potentiel de marche limité.⁵⁹

2.2.6 Niveaux de marche et marche fonctionnelle en communauté

Il est important à ce stade de distinguer les différents niveaux de marche qu'un patient avec LMT peut utiliser et porter une attention particulière à la marche communautaire ou fonctionnelle. Bien que les patients avec LMT aient depuis longtemps rapporté qu'un de leurs objectifs fonctionnels principaux était de marcher,⁵⁻⁹ cet objectif s'est plus récemment précisé pour une marche permettant d'accomplir des activités fonctionnelles.^{52,66}

Le premier niveau de marche qu'un patient ayant subi une lésion médullaire peut atteindre correspond au patient non ambulant.² Ces patients ne peuvent se mettre debout ou marcher et dépendent de leur fauteuil roulant pour se déplacer sur n'importe quelle distance.^{2,45}

La marche exercice ou thérapeutique correspond au deuxième niveau.² Un patient qui fait une marche exercice pourra faire quelques pas sur une courte distance (habituellement quelques mètres) avec l'utilisation d'un appareillage orthotique extensif, l'utilisation de barres parallèles ou l'aide d'une personne externe.^{2,41,45} Il ne s'agit pas d'un niveau de marche suffisant pour accomplir une fonction.⁴⁵ Plus fréquemment, les patients dans cette catégorie ont un certain contrôle de leur bassin mais n'ont pas une force suffisante à leurs fléchisseurs de hanche et à leurs quadriceps.^{42,45}

La marche domestique (à l'intérieur du domicile) correspond au troisième niveau de marche qu'un patient ayant subi une lésion médullaire peut atteindre.² Ces patients pourront marcher à l'intérieur de leur domicile avec un degré d'indépendance relative, mais ne pourront pas marcher à l'extérieur de celui-ci sur une distance significative.⁴⁵ Ils utiliseront donc leur fauteuil roulant pour les déplacements extérieurs.⁴⁵ Il s'agit du premier niveau de marche qui peut être utilisé pour une autre

fonction que la marche elle-même, bien que les fonctions possibles soient limitées (vitesse de marche diminuée et dépense énergétique augmentée en lien avec le mode d'ambulation).^{2,45} Habituellement, les marcheurs domestiques auront un niveau lésionnel neurologique caudal à T12 et une bonne force au quadriceps.^{2,45} Ils mettront également plus de poids dans leurs membres supérieurs et leur fréquence cardiaque augmentera sur ce court effort.²

Le quatrième et dernier niveau de marche possible pour les patients correspond à la marche communautaire ou fonctionnelle, c'est-à-dire à la capacité de marcher indépendamment dans le domicile et dans la communauté avec ou sans l'utilisation d'aides techniques ou d'orthèses.^{2,5,41,45} Pour être un marcheur communautaire, un patient ayant subi une LMT doit être capable de marcher une distance raisonnable autant à l'intérieur qu'à l'extérieur du domicile sans assistance d'une aide humaine.^{5,41} Globalement, les marcheurs communautaires peuvent transférer d'assis à debout comme l'inverse, mettre et retirer indépendamment leurs orthèses de marche et marcher au moins 45 mètres.²

Les patients qui atteignent un niveau de marche communautaire ont habituellement un niveau lésionnel neurologique à L2 ou plus caudal.² Tel que mentionné précédemment, ils ont habituellement un bon contrôle de leur bassin, une bonne flexion de leurs fléchisseurs de hanche et une bonne fonction d'un quadriceps dans au moins un membre inférieur.^{42,45} Avoir ces forces permettra habituellement aux patients d'avoir une vitesse de marche et une dépense énergétique qui se rapprochent de celles d'un marcheur sans lésion médullaire, ce qui leur permettra de marcher dans la communauté.⁷¹ Ces marcheurs ont aussi habituellement une sensibilité proprioceptive préservée à leurs hanches et genoux.⁴² De plus, ils seront plus fonctionnels s'ils n'ont pas de spasticité ni de déformations articulaires et s'ils n'ont pas besoin d'orthèse.⁴²

Les déplacements communautaires englobent plusieurs objectifs fonctionnels et peuvent amener plus rapidement un patient ayant subi une LMT à l'épuisement.⁹ Une étude en milieu urbain a révélé qu'un marcheur communautaire devait parcourir une moyenne de 250 à 300 mètres pour se rendre au centre commercial ou à la pharmacie.^{9,39} Dans ce contexte, en plus de marcher une distance suffisante, le marcheur communautaire doit parfois atteindre la vitesse nécessaire pour traverser une rue (1.06 à 1.22 mètre par seconde), être capable de naviguer les courbes et les terrains inégaux ainsi qu'utiliser des escaliers.^{2,5,40,46} Augmenter la vitesse de marche pour qu'elle soit suffisante pour traverser une rue est souvent ce qu'il y a de plus difficile pour les patients ayant

subi une lésion médullaire et ce qui les empêche de marcher dans la communauté.^{2,5} Il est donc important de considérer que les patients qui marchent sans aide technique ont une vitesse plus rapide que ceux qui utilisent des aides techniques.^{5,6} D'ailleurs, un patient qui n'arrive pas à atteindre une vitesse de marche suffisante préférera un autre mode de transport que la marche pour pouvoir effectuer ses déplacements.⁴⁰ Deux autres facteurs à considérer pour la marche communautaire sont de pouvoir monter et descendre des rampes ainsi que s'arrêter abruptement en cas de besoin.⁵ Au final, étant donné les vitesses de marche et dépenses énergétiques mentionnées précédemment avec le patron *swing* et le patron réciproque, un patient prendrait plus de 10 minutes à parcourir une courte distance de 300 mètres et y arriverait exténué.^{9,39,46,52} Ceci explique pourquoi ces patients favorisent plus fréquemment les déplacements en fauteuil roulant sur les longues distances et/ou lorsqu'il y a des activités fonctionnelles à accomplir.³⁹ Malgré tout, il est estimé que les patients ayant subi une lésion médullaire incomplète qui marchent dans la communauté ont une vitesse de marche confortable deux fois moins élevée et une dépense énergétique beaucoup plus importante que les personnes sans lésion médullaire.⁵ Lorsque ces patients doivent augmenter leur vitesse de marche pour atteindre celle d'une personne ayant un patron de marche normal, leur marche devient 200% moins efficace et leur dépense énergétique augmente significativement.⁵

Une échelle plus étayée des différents niveaux de marche atteignables a été développée afin de mieux standardiser le classement du niveau de marche des patients. Le *Standing and Walking Assessment Tool* (SWAT) permet de définir avec plus de précision les niveaux de marche préalablement discutés.⁷² En effet, le niveau 0 (non ambulant) se divise en deux catégories selon la capacité du patient de rester assis au fauteuil de manière indépendante ou non. Le niveau 1 évalue la capacité du patient à être debout, une catégorie qui n'était pas définie dans les différents niveaux de marche discutés plus tôt. Le niveau 1 se divise en trois catégories selon s'il y a présence de mouvements aux membres inférieurs (1A), de mouvements volontaires non fonctionnels aux membres inférieurs (1B) ou de mouvements volontaires fonctionnels aux membres inférieurs (1C). Le niveau 2 évalue la capacité de marche de type exercice. Il se divise en trois catégories selon le besoin d'assistance nécessaire : maximale (2A), modérée (2B) ou minimale (2C). Le niveau 3 correspond aux patients qui utilisent la marche de manière fonctionnelle, soit les marcheurs domestiques et communautaires. Il recoupe donc deux niveaux de marche qui avaient été discutés séparément auparavant. Cependant, le niveau 3 se divise également en trois catégories. Le niveau 3A correspond à des marcheurs domestiques nécessitant une supervision. Le niveau 3B correspond

à des marcheurs domestiques indépendants et le niveau 3C correspond à des marcheurs communautaires. Finalement, le niveau 4 correspond à une capacité de marche normale.⁷² Cette distinction entre la marche commentaire et le retour à une capacité de marche normale est particulièrement intéressante puisqu'elle permet de différencier les patients chez qui la marche n'est plus nécessairement une barrière à leur fonctionnement. Cette échelle est également intéressante puisqu'elle permet de combiner le niveau de marche à des outils d'évaluation de l'équilibre et de la marche bien connus dans la littérature et appropriés pour la condition du patient. De plus, bien que plus longue à évaluer, cette échelle pourrait influencer certaines décisions cliniques puisqu'elle est plus précise et met plus en évidence le fonctionnement réel du patient.

Finalement, les bénéfices d'une marche communautaire sont nombreux.⁷³ Marcher est essentiel pour être en santé et est un déterminant de la santé.^{6,40,74} La marche communautaire permet d'abord d'accéder à la communauté à l'extérieur du domicile : cette accessibilité a un impact sur le bien-être émotionnel et physique, les relations sociales et l'emploi.^{75,76} La marche communautaire est également essentielle pour une réintégration sociale réussie.^{5-7,11,46,74} En effet, lorsque la vitesse de marche est trop diminuée ou que la dépense énergétique est trop élevée, la marche devient moins fonctionnelle, ce qui limite l'implication qu'un patient peut avoir dans ses activités de la vie quotidienne, ses activités de la vie domestique et ses activités dans la vie communautaire.⁵³ Toutes ces limitations sont des freins à des interactions sociales potentielles.⁵³ L'importance de ces limitations doit aussi être prise en considération dans le contexte où avoir un emploi est un objectif de vie à long terme d'une majorité des patients.⁵³ Une marche fonctionnelle et tout ce que cela implique permettra d'atteindre cet objectif plus facilement.

2.2.7 Relation entre la marche et la qualité de vie

Tel que mentionné dans l'introduction, la marche et sa récupération après une LMT est une priorité chez les patients.⁵⁻⁹ Un autre bénéfice à la marche est sa relation avec une meilleure qualité de vie.^{7,19,53,74,77,78} En effet, la fonction physique, l'indépendance fonctionnelle qui y est reliée et la marche sont des thèmes importants pour les patients en regard de la qualité de vie, peu importe la sévérité de la lésion médullaire.^{7,8,19,75-77,79-81} Chez les patients atteints de tétraplégie, la fonction physique affecte de manière encore plus importante la qualité de vie que chez les patients atteints de paraplégie.⁷⁵ Pour ces derniers comme pour les patients avec lésion médullaire incomplète, la

récupération d'une marche fonctionnelle est également une des plus importantes priorités.^{77,80} Les patients qui, dans la première année après leur réadaptation, font une transition d'un fauteuil roulant à la marche pour accomplir leurs déplacements ont les plus hauts scores de satisfaction par rapport à leur vie, expérimentent moins de syndrome dépressif majeur et ont les plus bas scores de sévérité de la dépression et de sévérité de la douleur.⁵³ Dans ce contexte, les patients atteints de lésion médullaire (et particulièrement les patients atteints de paraplégie) sont prêts à accepter des traitements ou interventions plus risqués pour regagner cette mobilité perdue.⁷⁹ La récupération de la marche est particulièrement importante dans les dix premières années qui suivent une lésion médullaire.⁸⁰ Finalement, lorsque la qualité de vie est évaluée chez les patients un an après leur sortie de réadaptation fonctionnelle intensive, les patients qui ont perdu la capacité de marcher et qui se déplacent dorénavant en fauteuil roulant ont un score de qualité de vie inférieur.⁵³ Ces mêmes patients avaient également un plus haut taux de dépression et leur douleur était plus sévère.⁵³ Cela peut être partiellement expliqué par une plus grande difficulté à participer à des activités sociales, notamment à cause des barrières environnementales associées à l'utilisation d'un fauteuil roulant.⁵³

Lorsque la relation entre la qualité de vie et les activités de la vie quotidienne chez une population de patients ayant subi une LMT est analysée, ceux reliés à la mobilité montrent une corrélation plus forte avec la qualité de vie.⁷ Ceci inclut entre autres la mobilité au lit, la marche, l'utilisation des escaliers et les transferts. Cette haute corrélation est également retrouvée pour les patients atteints de tétraplégie et de paraplégie spécifiquement lorsque ces deux sous-groupes sont analysés séparément.⁷ La marche communautaire est cependant encore plus importante pour la qualité de vie que la marche domestique, puisqu'elle permet une participation communautaire et une implication sociale.^{7,53} Finalement, étant donné que les facteurs environnementaux sont souvent une barrière importante à l'accessibilité, l'intégralité de ce qu'une marche communautaire comporte tel que discuté précédemment est d'autant plus associée avec une meilleure qualité de vie.⁷⁵

2.3 Récupération neurologique et fonctionnelle chez les blessés médullaires

La marche indépendante en communauté est un des principaux objectifs des patients ayant subi une LMT, en plus d'être un déterminant de la santé.^{5-9,41} Déterminer le pronostic des patients le plus tôt possible à la suite de leur LMT devient essentiel afin de pouvoir orienter les attentes et les objectifs de réadaptation des patients ainsi que les ressources de santé.^{11,12} Le pronostic des différents objectifs fonctionnels des patients se basera sur la récupération neurologique et fonctionnelle.¹

2.3.1 Récupération neurologique

La récupération neurologique consiste en un rétablissement des fonctions neurologiques motrices et/ou sensibles initialement atteintes.⁸² Son fondement réside dans la réalisation de l'évaluation de l'ISNCSCI au chevet du patient environ 72 heures après le traumatisme.^{2,83} La plus grande majorité des patients ayant subi une LMT récupéreront une certaine fonction neurologique sous leur niveau lésionnel.³⁷ La récupération neurologique globale sera d'abord abordée, puis la prochaine sous-section sera dédiée à la récupération motrice. Cependant, il est important de se rappeler qu'une certaine récupération sensitive aura également lieu et suivra environ le même parcours.³⁷

La plus grande partie de la récupération neurologique se fait dans les trois premiers mois suivant le traumatisme.^{37,83} Celle-ci se poursuit par la suite à moindre vitesse jusqu'à six mois.^{83,84} Après que la majorité de la récupération neurologique ait eu lieu, celle-ci peut atteindre un plateau ou se poursuivre très lentement jusqu'à 18 ou 24 mois après le traumatisme.^{37,85,86} Une récupération neurologique a également été démontrée chez certains patients (moins de 5%) cinq ans après leur LMT.^{37,83}

Des facteurs de bon et mauvais pronostic de récupération neurologique ont pu être identifiés. Le facteur le plus déterminant est la sévérité de la lésion initiale, c'est-à-dire avoir une lésion complète vs incomplète, cette dernière ayant un pronostic beaucoup plus favorable.^{59,83,87} D'autres facteurs déterminants du pronostic neurologique sont le niveau lésionnel et la présence d'une zone de préservation partielle des fonctions motrices ou sensibles sous le niveau de la lésion.^{43,83,87} Des facteurs de bon pronostic identifiés incluent l'âge, un grade de sévérité AIS D moins de 72 heures après le traumatisme, un déplacement vertébral de moins de 30% à l'intérieur du canal spinal, la

rapidité de la récupération neurologique ayant déjà eu lieu et la préservation de la sensibilité à la piqûre en sous-lésionnel.^{1,2,43} Il est intéressant de mieux comprendre l'hypothèse de ce dernier facteur : puisque la sensibilité à la piqûre (douleur) est transportée par le faisceau spinothalamique et que celui-ci est plus proche du faisceau corticospinal (moteur), la présence ou la récupération de cette sensibilité serait associée à un retour plus favorable de l'ambulation.^{16,37,41,44,88} Plus précisément, cette hypothèse a été vérifiée pour la présence d'une sensation à la piqûre au niveau sacré quatre semaines suite au traumatisme et pour la présence d'une sensation à la piqûre dans plus de 50% des dermatomes de L2 à S1.^{16,37,41,44,88} Les facteurs de mauvais pronostic neurologique identifiés sont pour leur part la présence d'un saignement intra-médullaire, d'une luxation facettaire bilatérale et d'un traumatisme intra-canalair par balle.^{2,87}

La récupération neurologique globale peut donc principalement être mesurée par deux changements reliés à l'évaluation initiale de l'INSCSCI : le changement dans le score moteur ou sensitif de l'INSCSCI et la conversion du grade AIS.³⁷

Le changement dans le score moteur ou sensitif de l'INSCSCI est présent chez la majorité des patients ayant subi une LMT.³⁷ Tel que discuté dans la prochaine sous-section, la récupération motrice ou sensitive a habituellement lieu dans des zones où l'une de ces fonctions est préservée.^{37,85} Cette zone, appelée zone de préservation partielle, est significative puisqu'une certaine innervation y persiste. Elle se trouve dans les myotomes et dermatomes caudaux aux niveaux moteurs et sensitifs.^{37,85}

Pour sa part, la conversion du grade AIS signifie que le résultat du grade AIS à l'évaluation de l'INSCSCI à différents moments dans le temps évolue par rapport à l'évaluation initiale.^{2,37} Le grade AIS initial ainsi que sa conversion seront tout particulièrement importants, puisqu'ils permettront en partie de prédire le pronostic de marche.^{2,37} Cette conversion d'un grade à l'autre se fait 80% du temps dans les trois premiers mois, plus souvent dans les 30 premiers jours,² mais peut s'étendre dans la première année suivant le traumatisme.³⁷ La conversion du grade AIS dépend principalement du grade AIS à l'admission (Figure 8, page 52).³⁷ Pour les patients ayant subi une LMT de grade AIS A, 80% restent de grade A alors que 10% se convertissent en grade AIS B et 10% en grade AIS C.^{37,89} La littérature plus récente montre cependant que le taux de conversion pour les patients ayant subi une lésion médullaire de grade AIS A serait même supérieure à ce qui était initialement observé et que celui-ci pourrait même être de 23 à 30% chez certains patients

avec un taux de conversion en moteur incomplet avoisinant parfois les 16%.⁹⁰⁻⁹³ Les patients atteints de tétraplégie de grade AIS A auraient par ailleurs une conversion aux grades AIS B et C beaucoup plus fréquente que les patients atteints de paraplégie.^{37,92,93} Les patients avec une LMT de grades AIS B et C ont pour leur part une plus grande récupération neurologique spontanée que les patients avec une LMT de grade AIS A.³⁷ Pour les patients ayant subi une LMT de grade AIS B, 25% restent de grade B, 15 à 40% se convertissent en grade AIS C et 40% se convertissent en grade AIS D. Malheureusement, environ 10% des patients semblent se détériorer puisqu'ils passent d'un grade AIS B à A.³⁷ Bien qu'une détérioration neurologique secondaire à un syrinx (kyste de LCR dans la moelle épinière) puisse expliquer cette différence, d'autres facteurs tels que des erreurs d'entrée de données dans les bases de données, un manque de constance entre les évaluations de différents examinateurs de l'ISNCSCI et une amélioration de l'outil au fil des années sont également des hypothèses plausibles pouvant expliquer ce phénomène.⁸³ Pour les patients ayant subi une LMT de grade AIS C, 60 à 80% se convertissent en grade AIS D et aussi, mais moins fréquemment, en grade AIS E.³⁷ Finalement, 95% des patients ayant subi une LMT de grade AIS D s'améliorent également; toutefois, il demeure peu fréquent que ceux-ci présentent une récupération neurologique complète et se convertissent à un grade AIS E.^{2,37}

Le moment auquel l'évaluation initiale de l'ISNCSCI est réalisée est également tout particulièrement important. Tel que mentionné, les lignes directrices les plus récentes recommandent que cette évaluation soit réalisée dans la première semaine, mais idéalement environ 72 heures après le traumatisme afin qu'elle soit valide pour estimer le pronostic.²² En effet, un examen neurologique effectué dans la première semaine suite au traumatisme permet de prédire la récupération neurologique suite à une lésion médullaire.^{22,94} De plus, effectuer un examen neurologique tel que l'ISNCSCI pour tous les patients à 72 heures du traumatisme permet de standardiser la pratique et d'obtenir une valeur de base comparative en cas de détérioration neurologique.²² Contrairement à ce qu'il serait implicite de déduire, réaliser cette évaluation trop tôt dans le processus, par exemple dans les premières 24 heures, ne serait pas avantageux, d'abord en raison de l'œdème médullaire et des tissus mous qui est en augmentation dans cette période.^{2,22} Également, une évaluation réalisée trop précocement peut être faussée entre autres par la présence du choc spinal, d'une instabilité médicale, de douleur, de ventilation mécanique, de chirurgies concomitantes, de traumatismes associés dont les traumatismes crâniens, d'une intoxication ou d'une sédation chimique.^{2,37,91,95} Entre autres, la présence de certains facteurs, dont le choc spinal,

pourrait entraîner une variabilité importante dans l'évaluation obtenue dans les premiers 48 à 72 heures et par exemple, surestimer la sévérité lésionnelle ou sous-estimer la force réellement présente à certains myotomes.^{37,96,97} Même, la littérature a rapporté que l'évaluation de la force musculaire lors de l'évaluation de l'ISNCSCI pourrait être réalisée jusqu'à deux semaines après le traumatisme,⁹⁸ raison de plus pour éviter des biais dus à un patient non collaborant ou dans un état instable et obtenir une évaluation initiale de la fonction neurologique plus stable et moins variable.³⁷ Cela est en conséquence rassurant et concordant avec la réalité clinique qui ne permet parfois pas d'évaluer de manière précise l'ISNCSCI du patient en moins de 72 heures ou même avant sa chirurgie pour les mêmes raisons que mentionnées auparavant.

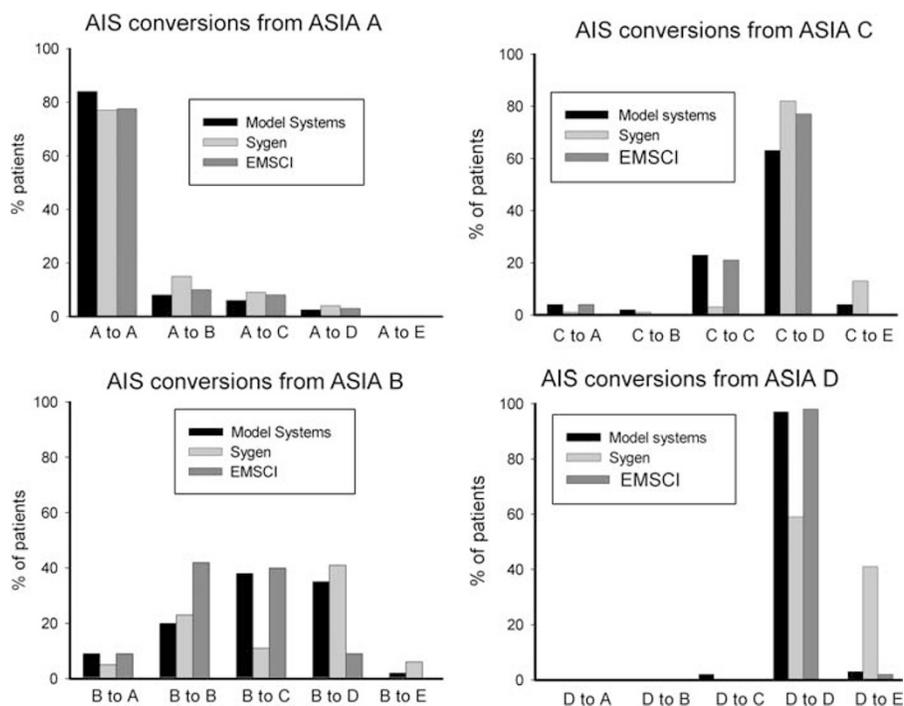


Figure 8. Pourcentage de conversion selon le grade AIS initial à un an suite au traumatisme (Tiré de Fawcett et al., Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury as developed by the ICCP panel: spontaneous recovery after spinal cord injury and statistical power needed for therapeutic clinical trials)³⁷

2.3.2 Récupération neurologique motrice

Tel que mentionné précédemment, la plus grande majorité des patients ayant subi une LMT regagneront une certaine fonction motrice pendant l'année suivant leur LMT.³⁷ Le degré de récupération motrice chez les patients avec une lésion motrice complète (grades AIS A et B) est

habituellement assez facile à prédire : celle-ci est assez limitée et se trouve en général à l'intérieur de la zone de préservation partielle.³⁷ Le degré de récupération motrice pour les patients avec une lésion motrice incomplète (grades AIS C et D) est beaucoup plus important et hétérogène.³⁷ Cependant, ce degré de récupération motrice peut parfois être moins bien évalué en raison d'un effet plafond lié à l'utilisation de l'ISNCSCI pour suivre la récupération neurologique graduelle.³⁷ En effet, seulement dix myotomes sont évalués lors de l'ISNCSCI : cinq pour les membres supérieurs et cinq pour les membres inférieurs.^{2,23} La récupération motrice au niveau thoracique n'est donc pas prise en considération par cet outil puisqu'aucun myotome n'est attribué pour les niveaux thoraciques.³⁷

La récupération motrice sera aussi plus rapide dans les six premiers mois et plus particulièrement dans les trois premiers mois.⁸³ Le retour moteur sera plus rapide chez les patients avec une lésion complète que ceux avec une lésion incomplète.^{2,37,89} Par contre, cela implique que le plateau sera atteint également plus rapidement chez les patients avec une lésion complète : entre 9 à 12 mois chez les complets par opposition à 12 à 18 mois chez les incomplets.^{2,37,89} Ces deux facteurs peuvent potentiellement être expliqués par le meilleur pronostic de récupération motrice chez les patients ayant subi une LMT incomplète, celui-ci intéressant plus de niveaux et un plus grand retour de force segmentaire par niveau.⁸⁷ Chez 20% des patients, la récupération d'un niveau moteur peut avoir lieu entre un et cinq ans.⁸³

La récupération motrice aura principalement lieu dans les segments adjacents sous le niveau lésionnel.^{37,85} La récupération motrice qui a lieu dans les segments qui conservaient déjà une certaine fonction musculaire (zone de préservation partielle) pourrait être secondaire à une plasticité cérébrale et périphérique; la récupération motrice qui a lieu plus caudalement à cette zone serait plutôt partiellement secondaire à la régénération axonale.³⁷

L'importance de la récupération motrice dans ces niveaux est également à discuter. En effet, bien que la récupération motrice ait plus souvent lieu dans les deux premiers niveaux moteurs caudaux au niveau moteur initial, l'importance de celle-ci varie.^{37,85} Dans le niveau caudal adjacent au niveau moteur, une force initiale mesurée à 0/5 augmentera à 1/5 57% du temps et à 3/5 ou plus seulement 27% du temps.³⁷ Dans le deuxième niveau moteur caudal au niveau moteur initial, la récupération de 0/5 à 1/5 est plutôt de l'ordre de 4%, alors que la récupération d'une force qui passera à 3/5 ou plus est de l'ordre de 1%.³⁷ Par contre, si la force initiale est de l'ordre de 1 ou

2/5, le gain de fonction sera plus important (à une force de 3/5 ou plus) et plus rapide, atteignant habituellement un plateau après neuf mois.³⁷ Il y a donc un gain moteur plus important lorsque les muscles conservent une certaine fonction motrice dans la phase aiguë du traumatisme.^{37,85}

2.3.3 Récupération fonctionnelle de la marche

Le concept de récupération fonctionnelle consiste en la récupération de capacité à accomplir des activités de la vie quotidienne ou domestique et sera le reflet du plus haut niveau d'autonomie qu'un patient peut atteindre pour certaines activités. La récupération fonctionnelle est maximale dans les trois premiers mois après le traumatisme, mais s'étend en général entre 6 et 9 mois.^{1,37,99} D'autres études suggèrent que peu d'amélioration fonctionnelle ait lieu entre 6 et 12 mois, confirmant l'atteinte d'un plateau fonctionnel à 12 mois après une LMT.^{100,101} Le grade AIS initial est sans contredit un excellent prédicteur de la fonction qui sera atteinte, tout comme le niveau lésionnel et l'âge.^{1,37,43,95} Bien que plusieurs objectifs fonctionnels ainsi que la fonction globale des patients ayant subi une LMT pourraient être discutés longuement, la discussion sera dirigée sur la marche. Comme mentionné auparavant, marcher est l'un des objectifs principaux des patients avec une LMT en aigu et demeure dans les objectifs principaux des patients atteints de paraplégie un an après leur LMT.^{5-9,77,80} Plusieurs études mentionnées précédemment ne caractérisent plus seulement la fonction de marcher, mais aussi la vitesse et la distance de marche. Cependant, le pronostic fonctionnel relié à ces variables, témoins de la qualité de la marche, demeure pour l'instant inconnu.

Le grade AIS initial ainsi que sa conversion dans les mois qui suivent le traumatisme permettent d'établir un pronostic fonctionnel de la marche.^{59,102} Globalement, les patients avec un grade AIS A ont peu de chances d'atteindre une marche fonctionnelle ; les patients avec un grade AIS D ont beaucoup de chances d'atteindre un niveau de marche fonctionnel ; et les patients avec un grade AIS B ou C ont un taux variable d'atteinte de la marche fonctionnelle, beaucoup plus difficile à prédire.^{37,41}

Seulement 5% des patients de grade AIS A, atteints de tétraplégie comme de paraplégie, récupèrent une capacité de marche à un an.¹⁰³ Ceux qui le font sont principalement les patients atteints de paraplégie inférieure (T12-L3) et récupèrent un patron de marche réciproque.^{2,43,104} Ils sont cependant plus fréquemment limités à une marche exercice, utilisant plusieurs aides techniques

encombrantes et marchant à une basse vitesse avec une haute dépense énergétique.⁴¹ Pour leur part, les patients ayant subi une LMT de grade AIS B ont un taux global de marche de 33%, variant entre 20 et 50% selon les études.^{2,37,41,89} L'importance de la préservation de la sensation à la piquûre, de préférence à la marge anale à quatre semaines, mais aussi aux membres inférieurs 72 heures après le traumatisme, a plus particulièrement été démontrée pour cette catégorie de patients.^{2,16,37,41,44,88} Plus particulièrement, les patients présentant une préservation de la sensibilité à la piquûre dans plus de 50% des dermatomes des membres inférieurs à moins de 72 heures du traumatisme deviendraient dans 67% des cas des marcheurs domestiques et dans 40% des cas des marcheurs communautaires.²

Les patients ayant subi une LMT motrice incomplète (grades AIS C et D) ont quant à eux un bien meilleur pronostic de marche.^{2,41} Plusieurs facteurs peuvent également influencer la récupération de la marche chez ces patients, les principaux étant très implicites : le niveau neurologique lésionnel le plus caudal, la force aux membres inférieurs, le délai avant le début de la récupération, l'âge (plus ou moins de 50 ans), et finalement la force aux membres supérieurs ainsi que le tonus du tronc pour les patients atteints de tétraplégie.^{2,41} Cette force aux membres supérieurs chez les patients atteints de tétraplégie et donc conséquemment les aides techniques possiblement utilisées sont tout particulièrement importantes pour déterminer si les patients auront une marche thérapeutique ou fonctionnelle. Globalement, tous les patients qui auraient une force initiale de 2/5 ou plus à un fléchisseur de hanche ou un extenseur du genou regagneraient la possibilité de marcher dans la communauté à un an tel que mentionné précédemment.^{2,41} Le taux de marcheurs à un an peut avoisiner 76 à 87% chez les patients atteints de paraplégie de grade AIS C, alors qu'il est plus proche de 21 à 63% chez les patients atteints de tétraplégie du même grade.⁴¹ Les patients ayant subi une LMT de grade AIS D ont pour leur part un excellent pronostic de marche variant entre 80 et 100% selon l'âge.⁵⁷

D'autres facteurs pronostics de marche favorables ont aussi été notés dans la littérature. D'abord, certains syndromes médullaires, de par la localisation de leur atteinte dans la moelle, auront un pronostic favorable.^{11,41,85,105} La tableau clinique de ceux-ci ne sera pas présenté ici en détails, mais il peut être retrouvé facilement dans le manuel de référence *Kirshblum et al.*²² Ces syndromes médullaires spécifiques incluent les syndromes centromédullaire et de Brown Séquard.^{11,41,85,105} Le pronostic de marche pour le syndrome centromédullaire serait cependant fortement influencé par

l'âge avec une distinction à partir de 50 ans. Le taux de patients de moins de 50 ans marcheurs serait de 90%, alors que celui chez les 50 ans et plus serait de 40%.^{11,41,106} Par ailleurs, la présence concomitante d'une contraction anale volontaire et d'une sensation préservée en S4-S5 autant au toucher léger qu'à la piquûre prédiraient une marche indépendante à un an suite à la LMT.¹⁶ Également, la présence dans la phase aiguë d'une réponse d'adduction croisée lors de la prise du réflexe ostéotendineux en infrapatellaire serait hautement corrélée avec une récupération fonctionnelle motrice; l'évidence dans la littérature est toutefois moins forte à ce sujet.⁴³

Des facteurs pronostics défavorables à la récupération de la marche ont également été identifiés. D'abord, la présence d'un délai de réponse plantaire (précurseur du signe de Babinski) qui persiste plus de 24 heures après le traumatisme serait négativement corrélé avec la récupération de la marche.^{2,43} La présence d'un syndrome médullaire antérieur est également défavorable, puisque seulement 10 à 20% des patients ont une certaine récupération motrice.^{41,85} L'âge (plus ou moins de 50 ans) a aussi un impact pour les mêmes raisons expliquées précédemment et se fait particulièrement ressentir chez les patients avec une LMT de grades AIS A, B ou C.^{11,59,103,105}

La récupération de la marche chez les patients ayant subi une lésion médullaire non traumatique (LMNT) ou non instable est également intéressante à considérer, bien qu'elle concerne une population de patients différente de celle à l'étude dans ce mémoire. Il y a en effet habituellement une différence significative entre ces deux populations en termes d'âge, de niveau et de sévérité lésionnels ainsi que de délai entre la lésion et le début de la prise en charge.^{107,108} Les étiologies sont également différentes, les LMNT étant plus souvent le résultat d'une maladie dégénérative de la colonne vertébrale ayant un impact sur la moelle épinière (sténose spinale) ou d'insultes vasculaire, inflammatoire ou néoplasique.^{107,108} La récupération neurologique semble cependant sensiblement comparable dans les premiers mois suivant le traumatisme entre les LMT et les LMNT lorsque ajustée en fonction de l'âge, du niveau et de la sévérité lésionnels.¹⁰⁷ Au congé de l'hospitalisation aiguë, les capacités fonctionnelles, dont la marche, sont également similaires entre les patients ayant subi une LMT et ceux ayant subi une LMNT lorsque ajustées pour l'âge, le niveau et la sévérité lésionnels.¹⁰⁷ Bien que l'ampleur de la récupération fonctionnelle semble plus importante pour les patients ayant subi une LMT après leur réadaptation fonctionnelle intensive,¹⁰⁸ au congé de la dite réadaptation fonctionnelle intensive il n'y a pas de différence significative quant au nombre de patients qui peuvent marcher à l'intérieur sur une courte distance entre une cohorte

de patients ayant subi une LMT et ceux ayant subi une LMNT.¹⁰⁹ Plus spécifiquement, au congé de la réadaptation fonctionnelle intensive, 50 à 58% des patients ayant subi une LMNT peuvent en moyenne marcher 10 mètres et 15% peuvent marcher sans limitation et sans aide technique.^{110,111}

2.3.4 Outils de suivi de la récupération neurologique et fonctionnelle

Tel que mentionné plus tôt, le suivi de la récupération neurologique se fait principalement grâce à l'évaluation ISNCSCI complétée à différents moments par rapport à la LMT. Cependant, la récupération neurologique ne se traduit pas toujours en récupération fonctionnelle, d'où la nécessité d'autres outils afin de suivre la progression de celle-ci.⁸²

Plusieurs outils existent afin de suivre la récupération fonctionnelle globale et d'autres encore sont plus spécifiques au suivi de la récupération de la marche. Le *Spinal Cord Independence Measure* (SCIM) et la *Functional Independence Measure* (FIM) sont les deux outils qui seront discutés plus en détails puisque ce sont ceux inclus dans les articles d'intérêt et qui ont été choisis lors de l'élaboration de cette recherche. Il convient tout de même de mentionner que d'autres échelles d'évaluation existent et sont couramment utilisées en recherche, et ce, plus particulièrement pour la marche : le Walking Index for Spinal Cord Injury (WISCI), le 10-meters Walking Test (10MWT), le 6-minutes Walking Test (6MWT), le Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI), le Timed Up and Go Test (TUG) et le Spinal Cord Injury Functional Index – ambulation domain (SCI-FI).²² Ils n'ont toutefois pas été retenus lors de l'analyse du sujet de recherche puisqu'ils sont subjectifs, ne considèrent pas les patients qui ne marchent pas ou sont axés seulement sur l'atteinte du critère de marche qu'ils considèrent. L'outil d'évaluation recherché pour répondre à la question de recherche devait pouvoir mesurer le plus objectivement possible la marche lors d'activités de la vie quotidienne, plus particulièrement dans l'environnement spécifique des patients.¹⁰¹ Par exemple, le WISCI ainsi que la vitesse de marche préférée corrélaient bien avec la marche intérieure, mais moins avec la marche extérieure sur une longue distance.¹¹² Ils auraient donc moins bien reflété l'atteinte d'une marche communautaire fonctionnelle.

Le SCIM (version III) est un questionnaire fonctionnel objectif standardisé qui mesure l'autonomie chez les patients ayant subi une lésion médullaire (Annexe B, page 184).¹¹³ Il a été démontré comme reproductible (fiabilité *test-retest* et interévaluateur), valide, spécifique et précis chez les patients atteints de LMT.^{7,100,101,113,114} Il a également été démontré utile dans les programmes de

réadaptation, puisqu'il est sensible au changement pendant cette phase et évalue des domaines fonctionnels reliés à la qualité de vie.^{7,101,113,114} Il réussit à mettre en évidence la récupération fonctionnelle même lorsque la récupération neurologique a atteint un plateau.^{82,101,113} En fait, le SCIM est la seule échelle de mesure objective de récupération fonctionnelle spécifique aux lésions médullaires qui existe et qui évalue la marche ; il peut être utilisé autant en recherche qu'en clinique, puisqu'il a démontré sa pertinence dans ces deux domaines.^{82,113,115} Le SCIM évalue trois domaines fonctionnels : les soins personnels, la respiration et gestion des sphincters et la mobilité.¹¹³ Au total, 19 tâches différentes réparties dans les trois différents domaines sont prises en considération lors de l'évaluation du SCIM. Un pointage est attribué à chaque tâche des différents domaines. Un pointage de 100 est le plus haut pointage qu'il est possible d'avoir et représente le plus haut niveau d'autonomie fonctionnelle, soit une autonomie complète indépendante d'aide physique humaine ou technique dans tous les domaines.¹¹³ Les critères qui seront discutés sont classés dans la section mobilité.

Trois critères du SCIM III évaluent l'ambulation : les critères 12, 13 et 14.¹¹³ Le critère 12 évalue la marche intérieure sur une courte distance (10 mètres). Le critère 13 évalue la marche sur une distance modérée (10 à 100 mètres). Le critère 14 évalue la marche extérieure sur une longue distance (plus de 100 mètres). Une échelle de pointage ordinaire de 0 à 8 a été déterminée afin d'évaluer le degré d'autonomie qu'un patient possède en vue d'atteindre un de ses objectifs fonctionnels spécifiques. Cette échelle de pointage est la même pour les trois critères. Le pointage 0 signifie que le patient nécessite une assistance complète externe. Le pointage 1 signifie que le patient peut atteindre cet objectif à l'aide d'un fauteuil roulant électrique ou avec de l'aide externe pour manœuvrer son fauteuil roulant manuel. Le pointage 2 signifie que le patient peut atteindre cet objectif de manière indépendante dans son fauteuil roulant manuel. Le pointage 3 signifie que le patient nécessite une supervision externe lorsqu'il marche, peu importe s'il utilise des aides techniques ou non et leur quantité. Le pointage 4 signifie que le patient peut marcher avec un patron de type *swing* et avec une marchette ou des béquilles. Le pointage 5 signifie que le patient peut marcher avec un patron réciproque et avec deux béquilles ou deux cannes. Le pointage 6 signifie que le patient peut marcher avec une canne, peu importe son patron de marche. Le pointage 7 signifie que le patient a seulement besoin d'orthèses aux membres inférieurs pour marcher et ne nécessite pas d'aide technique supplémentaire. Le pointage 8 signifie que le patient peut marcher sans aide technique et orthèses aux membres inférieurs.¹¹³

Comme mentionné antérieurement, la relation entre la marche et une meilleure qualité de vie est très significative. Il est donc essentiel que l'outil mesurant la marche fonctionnelle soit témoin de cette relation. La qualité de vie reliée à la santé peut être étudiée selon ses composantes physique et psychologique. Le pointage total au SCIM a été démontré comme positivement corrélé à la qualité de vie, plus particulièrement selon sa composante physique, reflétant le lien entre l'indépendance fonctionnelle et la qualité de vie.^{7,116,117} *Richard-Denis et al.*⁷⁸ ont démontré l'association significative et exclusive entre la section de la mobilité du SCIM et tous les domaines de la qualité de vie. Plus particulièrement, ils ont démontré qu'un pointage plus haut dans la section de la mobilité du SCIM était associé à des pointages supérieurs de qualité de vie selon les composantes physique et psychologique. *Goulet et al.*⁷ ont pour leur part étudié le lien entre les différents critères du SCIM, dont ceux spécifiques à l'ambulation et à la qualité de vie, en se référant au *Short Form 36 (SF-36)*. Leur étude a démontré que la qualité de vie selon sa composante physique était corrélée positivement de façon modérée à la section de la mobilité du SCIM. Encore plus précisément, lorsqu'ils ont étudié chaque critère individuellement, les critères 12, 13 et 14 étaient plus particulièrement corrélés à la qualité de vie selon sa composante physique. Lorsque comparés entre eux, le critère 14 était légèrement plus corrélé à la qualité de vie que le critère 12, et ce de façon significative. Ces deux critères étaient néanmoins plus significativement corrélés à la qualité de vie que le critère 13. La relation entre les critères d'évaluation choisis et leur lien avec la qualité de vie est donc bien établie dans la littérature.

Quant à lui, le questionnaire de la FIM est un outil standardisé utilisé pour mesurer un handicap dans les activités de la vie quotidienne et basé sur le niveau d'indépendance fonctionnelle d'un patient.¹⁴ La FIM n'a pas été conçue et n'est pas spécifique aux patients ayant subi une lésion médullaire.^{82,115} En réalité, elle est utilisée dans plusieurs domaines de réadaptation, par exemple lors des soins aux patients ayant subi un accident vasculaire cérébral (AVC), un traumatisme cranio-cérébral (TCC) ou atteints de sclérose en plaques.⁸² Elle mesure le niveau d'autonomie selon 18 critères inclus dans six domaines fonctionnels.¹⁴ Certains critères ne sont pas pertinents pour les patients ayant subi une lésion médullaire, dont par exemple ceux sur la communication ou les fonctions cognitives.⁸² La portion ambulation de la FIM est représentée par un des 18 critères qui est noté sur une échelle ordinale de 1 à 7.¹¹⁸ Ce critère mesure la capacité du patient à se déplacer entre 15 et 45 mètres en utilisant un fauteuil roulant ou la marche.¹¹⁸ Classiquement, un patient avec un niveau d'ambulation jugé indépendant aura un pointage de 6 (indépendance modifiée) ou

7 (indépendance complète).¹⁴ Un patient jugé dépendant aura pour sa part un pointage entre 1 et 5 (pointage accordé selon son niveau de dépendance).¹⁴ La FIM est toutefois moins performante et moins sensible aux changements chez les patients avec une lésion médullaire pour plusieurs autres critères, notamment la respiration et la gestion des sphincters ainsi que la mobilité intérieure et extérieure.^{66,82,100,113,115,119} Elle est également peu sensible à la récupération de la marche comparativement à d'autres outils de mesure tels que le WISCI.⁸² De plus, la FIM ne prend pas en considération la différence entre marcher avec une marchette, de multiples aides techniques ou une canne simple alors que l'impact de cette différence est extrêmement important cliniquement.¹³ Prise dans son ensemble, la FIM est également peu sensible aux changements fonctionnels chez les patients avec lésion médullaire.^{66,82,100} Le SCIM est en comparaison beaucoup plus sensible à ces changements. Le SCIM a donc été démontré comme un outil supérieur sur plusieurs points par rapport à la FIM qui ne reflète pas la récupération fonctionnelle, mais plutôt le fardeau des soins.^{66,82}

Le SCIM et la FIM ont été comparés à de multiples reprises dans la littérature.^{113,119-123} Les deux échelles ont été notées comme étant hautement corrélées.^{113,119-123} Toutefois, tel que mentionné précédemment, le SCIM a été noté à de nombreuses reprises comme plus sensible aux changements dans une population de patients ayant subi une lésion médullaire.^{78,100,122,123} Par contre, peu d'études ont comparé le SCIM avec différentes autres méthodes d'évaluation de la marche chez les patients ayant subi une lésion médullaire. En fait, il n'existe pas d'étalon-or pour évaluer l'ambulation chez une telle population de patients.¹²⁴ Cette situation peut possiblement être expliquée par l'utilisation plus courante de la FIM, ce qui amène les chercheurs à procéder à des études comparatives par rapport à cet outil d'évaluation. Cependant, une étude chez les patients ayant subi une lésion médullaire a comparé les tests 10MWT, 6MWT, TUG, WISCI et SCIM afin d'évaluer leur validité convergente un an après le traumatisme. Elle a conclu que tous ces tests sauf le TUG corrélaient bien à d'autres tests préalablement validés, soit la FIM dans le cas présent.¹²⁵ Cette étude a cependant trouvé que le SCIM, le WISCI et le 10MWT avaient une meilleure validité convergente.¹²⁵ Une deuxième étude a également évalué que la validité convergente était excellente entre le WISCI et le SCIM.¹²⁶ Cette étude rapporte aussi que le WISCI serait encore plus sensible au changement que le SCIM malgré ses autres faiblesses par rapport à l'objectif de ce mémoire.¹²⁶ Dans ce contexte, afin d'obtenir une meilleure compréhension du choix final de l'outil d'évaluation pour la marche communautaire fonctionnelle, le tableau 3 des pages 61 à 64 a été composé à partir

de différents articles. Le lien entre les différents outils et la qualité de vie n'a pas été inclus dans le tableau puisqu'il n'existe pas de littérature qui en fait mention chez les patients ayant subi une lésion médullaire, sauf tel que mentionné antérieurement pour le SCIM.

TABLEAU 3. COMPARAISON ENTRE DIFFÉRENTS OUTILS D'ÉVALUATION PARTICULIÈREMENT UTILISÉS POUR ÉVALUER LA MARCHE CHEZ LES PATIENTS AYANT SUBI UNE LÉSION MÉDULLAIRE

	Objectif de mesure²²	Avantages	Désavantages	Lien avec la marche communautaire	Reproductibilité
SCIM	Évalue la capacité d'un patient à performer des activités de la vie quotidienne avec une valeur différente pour chaque critère selon la pertinence clinique	Évaluateur peut observer le patient dans sa vie quotidienne pour noter les différents critères ²² Développé pour une population de patients avec lésion médullaire ^{82,113,115} Permet d'évaluer une population hétérogène en termes de mobilité ¹¹³	A peu été comparé aux autres outils d'évaluation de l'ambulation Long à administrer lorsque tous les critères sont évalués	Critère 14 est une représentation fidèle de la marche communautaire puisqu'évalué à l'extérieur sur une distance de plus de 100 mètres ¹²⁴	Bonne à excellente fiabilité inter-évaluateur ^{120,121,124}
FIM	Évalue la lourdeur des soins selon le mode primaire d'ambulation (fauteuil roulant ou marche)	Mesure un handicap dans les activités de la vie quotidienne ¹⁴ Basé sur le niveau d'indépendance fonctionnelle du patient ¹⁴	Pas spécifique aux patients ayant subi une lésion médullaire ^{82,115} Peu sensible au changement (dont à la récupération de la marche) ^{66,82,100} Effet plafond pour les patients paraplégiques dès	Prend en considération certaines contraintes environnementales	Fiabilité test-retest et interévaluateur substantielle ¹²⁴

			leur congé de réadaptation ¹²⁴		
WISCI	Capacité de marche caractérisée par un niveau entre 0 et 20 qui est basé sur une distance de marche et l'utilisation d'aides techniques et d'assistance physique	Évalue de manière plus complète la fonction d'ambulation en considérant plus de catégories différentes en ce qui a trait aux aides techniques utilisées et l'assistance physique nécessaire ¹²⁴ Permet des mesures plus précises et spécifiques de la marche ¹²⁴	Ne peut être appliqué à des patients dont la mobilité se fait en fauteuil roulant ²² Effet plafond pour les patients ambulatoires à plus d'un an de leur traumatisme et effet plancher pour les patients au congé de réadaptation ¹²⁴	Corrèle bien avec la marche intérieure (évaluation sur 10 mètres), mais moins avec la marche extérieure; n'est pas un bon reflet de la marche communautaire ¹²⁴	Bonne fiabilité interévaluateur ¹²⁴
10MWT	Mesure le temps requis pour marcher 10 mètres à une vitesse choisie par le patient	Objectif, mesure de performance Outil recommandé pour évaluer l'ambulation en terme de temps chez les patients ayant subi une LM ¹²⁴ Vitesse de marche choisie corrèle bien avec le niveau de marche des patients ¹²⁷ Permet des mesures plus précises et spécifiques de la marche ¹²⁴	Ne peut être appliqué à des patients dont la mobilité se fait en fauteuil roulant ²² Ne mesure pas la qualité de la marche ¹²⁴	Ne représente pas la marche communautaire: ne mesure pas la marche sur des terrains inégaux, avec des obstacles, des pentes, des courbes, etc. ¹²⁴	Excellente fiabilité test-retest et interévaluateur ¹²⁴
6MWT	Mesure la distance	Objectif, mesure d'endurance ²²	Ne peut être appliqué à des patients dont la	Ne représente pas la marche	Excellente fiabilité test-retest

	parcourue sur une surface dure de même niveau en six minutes	Permet des mesures plus précises et spécifiques de la marche ¹²⁴	mobilité est en fauteuil roulant ²² Ne mesure pas la qualité de la marche ¹²⁴	communautaire: ne mesure pas la marche sur des terrains inégaux, avec des obstacles, des pentes, des courbes, etc. ¹²⁴	et interévaluateur ¹²⁴
SCI-FAI	Mesure de la performance de la marche auto-rapportée chez les patients avec capacité d'ambulation indépendante	Prend en considération la qualité de la marche ¹²⁴	Subjectif, questionnaire auto-rapporté ²² Ne peut être appliqué à des patients dont la mobilité se fait en fauteuil roulant ²²	Se rapporte à la marche domestique et communautaire ¹²⁸	Bonne fiabilité test-retest et fiabilité interévaluateur modérée à bonne ¹²⁹
TUG	Mesure d'une performance de la marche ainsi que de quelques aspects des transferts et de l'équilibre (se lever d'une chaise, marcher trois mètres, faire un demi-tour, marcher trois mètres à nouveau, s'asseoir)	Objectif ²² Mesure d'autres capacités que la marche, c'est-à-dire les transferts, les demi-tours et la capacité de se lever et de s'asseoir ²²	Ne peut être appliqué à des patients dont la mobilité se fait en fauteuil roulant ²² Ne mesure pas la qualité de la marche ¹²⁴	Ne représente pas la marche communautaire: ne mesure pas la marche sur des terrains inégaux, avec des obstacles, des pentes, des courbes, etc.	Excellente fiabilité test-retest et interévaluateur ¹²⁴
SCI-FI	Consiste en une banque d'éléments classés selon la capacité de marcher (varie selon la vitesse, la surface et d'autres conditions)	Évalue plusieurs éléments en lien avec la fonction motrice en profondeur ¹³⁰ Incorpore la perspective du patient ¹³¹	Subjectif, questionnaire auto-rapporté ²² Mobilité en fauteuil roulant évaluée dans un autre élément que celui qui évalue la marche ^{130,131}	Prend en considération la méthode d'ambulation du patient dans son quotidien ¹³²	Excellente fiabilité test-retest ¹³³

Mesure les conséquences fonctionnelles d'une LM ¹³²	Détecte seulement une différence de changement modérée pour la fonction de la marche ¹³⁰
---	---

SCIM Spinal Cord Independence Measure; FIM Functional Independence Measure, locomotion item; WISCI Walking Index for Spinal Cord Injury; 10MWT 10-meters Walking Test; 6MWT 6-minutes Walking Test; SCI-FAI Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory; TUG Timed Up and Go Test; SCI-FI Spinal Cord Injury Functional Index – ambulation domain; AVQ Activités de la vie quotidienne; LM Lésion médullaire

2.4 Règles de prédiction clinique de la marche chez les patients avec lésion médullaire traumatique et leurs lacunes

2.4.1 Présentation de l'étude de *Van Middendorp et al.*¹⁸ et de ses lacunes

*Van Middendorp et al.*¹⁸ ont publié en 2011 dans *The Lancet* la première règle de prédiction clinique pour la marche indépendante à un an après une LMT. Cette équipe de recherche a développé une règle qui peut être utilisée avec des données collectées pendant la phase aiguë suivant une LMT (moins de 15 jours après le traumatisme) et qui permet de prédire la capacité de marcher indépendamment après une LMT de manière précise et simple. Leur cohorte de 492 patients provenait de multiples centres européens et les données des patients avaient été collectées de juillet 2001 à juin 2008. La validation de cette règle a été réalisée grâce à une validation temporelle sur un second groupe de 99 patients de juillet 2008 à décembre 2009.

Cette règle de prédiction clinique permet de distinguer les marcheurs indépendants des non-marcheurs et des marcheurs dépendants sur une courte distance intérieure à un an après une LMT. L'outil d'évaluation SCIM III (critère 12) a été utilisé et son score a été scindé en deux pour arriver à faire cette distinction. Les marcheurs indépendants correspondaient à des patients qui pouvaient marcher moins de 10 mètres de l'une des façons suivantes (pointage de 4 à 8 au critère 12 du SCIM) : avec un cadre de marche ou des béquilles en utilisant un patron de marche de type *swing* ; avec deux béquilles ou deux cannes en utilisant un patron de marche réciproque ; avec une seule canne ; avec seulement des orthèses aux membres inférieurs ; ou sans aucune aide technique. Les non-marcheurs ou marcheurs dépendants correspondaient à des patients qui nécessitaient une assistance totale pour se déplacer, qui pouvaient se déplacer en fauteuil roulant électrique, qui pouvaient se déplacer seul ou avec une certaine aide en fauteuil roulant manuel ou qui nécessitaient une supervision externe pour marcher peu importe le nombre et le type d'aides à la marche nécessaires (pointage de 0 à 3 au critère 12 du SCIM).

Cette règle a été obtenue grâce à un modèle de régression logistique multifactorielle. Initialement, l'âge (moins de 65 ans ou 65 ans et plus), les scores moteurs aux membres inférieurs, les scores de sensibilité au toucher léger aux membres inférieurs et les scores d'épargne sacrée (contraction anale volontaire et sensation anale) ont été inclus dans le modèle de prédiction. La règle finale s'est basée

sur l'âge (moins de 65 ans ou 65 ans et plus), le score moteur du quadriceps (L3), le score moteur du triceps sural (gastrocnémiens et soléaire, S1) et le score de sensibilité au toucher léger des dermatomes L3 et S1. Afin de pouvoir calculer la probabilité de marcher à un an suite à une LMT avec cette règle de prédiction, il faut d'abord calculer le score pour chacune des variables selon leur poids statistique respectif (Tableau 4, page 66). Par la suite, la probabilité de marcher selon cette règle de prédiction est calculée selon l'équation suivante « $e^{-3.273+0.267 \times \text{score}} / 1 + e^{-3.279+0.267 \times \text{score}}$ »¹⁸ ou avec l'aide du graphique publié dans leur article (Figure 9, page 67).

	Range of test scores	Weighted coefficient	Minimum score	Maximum score
Age ≥65 years	0-1	-10	-10	0
Motor score L3	0-5	2	0	10
Motor score S1	0-5	2	0	10
Light touch score L3	0-2	5	0	10
Light touch score S1	0-2	5	0	10
Total			-10	40

Only the best score of each motor score or light touch score (ie, right or left) should be applied for the prediction rule (see Methods).

Table 2: Clinical prediction rule variables

TABLEAU 4. VARIABLES DE PRÉDICTION CLINIQUE ET LEUR PONDÉRATION À UTILISER DANS L'ÉQUATION DE PRÉDICTION (TIRÉ DE VAN MIDDENDORP ET AL., A CLINICAL PREDICTION RULE FOR AMBULATION OUTCOMES AFTER TRAUMATIC SPINAL CORD INJURY: A LONGITUDINAL COHORT STUDY)¹⁸

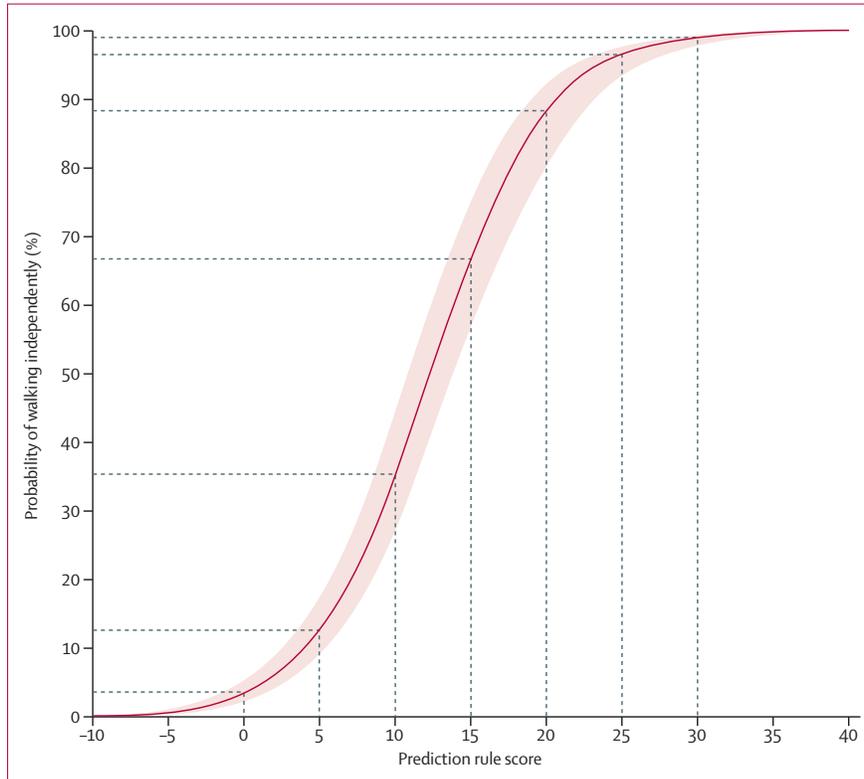


Figure 2: Probability of walking independently 1 year after injury based on the prediction rule score
 The shaded area around the curve is the 95% CI of the prediction rule based on the regression model. The dotted lines are a visual aid to determine the probability of walking independently.

Figure 9. Probabilité de marcher à un an suivant une LMT selon le résultat total obtenu des différentes variables de prédiction (Tiré de *Van Middendorp et al., A clinical prediction rule for ambulation outcomes after traumatic spinal cord injury: a longitudinal cohort study*)¹⁸

Cette règle de prédiction permet de calculer la probabilité de marcher à un an après une LMT sur une courte distance intérieure (moins de 10 mètres). Elle a une excellente capacité de discrimination et est précise statistiquement (*Area under the ROC (Receiver Operating Characteristic) Curve* (AUC) .956, intervalle de confiance (IC) à 95% .936–.976, $p < 0.0001$). Cette règle de prédiction permet également de calculer une probabilité clinique de marcher plus précise que les valeurs prédictives du système de grades AIS (AUC .898, .867–.928, $p < 0.0001$). Cette étude confirme également grâce à des analyses de corrélation que ni le niveau lésionnel ni le délai pour compléter l'évaluation initiale ISNCSCI à l'intérieur des 15 premiers jours après le traumatisme n'ajoute une valeur supplémentaire à la prédiction de la marche indépendante.

Il demeure que cette règle est peu utilisée de routine en clinique actuellement afin de prédire quel patient pourra marcher après un an suite à une LMT. Une des principales lacunes qui limite

l'utilisation de cette règle est le choix du critère de marche indépendante intérieure sur 10 mètres. Entre autres, ce type de marche ne permet pas d'accomplir de nombreuses activités de la vie quotidienne ou domestique^{9,52} et correspond donc moins à un objectif fonctionnel prioritaire pour les patients ayant subi une LMT après un an.⁷⁷ Deux limitations principales à l'utilisation de cette règle en clinique sont ainsi en lien avec le choix de l'objectif fonctionnel de l'étude, soit le faible niveau d'autonomie associé au niveau d'indépendance choisi et la distance parcourue.

D'abord, la première limitation à l'utilisation de cette règle de prédiction dans la pratique clinique concerne la très courte distance parcourue de 10 mètres. Cette distance, bien qu'elle puisse être utilisée occasionnellement à l'intérieur d'un domicile, est rarement suffisante pour accomplir des activités telles que les activités de la vie quotidienne ou domestique.^{9,52} Afin d'amoindrir cette faiblesse de leur étude, les auteurs ont fait des analyses de corrélation avec les critères 13 (marche de 10 à 100 mètres) et 14 (marche extérieure de 100 mètres et plus) du SCIM III. Les coefficients de corrélation élevés et statistiquement significatifs obtenus ($\kappa=0.962$, $p<0.0001$; et $\kappa=0.862$, $p<0.0001$ respectivement) amènent les auteurs à conclure que leur règle de prédiction pourrait être transférable à une marche sur une plus longue distance ou à l'extérieur. Cependant, un doute demeure par rapport à cette conclusion puisque les auteurs ont préféré utiliser le critère 12 du SCIM pour calculer leur règle de prédiction alors qu'il semble qu'ils avaient accès aux critères 13 et 14. De plus, tel que mentionné antérieurement, une marche sur une plus longue distance à l'extérieur a plusieurs bénéfices supplémentaires et a une meilleure corrélation à la qualité de vie que la marche sur courte distance à l'intérieur.^{7,53}

La seconde limitation à l'utilisation de cette règle de prédiction dans la pratique clinique concerne le faible niveau d'autonomie associé au type de marche indépendante choisi (pointage de 0 à 3 par opposition à 4 à 8 au critère 12 du SCIM). L'étude ne prend pas en considération certaines caractéristiques de la qualité de la marche, notamment la vitesse de celle-ci ou la dépense énergétique qui y est reliée. Les patrons de marche de type *swing* et de marche réciproque ainsi que l'utilisation d'aides techniques de différents niveaux fonctionnels entraînent une dépense énergétique beaucoup plus élevée et une diminution de la vitesse de marche associée à leur utilisation.^{9,52,55,134} Marcher lentement ou avec une dépense énergétique élevée comme cela peut être le cas lors d'une LMT avec le niveau d'indépendance proposé limite fonctionnellement la marche et rend beaucoup moins probable l'utilisation de la marche lors d'activités de la vie

domestique et dans la vie communautaire.^{5,53} De plus, afin d'utiliser la plupart de ces patrons de marche, les deux membres supérieurs doivent être utilisés pour le maniement des aides techniques, ce qui les rend indisponibles pour transporter des objets et donc remplir des activités en lien avec la vie quotidienne, domestique ou communautaire comme aller acheter ses médicaments à la pharmacie par exemple.⁵² Tel que mentionné antérieurement, les éléments de la marche ayant comme répercussion globale une plus grande difficulté dans son exécution font que les patients trouvent plus d'inconvénients que de bénéfices à marcher et préfère plutôt se déplacer en fauteuil roulant.⁵³

En plus de ces deux limitations majeures, d'autres limitations qui restreignent de manière relative l'utilisation de cette règle de prédiction clinique peuvent être discutées. Tout d'abord, certaines variables de prédiction utilisées semblent choisies sur la base de leur signification statistique seulement. En effet, la force de plantiflexion de la cheville représentant le myotome S1 (triceps sural) est une variable de prédiction significative, mais en réalité, un déficit de ce mouvement peut être compensé par une orthèse tibiale standard, bien que ces orthèses soient plus communément utilisées pour compenser un déficit des muscles dorsifléchisseurs de la cheville.¹ Il est également étonnant que la sensibilité au toucher léger du dermatome L3 apporte une information de prédiction significative, puisqu'elle représente la sensibilité à la face antérolatérale du genou.²⁴ La seule information supplémentaire qu'elle pourrait possiblement ajouter est la position de l'articulation dans l'espace, mais cela n'a pas été vérifié en clinique.

Également, il est légitime de se questionner sur l'utilisation d'une variable dichotomique plutôt que discrète par rapport à l'âge dans cette règle de prédiction. Tel que mentionné précédemment, il est reconnu dans la littérature que l'âge est associé à plus de comorbidités et de complications,^{11,41,52,57-59} que le vieillissement a un impact sur la marche^{39,52} et que les caractéristiques de la LMT changent chez les patients plus âgés.^{57,58} Cependant, il existe toujours un flou dans la littérature sur l'âge auquel les patients avec LMT devraient être considérés comme plus âgés par rapport à une récupération motrice moindre et une récupération fonctionnelle de la marche différente.⁵⁹ Il aurait donc été intéressant de d'abord valider l'effet de l'âge comme variable continue et dichotomique (moins de 65 ans versus 65 ans et plus) avant de conclure à un effet sur la marche fonctionnelle. Procéder à cette comparaison dans de futures études permettrait d'être comparable à d'autres études portant sur des règles de prédiction clinique dans le domaine des LMT ayant déjà été publié.

De plus, les critères d'inclusion et d'exclusion de l'étude sont questionnables et il serait possible que bien que leur cohorte soit semblable à d'autres cohortes de patients ayant subi une LMT, leurs résultats ne soient pas généralisables à toutes les populations. En effet, leurs critères d'inclusion ont certainement pu influencer leurs résultats puisque les patients avec des lésions du conus et de la queue de cheval ont été inclus dans leurs données. Entre autres, les lésions du conus ont habituellement très peu de déficits moteur et sensitif au niveau des membres inférieurs et par conséquent, la capacité de marcher est généralement peu atteinte.² Pour leur part, les lésions de la queue de cheval sont extrêmement asymétriques et l'étendue des déficits dépend des racines touchées.² Ainsi, leur pronostic neurologique et fonctionnel est favorable et assurément supérieur aux lésions à la moelle.² Par ailleurs, leurs critères d'exclusion contenaient des conditions associées à des polyneuropathies, dont le diabète, sans cependant vérifier si les patients exclus étaient bel et bien atteints de polyneuropathie. Bien qu'il ne soit pas souhaitable d'inclure des patients avec des déficits neurologiques antérieurs, exclure tous les patients à risque de polyneuropathie sans confirmer le déficit neurologique limite la généralisabilité des résultats. Dans ce contexte, il est possible que globalement, leur cohorte de patients eût moins de comorbidités et fut donc moins malade initialement (CCI non évalué¹²).

Finalement, tel que mentionné dans les sections précédentes, aucune méthode d'interprétation lors de l'évaluation ISNCSCI n'a encore été démontrée comme supérieure pour prédire la marche.^{46,135} Il aurait d'abord été intéressant de confirmer que les valeurs de prédiction potentielles utilisées (dermatomes et myotomes) étaient les plus associées à la marche. L'utilisation des données brutes des myotomes évaluées lors de l'ISNCSCI peut être justifiée par les valeurs prédictives singulières propres à chaque myotome et reliées à l'ambulation, tel que mentionné antérieurement. L'utilisation des données brutes de l'évaluation de la sensibilité au toucher léger des dermatomes lors de l'évaluation ISNCSCI semble être plutôt justifiée par le moindre taux d'erreur lors de l'évaluation.^{115,136,137} Par contre, un doute demeure par rapport à ce choix, puisque la relation avoisinante entre les faisceaux corticospinal et spinothalamique^{16,37,41,44,88} ainsi que la meilleure aire sous la courbe lorsque la sensibilité à la piqûre du dermatome L5 était ajoutée au modèle global obtenue par *Van Middendorp et al.*¹⁸ eux-mêmes (AUC 0.959 vs 0.956, p=0.017) laissent croire que la sensibilité à la piqûre pourrait être plus associée à la marche que la sensibilité au toucher léger.

2.4.2 Présentation de l'étude de *Hicks et al.* et de ses lacunes

*Hicks et al.*¹⁴ ont publié en 2017 dans *The Spine Journal* une validation canadienne de la règle de prédiction clinique de *Van Middendorp et al.*¹⁸ discutée précédemment ainsi qu'une règle simplifiée de prédiction clinique de la marche un an suivant une LMT. Leur cohorte de 278 patients a été recrutée dans de multiples centres pancanadiens. Ces patients avaient subi une LMT entre 2004 et 2014. Ils étaient inclus dans l'étude à la suite d'une évaluation neurologique dans les 15 premiers jours après leur traumatisme et lorsqu'ils avaient un suivi 12 mois ou plus après leur traumatisme avec l'échelle de la FIM afin de déterminer, entre autres, leur capacité de marche.

La validation externe de la règle de prédiction de *Van Middendorp et al.*¹⁸ sur une cohorte canadienne a permis de corroborer que cette règle avait une très bonne capacité discriminatoire et était précise statistiquement. Appliquer la règle de *Van Middendorp et al.*¹⁸ sur cette cohorte canadienne a permis d'obtenir un AUC de 0.889, avec un IC 95% de 0.846–0.933 ($p < 0.001$), alors que la précision de classification globale était de 85%, la sensibilité de 79% et la spécificité de 90%.

La simplification de la règle initiale de *Van Middendorp et al.*¹⁸ avait pour objectif d'optimiser le modèle de prédiction initial afin de simplifier l'examen neurologique nécessaire en aigu pour adresser le pronostic de marche des patients avec LMT. Cette simplification a pu être réussie puisque les scores moteurs des myotomes L3 et S1 et les scores sensitifs au toucher léger des dermatomes L3 et S1 étaient hautement corrélés (0.901 et 0.868 respectivement). Cet article a donc mis en évidence qu'il semblait y avoir une redondance d'informations dans la règle de prédiction initiale de *Van Middendorp et al.*¹⁸ La règle finale de *Hicks et al.*¹⁴ s'est donc basée sur l'âge (moins de 65 ans ou 65 ans et plus), le score moteur du quadriceps (L3) et le score de sensibilité au toucher léger du dermatome S1. Afin de pouvoir calculer la probabilité de marcher à un an après une LMT avec cette règle, il faut calculer le score pour chacune des variables selon leur poids statistique respectif de la même manière que dans l'étude de *Van Middendorp et al.*¹⁸ puis calculer la probabilité de marcher selon l'équation suivante « $e^{-1.425+0.211 \times \text{score}} / 1 + e^{-1.425+0.211 \times \text{score}}$ ». ¹⁴

Bien entendu, plusieurs limitations discutées en lien avec l'étude de *Van Middendorp et al.*¹⁸ s'appliquent également à cette étude, telles que la courte distance parcourue (dans cette étude entre

15 et 45 mètres), l'utilisation de la variable de l'âge sous forme dichotomique au lieu de la forme discrète (moins de 65 ans ou 65 ans et plus) et l'utilisation des données brutes de l'ISNCSCI.

Aussi, la règle de prédiction proposée dans cet article a malheureusement une moins bonne capacité de discrimination (précision de classification globale de 84%, sensibilité de 76% et spécificité de 90%) et est moins précise statistiquement (AUC 0.866, IC 95% 0.816–0.916, $p < 0.01$). De plus, l'intervalle de confiance de l'AUC de cette règle ne recoupe pas celui de la règle de *Van Middendorp et al.*¹⁸

Également, l'utilisation de la FIM afin de prédire la marche indépendante à un an suivant une LMT rend moins admissibles et fiables les résultats de cette étude, puisque cette échelle n'est pas spécifique aux patients avec lésion médullaire et est moins sensible au changement de leur condition, particulièrement pour les éléments qui concernent l'ambulation.¹²² L'échelle d'évaluation de la FIM devrait être utilisée dans des situations qui évaluent le fardeau de soins plutôt que dans des études qui évaluent le pronostic ou un résultat fonctionnel comme la marche.² En effet, l'analyse du critère d'ambulation noté sur une échelle de 7 points révèle que seulement les patients avec un pointage de 6 ou 7 sont des marcheurs (indépendance modifiée avec aide technique, indépendance complète en temps opportun et en toute sécurité) alors que les patients avec un pointage de 1 à 5 sont des non-marcheurs ou des marcheurs dépendants (assistance totale, assistance maximale, assistance modérée, assistance minimale, supervision).¹³⁸ La performance d'une règle de prédiction dépend de la qualité des données sous-jacentes.¹³⁹ Utiliser des données peu précises ou avec un effet plafond important pourrait diminuer la performance de précision de la règle.¹³⁹ L'échelle de la FIM n'est donc pas adaptée pour évaluer correctement la marche indépendante. De plus, elle attribue encore moins d'importance à la qualité de la marche, alors que tous les patients marcheurs se retrouveront avec très peu de discrimination dans les deux mêmes dernières catégories de pointage.

2.4.3 Présentation de l'étude de *Phan et al.* et de ses lacunes

*Phan et al.*¹⁷ ont publié en 2018 dans *The Spine Journal* une étude comparant la précision et la capacité de discrimination selon les grades AIS des règles de prédiction clinique appliquées à la marche un an après une LMT. Cette étude a été réalisée sur 675 patients ayant subi une LMT entre 2004 et 2016 dans de multiples centres pancanadiens. Elle avait comme objectif de répondre au

questionnement par rapport à la présence d'un biais d'échantillonnage soulevé dans l'étude de *Hicks et al.*¹⁴ qui mentionnait que la précision des règles de prédiction pouvait être en lien avec le nombre fort important de patients ayant subi une LMT de grades AIS A ou D dans les cohortes.

Dans cette étude, les règles de prédiction clinique déjà existantes de *Van Middendorp et al.*¹⁸ et de *Hicks et al.*¹⁴ sont appliquées en regroupant les patients selon leur grade AIS initial et selon la facilité déjà prédéfinie de prédire leur statut d'ambulation (reliée au grade AIS initial) un an après une LMT. En effet, tel que mentionné antérieurement, le potentiel de marche des patients avec un grade AIS A est pauvre, celui des patients avec un grade AIS D est très favorable, et celui des patients avec un grade AIS B ou C est beaucoup plus difficile à déterminer.^{37,41,47} Cette étude a donc d'abord appliqué les deux règles de prédiction de la marche déjà discutées à chaque grade AIS individuellement, puis a regroupé les patients avec un potentiel de marche plus facile à établir (grades AIS A et D) et ceux avec un potentiel de marche plus incertain (grades AIS B et C). Elle a par la suite comparé la précision et la capacité discriminatoire des deux règles selon toutes ces catégories. Le tableau de résultats de ces comparaisons ci-joint est tiré de l'article original de *Phan et al.*¹⁷ (Tableau 5, page 73).

TABLEAU 5. COMPARAISON DE LA CAPACITÉ DE DISCRIMINATION ET DE LA PRÉCISION DES RÈGLES DE PRÉDICTION CLINIQUE DE LA MARCHÉ SELON LES GRADES AIS INDIVIDUELS OU REGROUPÉS (TIRÉ DE *PHAN ET AL.*, HIGHLIGHTING DISCREPANCIES IN WALKING PREDICTION ACCURACY FOR PATIENTS WITH TRAUMATIC SPINAL CORD INJURY: AN EVALUATION OF VALIDATED PREDICTION MODELS USING A CANADIAN MULTICENTER SPINAL CORD INJURY REGISTRY)¹⁷

Predictive accuracy of the van Middendorp and Hicks logistic regression models for individual AIS classifications and AIS A+D and B+C subgroups

AIS class	Model	OCA (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)	AUC (95% CI)
AIS A (n=210)	van Middendorp	91.49	37.23	98.55	0.730 (0.622–0.838)
	Hicks	91.10	33.80	98.57	0.730 (0.621–0.839)
AIS B (n=51)	van Middendorp	71.52	37.13	90.29	0.691 (0.533–0.849)
	Hicks	72.70	38.22	90.84	0.714 (0.565–0.863)
AIS C (n=109)	van Middendorp	78.52	88.62	48.24	0.850 (0.771–0.928)
	Hicks	80.51	89.84	52.90	0.840 (0.747–0.933)
AIS D (n=305)	van Middendorp	97.38	100	0	0.516 (0.320–0.711)
	Hicks	97.38	100	0	0.519 (0.307–0.731)
A+D (n=515)	van Middendorp	94.56	95.02	93.80	0.954 (0.933–0.975)
	Hicks	92.68	92.04	93.78	0.950 (0.928–0.971)
B+C (n=160)	van Middendorp	73.70	82.89	58.64	0.833 (0.771–0.895)
	Hicks	74.28	81.99	61.73	0.821 (0.754–0.887)

OCA, overall classification accuracy; AUC, area under the receiver operating characteristics curve; CI, confidence interval.

Les résultats de cette étude démontrent que lorsque analysé séparément par rapport au grade AIS des patients, l'AUC des règles de prédiction des deux auteurs présentés précédemment performe moins bien que lorsqu'appliqué globalement à tous les patients. Bien que ces deux règles soient précises et aient une bonne capacité de discrimination globale, elles n'ont pas été construites pour des sous-groupes particuliers de patients ayant souffert d'une LMT. Au contraire de l'hypothèse initiale de *Phan et al.*,¹⁷ l'AUC pour les deux règles de prédiction analysées séparément par grade AIS est excellent pour prédire la marche à un an des patients ayant une LMT de grade C, acceptable pour prédire la marche des patients ayant une LMT de grade A ou B, et n'est pas en mesure de discriminer les patients ayant une LMT de grade D.¹⁴⁰ Lorsque les patients pour lesquels le pronostic de marche est préalablement mieux défini sont regroupés (patients de grades AIS A ou D) et comparés aux patients pour lesquels le pronostic de marche est plus difficile à définir (patients de grades AIS B ou C), la précision des règles de prédiction devient soit exceptionnelle ou excellente toujours de manière statistiquement significative (pour le modèle de *Van Middendorp* : AUC A+D = 0.954, AUC B+C = 0.833, p=0.00038). Cependant, bien que la précision soit moindre pour le groupe de patients de grades AIS B et C, elle demeure très bonne. Les résultats sont semblables pour le modèle de *Hicks*.

Ces résultats pourraient être expliqués par le petit nombre de patients qui se trouvent dans le groupe formé des patients ayant subi une LMT de grade AIS B ou C (N=160) comparativement au groupe de patients ayant subi une LMT de grade AIS A ou D (N=515). Combiner une cohorte de patients ayant subi une LMT sans discrimination par rapport à leur grade rend les études beaucoup plus généralisables à la réalité des cliniciens, mais implique aussi que les patients de grades AIS B et C soient moins représentés lors de l'élaboration de règles de prédiction. En effet, les patients ayant souffert d'une LMT de grade AIS B ou C représentent une moins grande proportion de patients dans les cohortes de patients atteints de LMT.¹⁴¹ De plus, tel que mentionné précédemment, les patients ayant subi une LMT de grade AIS B ou C ont un pronostic plus difficile à établir.^{37,41,47} En effet, ceux-ci ont une évolution ainsi qu'une récupération neurologique et fonctionnelle beaucoup plus variables et imprévisibles.^{2,37,41} Ceci pourrait donc également justifier partiellement une plus grande difficulté à prédire le statut de marcheur à un an de ces patients. De plus, l'effet plafond discuté dans la sous-section précédente est principalement présent chez les patients ayant subi une LMT de grade AIS C, un autre élément pouvant justifier une plus grande difficulté à prédire le pronostic de marche chez ces patients.³⁷

Les auteurs soulèvent également que l'AUC a pu être utilisé de manière erronée afin de calculer la précision de ces règles de prédiction. L'AUC est une synthétisation simplifiée de la valeur prédictive globale de la performance d'un test, calculée grâce à l'aire sous la courbe ROC, qui est construite à partir des variables sensibilité et 1-spécificité.¹⁴⁰ Étant donné que la sensibilité est faible pour le groupe de patients AIS A et que la spécificité est nulle pour le groupe de patients AIS D, cela peut en effet expliquer la diminution de la valeur de l'AUC dans ces deux groupes de patients analysés individuellement. Cependant, bien que l'AUC soit la méthode standard pour évaluer la précision d'un modèle de prédiction, elle ne doit pas être interprétée de manière isolée étant donné qu'entre autres elle calcule le même poids pour les faux négatifs et les faux positifs.^{142,143} En effet, il est aussi important de prendre en considération des mesures de performance telles que la sensibilité et la spécificité, et de manière encore plus importante, la capacité de classification globale (OCA) du test afin que les cliniciens puissent utiliser ces règles comme des aides à la décision clinique dans leur pratique courante.¹⁴² L'OCA moyen pour les deux règles de prédiction pour les patients ayant subi une LMT de grade AIS A est de 91%, pour le grade AIS B de 72%, pour le grade AIS C de 80% et pour le grade AIS D de 94%. Ceci nous indique que sauf pour les grades AIS B, les règles de prédiction existantes classifient les patients dans la bonne catégorie de marcheurs par opposition aux non-marcheurs entre 80 et 94% du temps, ce qui est excellent. Ceci rappelle également qu'une règle de prédiction n'est généralement pas bâtie en fonction d'un seul patient individuellement, mais pour un regroupement de patients afin d'être le plus possible généralisable et transférable à tous les patients ayant subi une LMT.

Cette étude, bien qu'importante pour la réflexion sur le travail fait dans les dernières années et la construction de règles de prédiction clinique, a malgré tout quelques limitations. Une de ces limitations importantes est bien entendu l'utilisation de la FIM afin d'évaluer le statut de marche indépendante à un an après une LMT. Tel que mentionné précédemment, cet outil de mesure n'est pas spécifique aux patients avec lésion médullaire, est peu sensible aux changements concernant les critères d'ambulation chez la population avec LMT, et devrait généralement seulement être utilisé pour évaluer le fardeau de soins associé à un de ses items fonctionnels.^{66,82,100,113,115,119} Avoir utilisé la FIM comme outil d'évaluation de la marche à un an pourrait avoir entraîné une mauvaise catégorisation des patients marcheurs et non marcheurs et rendrait moins précise la capacité de prédiction des règles. De plus, il demeure imprécis dans l'étude quel pointage sur l'échelle de 7 de la FIM pour le critère de mobilisation a été utilisé. Les auteurs parlent d'une capacité de marche

indépendante, ce qui pourrait correspondre aux pointages 6 et 7 tel qu'utilisés dans l'étude de *Hicks et al.*¹⁴, mais aussi au pointage 7 seulement, dans lequel cas plusieurs patients marcheurs auraient pu ne pas être pris en considération, ce qui aurait un impact important sur les résultats et la capacité de prédiction des règles. Cela reflète également encore une fois le peu d'importance accordé à la qualité de la marche en ce qui concerne le patron de marche utilisé, l'utilisation d'aides techniques, la vitesse de marche ou la dépense énergétique associée, et aux objectifs fonctionnels sous-jacents à la possibilité de marcher, même à l'intérieur du domicile sur de courtes distances.

2.4.4 Comparaison des règles de prédiction au jugement clinique

Avec le nombre important de règles de prédiction clinique qui augmente dans le domaine des LMT et l'impact de leurs résultats sur les patients, les cliniciens et le système de santé, il est dorénavant nécessaire de se questionner sur leur valeur ajoutée. Tel que mentionné précédemment, les cliniciens sont confrontés très tôt après le traumatisme au questionnement des patients ayant subi une LMT par rapport à la possibilité de marcher à nouveau.^{8,11} Dans la réalité clinique, le pronostic est parfois difficile à estimer dans la période aiguë du traumatisme en raison des nombreux facteurs influençant la marche. Les règles de prédiction publiées dans la littérature actuelle ont tenté de répondre à ce besoin et d'améliorer la qualité des soins aux patients.^{83,139} Les règles de prédiction clinique ont en effet généralement comme objectif d'améliorer la précision et la constance de la prédiction du diagnostic ou du pronostic des cliniciens en assistant et en étayant le processus de décision clinique de ceux-ci.^{139,144}

Tel qu'aussi mentionné précédemment, les règles de prédiction clinique demeurent sous-utilisées dans la pratique clinique quotidienne. En plus des raisons déjà évoquées, cela peut notamment être expliqué par le fait que ces règles de prédiction ont établi leur précision statistique, mais ont échoué à compléter les phases de développement suivantes dont les phases de validation, d'analyse d'impact et d'implémentation.¹³⁹ La première phase qui suit la construction d'une règle de prédiction est habituellement la phase de validation, incluant la validation interne et externe.^{139,144} Les phases suivantes sont celles de l'analyse d'impact et d'implémentation. La phase d'analyse d'impact sert, par exemple, à estimer le ratio coût-bénéfice, la satisfaction des patients et l'allocation de ressources nécessaires afin de procéder à son utilisation.^{139,144} La phase

d'implémentation s'ensuit lorsqu'une règle de prédiction validée et utile doit être reconnue par la communauté scientifique pour en maximiser l'utilisation.¹⁴⁴

En ce qui a trait au domaine d'intérêt, soit la prédiction de la marche chez les patients ayant subi une LMT, peu de règles de prédiction ont satisfait ces différentes étapes. En effet, seule la phase de validation externe a été réalisée pour l'étude de *Van Middendorp et al.*,¹⁸ mais à plus de trois reprises.^{14,145,146} Toutefois, pour les règles de prédiction en général, le processus de validation demeure de pauvre qualité.^{139,144} En effet, le développement d'une règle de prédiction clinique devrait suivre des standards méthodologiques précis, dont entre autres les standards recommandés du TRIPOD (Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis).^{147,148} L'utilisation de l'outil TRIPOD permet de diminuer le risque de biais et de maximiser les chances que la règle de prédiction accède aux étapes suivantes d'analyse d'impact et d'implémentation.^{139,147,148} Lors d'une étude rétrospective, il a été possible de constater que malgré que l'étude de *Hicks et al.*¹⁴ n'ait pas suivi les standards méthodologiques TRIPOD, elle avait tout de même rempli les étapes clés du processus en remplissant 25 des 31 critères.¹⁴⁴

La phase d'analyse d'impact est très large et comprend de multiples étapes.¹³⁹ Elle est nécessaire pour démontrer que la règle de prédiction viendra changer le processus de décision clinique et les soins aux patients.¹³⁹ Une des étapes qu'elle peut comprendre est de comparer le modèle de prédiction construit à d'autres modèles de prédiction déjà existants pour la même condition.¹³⁹ C'est ce que *Hicks et al.*¹⁴ ont fait après avoir simplifié la règle de prédiction de *Van Middendorp et al.*¹⁸ Ceci peut permettre d'améliorer la quantification de la discrimination entre deux règles de prédiction.

Une autre possible étape de la phase d'analyse d'impact est de comparer la règle de prédiction clinique au jugement clinique non structuré déjà établi dans la pratique courante.¹³⁹ Aucune règle de prédiction dans le domaine des LMT n'a cependant à ce jour été comparée au jugement clinique afin de savoir si elle améliorerait réellement la performance de prédiction des cliniciens dans la réalité clinique quotidienne. Pourtant, comparer les règles de prédiction au jugement clinique non structuré est recommandé dans leur processus de production afin que celles-ci soient acceptées et utilisées par la communauté médicale.¹³⁹ Certains auteurs croient même que ceci devrait être fait dans les toutes premières étapes d'analyse d'une règle de prédiction afin de s'assurer que cette règle réponde bien à un besoin tel que celui de poser un diagnostic ou d'établir le pronostic d'une

condition.¹³⁹ En fait, ne pas procéder à cette étape limite encore plus l'utilisation clinique de ces règles de prédiction, puisque leur utilité et leur valeur ajoutée ne sont pas bien déterminées et annoncées à la communauté scientifique.¹³⁹ Cependant, la manière dont cette comparaison devrait être effectuée et rapportée demeure peu précise,¹³⁹ ce qui n'encourage pas la comparaison des règles de prédiction au jugement clinique.²⁰ Parmi toutes les règles de prédiction clinique disponibles dans la littérature actuelle (incluant mais sans s'y limiter à celles en lien les LMT), seulement 25 ont été comparées au jugement clinique.²⁰ Malheureusement, les règles de prédiction ayant été comparées sont en réalité rarement supérieures au jugement clinique et sont souvent à très haut risque de biais.²⁰ Cela vient accentuer encore plus le besoin de procéder à cette analyse pour améliorer l'acceptation des règles de prédiction dans la routine clinique. Il devient cependant de plus en plus clair qu'une règle de prédiction clinique précise, utile, construite selon des standards méthodologiques rigoureux et supérieure au jugement non structuré des cliniciens pourrait devenir une référence et établir un standard de pratique pour guider les cliniciens dans leur processus de décision clinique.

CHAPITRE 3 : OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

3.1 Hypothèses

Tel que discuté dans le Chapitre 2, l'autonomie et la qualité de vie des patients se trouvent fortement chamboulées après une LMT, à la suite de ses conséquences désastreuses. Une des premières questions posées fréquemment par les patients lors de la phase aiguë de leur traumatisme concerne leur capacité à marcher à nouveau.^{5,6} Lors de cette première discussion sur le pronostic fonctionnel qui tient en compte la récupération neurologique, il est déjà important d'expliquer la différence entre une marche à l'intérieur de la maison (ayant pour objectif par exemple d'accomplir leurs activités de la vie quotidienne) et celle à l'extérieur de la maison (par exemple, pour participer à leurs activités domestiques et à la vie communautaire). Il est aussi nécessaire d'aborder le fait que le niveau d'indépendance utilisé pour cette marche pourrait varier. Bien que plusieurs règles de prédiction soient déjà disponibles dans la littérature¹⁴⁻¹⁶ avec une excellente capacité à prédire la marche, celles-ci sont rarement intégrées dans la pratique clinique courante en LMT. Une des limitations principales à l'utilisation de routine de ces règles est qu'elles ne répondent pas toujours au besoin les plus importants des patients, par exemple avoir un haut niveau de marche fonctionnelle à l'extérieur de la maison en communauté, comparativement à marcher sans supervision à l'intérieur d'une maison.¹⁸ Également, comme bien peu de règles de prédiction publiées dans la littérature médicale à ce jour, elles n'ont jamais été confrontées au jugement clinique afin de valider leur supériorité.²⁰ Certaines règles existantes sont également peu sensibles au changement, ce qui limite leur utilisation.^{14,122} Finalement, tel que décrit dans la littérature, il est plus facile d'établir un pronostic de marche chez certains grades AIS de patients ayant subi une LMT.¹⁷ Ceci pourrait donc limiter l'accès et/ou l'application de certaines règles de prédiction à des sous-catégories de patients particulières.

Cela dit, il est possible de résumer ainsi les deux hypothèses que nous souhaitons vérifier par la présente recherche :

1. La première hypothèse est que certains éléments de l'examen moteur et sensitif standardisé évalué dans la phase aiguë chez les patients avec LMT pourraient être utilisés afin de prédire la capacité de marche fonctionnelle à l'extérieur du domicile des patients avec LMT à un an suivant leur traumatisme. Cette règle de prédiction clinique permettrait de déterminer avec précision la capacité de marche fonctionnelle indépendante (communautaire) pour tous les patients atteints de LMT.
2. La seconde hypothèse est que les règles de prédiction sont plus précises que l'expérience des cliniciens pour déterminer la capacité de marche en aigu à l'intérieur de la maison un an suivant une LMT et devraient donc être utilisées de routine en clinique.

3.2 Objectifs spécifiques

Sur la base de ces hypothèses, deux objectifs principaux ont été visés pendant ces travaux de recherche :

1. Identifier des éléments à l'examen moteur et sensitif qui sont inclus dans l'évaluation standardisée de l'ISNCSCI et effectuée pendant la phase aiguë d'une LMT qui permettront de bâtir une règle de prédiction pour une marche indépendante extérieure fonctionnelle en communauté à un an suivant le traumatisme. Également, vérifier que cette règle peut s'appliquer avec autant de précision à tous les grades AIS de patients ayant subi une LMT.
2. Comparer la capacité des cliniciens à celle d'une règle de prédiction clinique à déterminer le niveau de marche à l'intérieur du domicile un an suivant une LMT, alors que les patients sont toujours dans la phase aiguë du traumatisme.

Le premier objectif de ce mémoire permettra de répondre à une question fondamentale des cliniciens et des patients, c'est-à-dire prédire très tôt le niveau de marche communautaire hautement fonctionnel des patients à un an suivant leur LMT. Ce niveau de marche, significativement supérieur en termes de fonction et de valorisation sociale, n'a jamais été exploré

dans la littérature auparavant, mais permettra de donner un meilleur reflet de la réalité au patient, en plus de lui permettre de mieux déterminer ses objectifs de réadaptation et permettra de mieux planifier les ressources en réadaptation pour les professionnels de la santé. Le second objectif de ce mémoire permettra de valider l'utilisation d'une règle de prédiction existante, sous-utilisée cliniquement, mais précise statistiquement pour les patients ayant subi une LMT. Cet objectif fonctionnel est particulièrement pertinent pour les patients atteints d'une lésion sévère, dont le pronostic de récupération fonctionnelle est limité et/ou incertain, afin de déterminer leur niveau de marche à l'intérieur du domicile pour qu'ils puissent, par exemple, réaliser leurs activités de la vie quotidienne.

CHAPITRE 4 : Méthodologie et résultats

4.1 Méthodologie

La méthodologie et les résultats de ce mémoire sont initialement présentées sous la forme de deux articles scientifiques. Ces deux articles consistent en deux études de cohorte rétrospectives. Des analyses complémentaires ont été effectuées *post hoc*. La méthodologie et les résultats de ces analyses complémentaires sont présentées à la suite des deux articles scientifiques.

Le projet de recherche a eu l'approbation éthique du comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Nord-de-l'Île-de-Montréal. Celui-ci a été approuvé dans le cadre du projet intitulé : «Étude rétrospective sur l'identification de méthodes d'évaluations physiques permettant d'évaluer le statut fonctionnel au cours de l'hospitalisation aiguë suivant une lésion médullaire traumatique». Tous les participants ont donné un consentement éclairé et écrit avant que leurs données soient mises à contribution dans la banque de données utilisée pour ce projet.

Le projet de recherche du premier article a inclus tous les patients adultes admis au centre de trauma de niveau 1 spécialisé dans la prise en charge de LMT entre avril 2010 et août 2017 pour une LMT dont le grade de sévérité initial (AIS A à D) et le niveau neurologique (C0 à L2) avaient été évalués lors d'une évaluation de l'ISNCSCI effectuée pendant la phase aiguë du traumatisme et pour lequel un suivi fonctionnel (échelle SCIM III, critère 14) à 6 ou 12 mois était disponible.

Pour le premier article présenté, les critères d'exclusion sont les suivants : grossesse, antécédent de spondylite ankylosante en raison des limitations à la marche reliée potentiellement présentes, pathologie neurologique antérieure qui pourrait avoir un impact sur les résultats fonctionnels (maladie cérébrovasculaire, démence, poliomyélite, retard mental, paralysie cérébrale, dystrophie musculaire, maladie neurodégénérative) et antécédent de chirurgie spinale avec informations incomplètes à propos de l'état neurologique avant la LMT (possible lésion médullaire et déficits neurologiques antérieurs).

Le projet de recherche du deuxième article a inclus un groupe de patients choisis aléatoirement parmi tous les patients de 16 ans et plus admis au centre de trauma de niveau 1 spécialisé dans la prise en charge de LMT entre avril 2010 et décembre 2018 pour une LMT dont le grade de sévérité

initial (AIS A à C) et le niveau neurologique (C1 à L2) avaient été évalués lors d'une évaluation de l'ISNCSCI effectuée pendant la phase aiguë du traumatisme et pour lequel un suivi fonctionnel (échelle SCIM III, critère 12) à 12 mois était disponible.

Pour le deuxième article présenté, le seul critère d'exclusion retenu consistait en une LMT de grade AIS D, puisque leur pronostic de marche à l'intérieur du domicile est excellent et que tel qu'attendu, seulement moins de 1 % des patients de notre banque de données ne marchait pas sans supervision à l'intérieur de leur domicile un an après leur LMT. En comparaison, les patients ayant subi une LMT de grade AIS D n'ont pas été exclus dans le premier article puisque les patients marcheurs fonctionnels dans cet article devaient atteindre un niveau de marche beaucoup plus élevé, correspondant à la marche fonctionnelle extérieure sur une longue distance. Dans ce contexte, les patients ayant subi une LMT de grade AIS D étaient les plus susceptibles d'atteindre ce niveau de marche. Il n'était donc pas justifié de les exclure tel que cela a été fait dans le deuxième article.

Les données rétrospectives utilisées dans ce mémoire proviennent d'une banque de données prospectives cliniques de patients ayant subi une LMT à l'Hôpital du Sacré-Cœur-de-Montréal. Cette collecte de données est effectuée graduellement par des assistants de recherche non impliqués dans les deux articles et résultats complémentaires présentés. Les données reliées à l'examen neurologique standardisé ISNCSCI réalisé en phase précoce dans la période post-opératoire (myotomes et dermatomes de L2 à S1) ont été collectées respectivement par les deux premiers auteurs de chaque article étant donné qu'il ne s'agit pas de données habituellement colligées dans la base de données prospective. Les données sociodémographiques des patients (âge, genre), les données reliées au traumatisme (niveau et sévérité de la LMT initiale, ISS, CCI, date du traumatisme, date à laquelle l'évaluation de l'ISNCSCI a été réalisée), et les données reliées à l'examen neurologique standardisé ISNCSCI réalisé en phase précoce (myotomes et dermatomes de L2 à S1) ont été collectées et analysées. Pour le deuxième article, une photocopie non nominative du dossier médical du patient dans la période aiguë après sa LMT a également été colligée et consultée (consultation initiale en chirurgie orthopédique, physiatrie et ergothérapie, antécédents médicaux et chirurgicaux, protocole opératoire, notes de suivi pré-opératoire et post-opératoire jusqu'à sept jours et rapports de toutes les imageries réalisées à l'admission).

Les données reliées à l'examen neurologique standardisé de l'ISNCSCI réalisé en phase précoce du traumatisme ont été choisies comme variables indépendantes pour les deux articles joints à ce mémoire, tel que préalablement mentionné. Ce choix a été fait pour de multiples raisons. D'abord, ces données représentent une évaluation standardisée reconnue dans la littérature comme l'étalon-or de l'évaluation neurologique en phase aiguë du traumatisme après une LMT.^{22,94,135} Également, celles-ci se sont déjà montrées efficaces à 96% pour prédire la marche intérieure sur une courte distance chez les patients ayant subi une LMT.¹⁸ Tel que démontré par *Van Middendorp et al.*,¹⁸ elles permettent d'obtenir une prédiction plus fiable que le système de grades AIS. Ces mêmes auteurs ont aussi démontré que l'ajout du niveau lésionnel à ces données n'apportait pas de valeur supplémentaire à la prédiction de la marche indépendante.¹⁸ Pour ce qui est des autres facteurs influençant la marche chez les patients ayant subi une lésion médullaire décrits dans la section 2.2.5 (pages 40 à 44), il y a malencontreusement de nombreux obstacles à leur incorporation dans une règle de prédiction. En effet, il est difficile de tester l'impact global de la présence de spasticité, de douleur, de déformations articulaires, d'un déficit proprioceptif ou de comorbidités, puisque ces facteurs peuvent être de différentes intensités et prendre différentes formes. Également, certains autres éléments tels que le tonus du tronc, l'équilibre ou l'endurance physique requièrent des tests beaucoup plus extensifs, invasifs ou sophistiqués pour lesquels plusieurs jours seraient nécessaires afin d'obtenir une valeur appropriée.¹⁴⁹⁻¹⁵⁵ De plus, certains éléments ne sont tout simplement pas fiables dans la phase aiguë du traumatisme, tels que le statut cognitif et la motivation à participer à la réadaptation, en raison par exemple de la présence concomitante d'une instabilité médicale, de douleur, d'un traumatisme crânien, d'une intoxication ou d'une sédation chimique. Finalement, il serait impossible d'intégrer à l'analyse les voies médullaires secondaires qui semblent atteintes, par exemple à l'IRM, puisque l'atteinte de ces voies secondaires est masquée par l'atteinte des voies motrices et sensitives principales.²² Cependant, étant donné l'influence potentielle de ces variables sur la marche, l'effet comme facteur de confusion de plusieurs de ces variables a tout de même été vérifié dans le premier article.

La récupération fonctionnelle de la marche a été évaluée par le pointage au SCIM III (critère 14 pour le premier article; critère 12 pour le deuxième article) à 12 mois après le traumatisme tel que le plus souvent évalué dans la littérature. Si ce résultat était indisponible, le pointage à 6 mois était utilisé étant donné qu'il s'agit également d'une évaluation à long terme à distance de la LMT et qu'il est équivalent chez la majorité des patients au pointage à 12 mois. Une comparaison des

caractéristiques sociodémographiques et lésionnelles des patients évalués à 6 et 12 mois a également été menée. Le critère 14 du SCIM a été choisi pour le premier article étant donné qu'un critère le plus représentatif possible de la marche fonctionnelle extérieure sur une longue distance était recherché. Ce critère est en effet plus spécifique à la réalité d'un patient avec lésion médullaire qui utilise la marche communautaire dans son quotidien. Le critère 12 du SCIM a pour sa part été choisi pour le deuxième article puisqu'il s'agissait d'une étude utilisant la règle de prédiction clinique de *Van Middendorp et al.*¹⁸ et que ceux-ci font l'utilisation de ce critère particulier du SCIM pour représenter la marche intérieure. Utiliser le même critère comme variable dépendante était donc plus approprié afin de comparer les capacités de prédiction de la marche intérieure sur une courte distance. Par la suite, pour le premier article, le niveau d'autonomie choisi comme étant indicatif d'une marche extérieure fonctionnelle et indépendante est un pointage entre 6 et 8 au critère 14 du SCIM. En effet, cette frontière a été tracée sur la base de la littérature scientifique actuelle en lésion médullaire qui démontre qu'un patron de marche de type *swing* (pointage de 4 sur 8) et qu'un patron de marche réciproque (pointage de 5 sur 8) ne sont pas suffisants pour une marche communautaire fonctionnelle.^{55,134} Pour le deuxième article, le niveau d'autonomie choisi comme étant indicatif d'une marche intérieure fonctionnelle est un pointage entre 4 et 8 au critère 12 du SCIM. Tel que mentionné pour le choix du critère représentant la marche intérieure fonctionnelle, c'est-à-dire le critère 12 et non le critère 14, le seuil choisi a été basé sur l'article de *Van Middendorp et al.*¹⁸ afin de pouvoir comparer adéquatement les résultats obtenus.

L'analyse des données a été réalisée grâce au logiciel IBM SPSS Statistics (USA). Le détail des analyses effectuées est présenté séparément dans chaque article. Le seuil de signification a été fixé à .05 pour toutes les analyses effectuées. Pour le deuxième article, le calcul de la taille d'échantillon pour atteindre une puissance de 80% a été effectué grâce au logiciel G*Power 3.1.9.6 (Düsseldorf, Germany).

4.2 Article 1 : Early Clinical Prediction of Independent Outdoor Functional Walking Capacity in a Prospective Cohort of Traumatic Spinal Cord Injury Patients

Stephanie Jean MD¹, Jean-Marc Mac-Thiong MD, PhD^{1,2,3,4}, Jean Bégin PhD², Marie-Christine Jean MD, MBA⁵, Andréane Richard-Denis MD, MSc^{1,2}

¹ Faculty of Medicine, Department of medicine, University of Montreal, Pavillon Roger-Gaudry, S-749, C.P. 6128, succ. Centre-ville, Montreal, Quebec, H3C 3J7, Canada

² Hôpital du Sacré-Coeur de Montréal, 5400 Gouin Boul. West, Montreal, Quebec, H4J 1C5, Canada

³ Faculty of Medicine, Department of surgery, University of Montreal, Pavillon Roger-Gaudry, S-749, C.P. 6128, succ. Centre-ville, Montreal, Quebec, H3C 3J7, Canada

⁴ Sainte-Justine University Hospital Research Center, 3175 Chemin de la Côte-Sainte-Catherine, Montréal, Quebec, H3T 1C5, Canada

⁵ Faculty of Medicine, Université Laval, Pavillon Ferdinand-Vandry, 1050 Avenue de la Médecine, Québec, QC G1V 0A6, Canada

Corresponding author:

Stéphanie Jean

Department of Physical Medicine and Rehabilitation,

Faculty of Medicine, Université de Montréal, Pavillon Roger-Gaudry

S-749, C.P. 6128, succ. Centre-ville, Montreal, Quebec, H3C 3J7, Canada

Telephone number: (514) 340-2065

Fax number: 514-340-2775

Author Disclosures

This study was funded by the Fonds de recherche du Québec – Santé and by the Medtronic Research Chair in Spine Trauma at Université de Montréal. A portion of the data was collected through the Rick Hansen Spinal Cord Injury Registry.

JMMT is chairholder of Medtronic research chair in spinal trauma at Université de Montréal, owns stocks and is a board member in Spinologics, and has received a scholarship and research grants from the Fonds de recherche du Québec – Santé, an investigator-initiated research grant from Medline Industries, educational grants from Medtronic and Depuy-Synthes, as well as research grants from the U.S. Department of Defense – Congressionally directed medical research programs, Craig H. Neilsen Foundation, Social Sciences and Humanities Research Council, Canadian Institutes of Health Research, Natural Sciences and Engineering Research Council, Praxis Spinal Cord Institute, and Vertex Pharmaceutical.

ARD has received a scholarship and research grants from the Fonds de recherche du Québec – Santé, an investigator-initiated research grant from Medline Industries, and a research grants from Praxis Spinal Cord Institute, Craig H. Neilsen Foundation, Social Sciences and Humanities Research Council, Canadian Institutes of Health Research, Natural Sciences and Engineering Research Council.

JB has received a salary support from the Medtronic research chair in spinal trauma at Université de Montréal.

SJ and MCJ do not have any conflict of interest.

Abstract

OBJECTIVE: Identify the best clinical method to predict independent outdoor functional walking one-year post traumatic spinal cord injury (TSCI) through motor and sensory assessments derived from the acute ISNCSCI assessment and to produce a clinical prediction rule based on these results.

DESIGN: A prospective cohort of TSCI patients (AIS grade A to D) was analyzed. Bivariate correlations were used to determine the assessment method of motor strength and sensory function best associated with the outcome, and to determine which dermatomes and myotomes were best correlated to the outcome. An easy-to-use prediction rule was produced using a multivariable linear regression model.

RESULTS: The highest motor strength for a given myotome (L3 and L5) and preserved light touch sensation (dermatome S1) better predicted the outcome. A clinical prediction rule was derived with an overall classification accuracy of 83.65%, sensitivity of 87.01% and specificity of 80.50%.

CONCLUSION: TSCI has devastating consequences on ambulation. This is the first clinical prediction rule aiming to early predict independent outdoor functional walking capacity that translates into activities of daily living and community participation, enabling social participation.

Key words: *Trauma, Spinal Cord Injury, Prognosis, Functional Walking, Prediction*

Article type: *Research Article*

What is Known:

- TCSI has devastating consequences on ambulation: predicting one-year ambulation at the earliest inspire development of multiple clinical prediction rules.
- Current walking prediction rules are simple and accurate but predict short-distance indoor walking on even surfaces, using high-energy gait patterns and extensive walking aids.

What is New:

- A prediction rule highly clinically relevant for one-year independent functional long-distance outdoor walking following acute TSCI, using technical aids enhancing community living, social participation and quality of life.
- Highest motor strength and preserved light touch sensation for given myotomes and dermatomes in the ISNCSCI are the best predictors of independent ambulation.

Introduction

Traumatic spinal cord injury (TSCI) has devastating consequences for patients and their relatives. Impaired sensory and motor function following SCI is likely to impair locomotion and contribute to reduce autonomy for activities of daily living. Independently walking in the community is one of the main goals set by TSCI patients as being a health determinant to return to independent living, community participation and quality of life.^{5,6} Controlling the gait pattern and being able to walk outdoor at least 100 meters with only one technical aid are both critical since one upper limb is free to function and energy expenditure is reduced.^{6,46} Previous studies showed that walking after a SCI is influenced by different clinical factors such as the age, degree of severity of the SCI, neurological level of injury (NLI) and presence of clinical syndromes (central cord, Brown-Sequard, etc.).^{11,13} The ability to predict independent functional walking capacity in the chronic phase as early as possible is a major asset for healthcare professionals, as it allows better planning of rehabilitation resources and helps in setting realistic expectations with patients (with regards to home accessibility, return to employment, community accessibility).^{11,12}

Van Middendorp et al. published in 2011 a prediction rule for walking independently 12 months after a TSCI.¹⁸ While this rule display excellent discrimination ability, it failed to be translated in the clinical setting mainly due to its limited capacity to predict functional independent ambulation. Although the authors have statistically demonstrated that walking indoor and outdoor could be well correlated, they surprisingly used the capacity to walk indoor 10 meters to predict outdoor functional walking.⁵² They defined independent ambulation according to whether patients could walk 10 meters with a swing through gate, which requires significant energy expenditure and is hardly usable in activities of daily living (ADL) or in community activities.^{18,52} Similarly, *Hicks et al.* proposed in 2017 a simplified predictive rule among a Canadian cohort of TSCI patients based on *Van Middendorp's* work.¹⁴ Not only was their rule less accurate, it was also less sensitive to change since the Functional Independent Measure (FIM) was used as an outcome measure.¹²² Moreover, while the strongest side for a given myotome (based on the Medical Research Council (MRC) Scale) is used in current predictive rules,^{14,18,46} previous predictive rules failed to evaluate different clinical methods for assessing motor strength and sensory function based on the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI)

assessment.^{14,18} Yet, there is no single method of assessment that can be derived from the ISNCSCI assessment to predict function.¹³⁵

The objective of this study is to early predict the potential for independent functional outdoor walking capacity (defined as walking with one cane, leg orthosis or without walking aids) one year following a TSCI. To do so, we first identified specific clinical assessment methods for dermatomes and myotomes of the lower extremities derived from the ISNCSCI assessment that exhibited the strongest association with independent outdoor walking capacity one year following a TSCI. Secondly, we developed a clinically relevant prediction rule that is clinically relevant, accurate, easy to use and quickly calculated in an acute clinical setting.

Methods

A review of a prospective database including 166 patients from a single level-one trauma center specialized in SCI was conducted. This study was approved by the institutional ethics review board. All participants gave their written and informed consent before their data was entered in the database.

Study participants

All adults patients admitted to a single level-one trauma center between April 2010 and August 2017 for a TSCI of severity classified according to the American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale (AIS) as grade A to D and of neurological level C0 to L2 with a follow-up at 6 or 12 months post-injury were considered. Patients were excluded based on the following exclusion criteria: 1) pregnancy; 2) history of ankylosing spondylitis (walking limitations); 3) previous neurological pathology that could impact functional results; 4) prior spinal surgery with incomplete information about the past neurological status evaluation (possible prior SCI). (Figure 1)

Data collection

Main independent variables

The main independent variables were extracted from the ISNCSCI assessment and consisted in the myotome and dermatome scores for the lower extremities. Licensed physiotherapists, nurses and/or physicians specialized in SCI conducted the assessment. The post-op ISNCSCI evaluation was used since it is more thorough and always completed by the same experienced evaluators. Timing between the trauma and the post-op ISNCSCI assessment was measured in days.

Three methods for assessing a specific myotome's motor strength (Figure 2) were evaluated using the motor function grading in the ISNCSCI: 1) the Medical Research Council (MRC) score corresponding to highest motor strength between right or left for a given myotome (numerical value between 0 and 5), as used in previous prediction rules^{14,18}; 2) the combined MRC score obtained by adding right and left motor strength for a given myotome (numerical value between 0 and 10); 3) the presence ($\geq 3/5$ motor strength) vs. absence of anti-gravity muscle strength for a

given myotome at either right or left side. Methods were identified based on the previous literature^{14,18} and authors' clinical experience.

Two methods for assessing the sensory function were tested for light touch and pinprick sensation: 1) presence (altered or intact) vs. absence of sensation on both sides for a given dermatome (1/2 or 2/2 vs. 0/2 sensory score); 2) presence of intact sensation vs. absence on both sides for a given dermatome (2/2 vs. 0/2 or 1/2 sensory score).

Confounding variables

Socio-demographic, clinical and trauma-related information were collected during the acute phase of hospitalization. The burden of associated traumatic injuries was measured by the Injury Severity Score (ISS),⁷⁰ while the burden of comorbidities was measured by the Charlson Comorbidity Index (CCI).¹² Based on the ISNCSCI, the initial severity of the TSCI was reported using the AIS grade and the neurological level of injury (categorized into 4 categories: high tetraplegia (C1-C4), low tetraplegia (C5-C8), high paraplegia (T1-T8) and low paraplegia (T9-L2).

Outcome variable

The main outcome consisted in predicting an independent outdoor functional walking capacity based on the SCIM version III (item 14: outdoor mobility on more than 100 meters), a disability scale evaluating the ability of a SCI patient to perform daily living activities.¹⁵⁶ Independent functional walking capacity is defined by a score of 6 or more (walking with one cane, leg orthosis only or walking without walking aids), vs. non-functional outdoor walking defined by a score 0 to 5 (walking using a reciprocal or swing gait with crutches or two canes, walking with a walking frame, walking with supervision, moving in manual or electric wheelchair, requiring total assistance). This cut-off was selected based on the SCI literature, which shows that swing through gait (score 4 out of 8) and reciprocal gait (score 5 out of 8) are insufficient for functional community walking.^{55,134} The 12 months post-injury SCIM questionnaire was used. If the information was not available at this timepoint, the 6 months post-injury SCIM questionnaire was used. Indeed, it was previously demonstrated that functional status is similar between these two timepoints following TSCI.¹⁵⁷

Statistical analyses

Descriptive analyses were used to describe the cohort. Direct comparison analyses (Student T tests for continuous variables and Chi-Square tests for categorical variables) were performed to compare baseline characteristics of patients at 12 (N=117) or 6 months (N=42). All statistics were performed using IBM SPSS Statistics v.25 (Chicago, IL) and the level of significance was set to 0.05. Excluded patients were compared to the study population to ensure they did not differ significantly.

Development of the prediction rule

Bivariate correlations were first used to determine the assessment method of motor strength and sensory function best correlated with independent functional walking capacity 12 months after a TSCI for each myotome and dermatome from L2 to S1. Then, bivariate correlations of the highest associated assessment method for the motor strength and sensory function were also used to determine which of these dermatomes and myotomes best correlated to the outcome based on the highest correlation coefficients. These myotomes and dermatomes with the highest correlation coefficients were entered in a multivariable linear regression model.¹⁵⁸ Non-significant variables ($p>0.05$), starting with the less significant one, were progressively excluded from the prediction model until all variables were statistically significant. This was done to ensure all variables included in the prediction rule contributed significantly to the outcome and to avoid redundant information. The prediction rule thus consisted in the last version of the linear regression model. Standardized beta coefficients were obtained to determine the weight effect of each variable in the prediction rule.

Simplification of the prediction rule

The resultant prediction rule was simplified using discrete rather than continuous variables to facilitate its clinical use. Bivariate correlation was made between both the initial and the final prediction rule to ensure its validity. Since the correlation coefficient was 1.0 with a significant p-value ($p<0.05$) the rule was kept simplified.

Assessment of the accuracy of the final prediction rule

To rule out the presence of confounding variables,^{5,11,13,52} bivariate correlations for continuous variables (age, ISS, timing between trauma and post-op ISNCSCI assessment) and Chi-Square test for dichotomous and categorical variables (more vs. less than 65 years old, gender, AIS grade, NLI and CCI) were used with the main outcome. Significant variables were then entered in the linear regression model to assess their relationship with the outcome at a multivariable level.

To assess the accuracy of the final prediction rule, the Area Under the Curve (AUC) of the Receiver Operating Characteristics (ROC) curve was evaluated. Performance of the prediction rule was tested for overall classification accuracy, sensitivity and specificity comparing expected and observed outcomes.

Results

Patients' characteristics are shown in Table 1. The cohort comprised 159 patients aged 47.97 +/- 18.42 years old of which 79.9% were males. A total of 117 and 42 patients had a follow-up at 12- and 6-months post-injury respectively. Individuals with follow-up at 6- or 12-months post-injury were similar in terms of socio-demographics and injury characteristics as shown in Table 1. Excluded patients were similar to the ones included in the study in terms of age ($p=0.512$), sex ($p=0.588$), ISS ($p=0.591$), AIS grade ($p=0.206$) and NLI ($p=0.238$). The timing to post-op ISNCSCI assessment was 10.21 days in average.

As shown in Table 2, method 1 for assessing motor strength (score of the strongest side for a given myotome) showed the highest correlation coefficient with the outcome variable, except at S1 for which methods 1 and 2 were similar. Similarly, method 1 (1 or 2/2 vs. 0/2) for assessing light touch sensation was best correlated with the outcome (Table 3). All correlation coefficients were significant ($p\text{-value} < 0.001$).

Myotomes L3 and L5 showed the highest correlation coefficients with the outcome (Table 2) and were thus included as independent variables in the linear regression model. Dermatomes L4, L5 and S1 showed the highest correlation coefficients with the outcome (Table 3) and were also included as independent variables in the linear regression model.

Dermatome L5 was revealed as a non-significant variable ($p=0.117$) at the multivariable level and was excluded from the prediction rule. Similarly, dermatome L4 was also non-significant ($p=0.252$) at the multivariable level and was excluded from the prediction rule. The non-simplified prediction rule included myotomes L3 ($p=0.036$) and L5 ($p=0.007$) as well as dermatome S1 ($p < 10^{-3}$). L5 myotome was the variable with the highest standardized beta (.306) (Table 4).

To simplify the prediction rule, beta coefficients were multiplied (by 100) and rounded to keep whole numbers. The simplified prediction rule displayed a correlation coefficient of 1 and a significant p -value ($p < 10^{-3}$) with the initial version. The final simplified prediction rule is illustrated in Figure 3. The classification model's performance (as evaluated by the AUC of the ROC curve) was .916 with a p -value < 0.001 [CI 95% = .870-.963].

The following potential confounding variables were revealed as non-significant through statistical testing (bivariate correlations and Chi square test): age ($p=0.416$), gender ($p=0.839$), NLI ($p=0.306$) and CCI ($p=0.271$). Statistically significant confounding variables (AIS grade, ISS, timing to post-op ISNCSCI assessment) were tested as dummies variables (AIS grade, $p=0.343$) or added as a second block (ISS, $p=0.406$; timing to post-op ISNCSCI assessment, $p=0.371$) and were confirmed as non-significant variables at the multivariable level. The prediction rule was kept as the simplified one, accordingly.

Statistical measures of performance were drawn from the AUC. Overall classification accuracy was 83.65%, sensitivity 87.01% and specificity 80.50%, based on the expected and observed outcomes. Therefore, in our cohort of patients, the model was able to predict the walking capacity of 66 out of 76 walkers and of 67 out of 83 non-walkers.

Discussion

This is the first study to propose a clinical prediction rule for independent outdoor functional walking following acute TSCI, defined as walking more than 100 meters outdoor using one cane, leg orthosis only or no walking aids as assessed by the SCIM questionnaire. This work fulfills an important gap as it allows to better predict the ability to reach a critical functional outcome highly clinically relevant and repeatedly associated with social participation and quality of life.^{77,78} While previous rules showed an excellent discriminative ability to predict ambulation, its definition consisted in walking indoors on an even surface using high-energy gait patterns and/or extensive walking aids, which is less likely to allow independent community ambulation.⁵ The prediction rule proposed in this study displayed a higher accuracy and sensitivity in discriminating individuals reaching an independent outdoor functional walking. This study is also the first to evaluate the relationship between different methods of assessment for motor and sensory functions derived from the ISNCSCI assessment (standard of care in terms of SCI neurological assessment) and the ambulatory outcome one-year following a TSCI. Results will help clinicians in discussing patients' sustaining acute TSCI prognosis for independent functional outdoor walking and planning rehabilitation resources using a prediction rule easy to use and quickly calculated in clinical settings.

Results show an excellent overall discriminative capacity (AUC=0.92) of the proposed prediction rule, although not statistically different from *Van Middendorp et al.* work (AUC=0.96),¹⁸ since the confidence interval overlap. While the latter aimed to predict short distance indoor walking, the proposed prediction rule aims to identify patients likely to reach an outcome highly clinically relevant, as independent outdoor functional walking on longer distances is more likely to be associated with community ambulation, as a critical determinant for successful social reintegration quality of life.^{5-7,11,46} However, reaching a higher functional level such as independent outdoor functional walking requires elements exceeding motor and sensory functions⁵; it is expected to be more difficult to predict than indoor walking on short distance. To that end, results show the classification accuracy for identifying individuals reaching independent outdoor functional walking level is high using the proposed prediction rule and that it can identify individuals who will reach an independent outdoor functional walk. However, specificity is lower than expected. This can be explained by unconsidered age. Older age comes with more comorbidities, diminish

proprioception and increases risk of postoperative or medication related events, all of which can worsen the functional outcome. This burden seems to possibly be compensated by mitigating factors (TSCI related to a fall, incomplete lesion or less severe injury),^{57,58} but can sometime negatively impact the end result of functional walking. These results reflect that we have selected a higher level as a cut-off for defining functional walking. Therefore, this work shows the proposed prediction rule can help clinicians working with acute TSCI patients in predicting a critical outcome associated with social participation, social reintegration, quality of life and rehabilitation resources.

Amongst the different methods for assessing motor strength evaluated in this study (Figure 2), the MRC score of the strongest side for a given myotome was the method most associated with outdoor functional walking one-year following TSCI. This result is in line with previous literature^{14,18} and may be explained by the strength of the strongest limb that could compensate for the more affected one and increase functional capacity,⁴⁶ in contrast to other assessed methods that have not reflected this phenomenon. For sensory function, preserved light touch sensation was usually hypothesized as the best ambulatory capacity predictor because it seemed least prone to error.^{136,137} This study is the first to confirm that preserved light touch was more associated with functional walking than unaltered pinprick sensation despite its anatomical relationship.⁴⁴ Moreover, the easiest method to assess and interpret sensory function (no sensation vs. present i.e. altered/intact sensation) was also revealed as the most associated with the outcome: therefore, the complexity of ISNCSCI sensory function assessment may blur its relationship with the outcome.

The myotomes most associated with independent functional ambulation were L3 and L5, which make sense clinically. The ISNCSCI assessment implies that myotome L3 represents the quadriceps. However, L3 also innervates hip flexors and adductors, which are muscles of great importance in a patient's ambulation.^{46,159} ISNCSCI also considers myotome L5 as innervating the great toe extensor, but it does innervate the ankle dorsiflexors and stabilisators as well.¹⁵⁹ Even more, it contributes to the extension of the hip through the gluteus maximus.^{46,159} Accordingly, L5 was the best clinical predictor of independent functional walking capacity in the proposed prediction model with the highest standardised Beta (.306). S1 was the dermatome most associated with the main outcome. This result is clinically coherent considering that it represents the sensory function below the foot, allowing to feel the ground while walking and to keep better balance through at least a partially preserved proprioception.¹⁶⁰

Another strength of this research is its focus on independent functional walking with an appropriate evaluation item. This was done to better meet the SCI patients' needs and consider the quality of walking, which was never done before. Indeed, walking outdoors at least 100 meters with only one technical aid while reducing energy expenditure is much more representative of the function needed by patients to enhance their independent activities of daily living and community participation: being able to cross a street at a sufficient speed, having the endurance to go back and forth to a store or medical office, being able to carry something as you walk.^{6,46} SCI patients consume more energy to walk than healthy patients, even at their comfortable preferred speed.⁵ They also find it more difficult to reach a speed sufficient to cross a street safely.⁵ Even more, SCI patients who walk without any walking device can walk faster than patients who use two crutches or canes.⁵ Higher energy expenditure is also required to walk with braces in addition to strong upper extremities and trunk muscles, reaching up to six times the energy needed with a walking frame.^{52,57} Finally, studies have also shown that quality of life was associated with functional ambulation, more importantly outdoor than indoor.^{7,53}

The confounding variables evaluated were either statistically non-significant or not adding more accuracy to the prediction rule. Interestingly, neither age (analyzed linearly as well as categorically i.e. more vs. less than 65 years old), sex nor neurological level of injury were associated with independent functional walking one-year post-injury. Yet, age was included and categorized in previous prediction models based on the hypothesis that patients 65 years and older would have less potential for functional recovery.^{14,18} These results bring forward a prediction rule based on clinical information linked to the patient's neurological status (which can evolve and improve with time) rather than non-modifiable sociodemographic factors. Unsurprisingly, the ISNCSCI grades were significantly associated with independent outdoor functional walking one-year post-TSCI. However, when included in the prediction model, AIS grades do not improve the accuracy and the quality of the prediction. Therefore, even if they are associated with the outcome, they do not need to be included in the prediction model. These results bring a new point of view on neurological recovery, highlighting that other factors than AIS grade should be considered when predicting potential neurological and functional recovery.

Study limitations

The principal limitation of the study was the relatively small cohort coming from a single level-one trauma center. Yet, a statistically significant level was achieved and this study's cohort is similar to other cohort studies' TSCI patients in terms of demographic characteristics.¹⁶¹ It was however not possible to proceed to an internal validation due to the small number of patients. It would be interesting in another study to go through an external validation of this new prediction rule with an independent population of TSCI patients or with trauma-specific categories. Indeed, *Phan et al.*¹⁷ recently suggested discrepancies in walking prediction accuracy depending on the ISNCSCI grading of TSCI patients. Therefore, it would be interesting in another study to validate this prediction rule for different ISNCSCI grades.

Current guidelines recommend that the initial ISNCSCI assessment should be done between 72 hours and 7 days following the TSCI¹³⁷ to use it as a prediction tool. The timing to post-op ISNCSCI assessment was 10.21 days in average. 81% of the assessments were done in the first 14 days after the trauma, which supports that the prediction variables used still come from the acute phase of injury. *Herbison et al.*⁹⁸ demonstrated that manual muscle testing as included in the INSCSCI was equivalent if done either 24 hours or one to two weeks after the trauma. In the clinical setting, it is also important to have an accurate ISNCSCI assessment, which can be impacted by pain, surgeries or associated injuries, therefore delaying the post-op assessment. The significant correlation between the timing of assessment and the outcome can be explained by two extreme values (65 and 75 days); once removed, this relationship became non-significant. Despite considering these two values, the addition of the timing to post-op ISNCSCI assessment to the prediction rule as a possible confounding variable did not yield any more information.

Conclusions

TSCI have devastating consequences on patients, especially with regards to the ability to walk again, which has an impact on their daily living activities and access to their community. The objective of this study was to identify the best clinical method to predict functional walking one-year post-TSCI through different motor and sensory assessments derived from the ISNCSCI assessment and to produce a clinical prediction rule based on these results. The focus of this study was the prediction of a way of ambulation useable for the patients in their community, allowing them to walk a sufficient distance and to use their upper limbs for other functions. When compared to other methods for assessing motor strength and sensory function, the MRC score of the strongest side for a given myotome and preserved light touch sensation are better predictors of independent ambulation. Results of this study suggest that myotomes L3 and L5 as well as dermatome S1 derived from the acute ISNCSCI assessment were most strongly associated with independent outdoor walking capacity 12 months post-TSCI. These results were used to enhance a prediction rule for independent walking capacity that can be easily used in a clinical setting and will help to precise the independent functional walking capacity prognosis early in the acute traumatic phase, even before rehabilitation begins. Therefore, this clinical prediction rule should replace the previous ones since it details the quality of walking which is needed to translate into independent activities of daily living and community participation, making it clinically more relevant while being statistically equivalent.

Figures' Legend

Figure 1. Flow chart of study population

Figure 2. The three different methods of assessing motor strength using data from the ISNCSCI assessment

Figure 3. Prediction rule of functional walking capacity at 12 months following a TSCI (outdoor mobility on 100 meters or more with only one walking aid) for SCI AIS A to D

Figure 1. Flow chart of study population

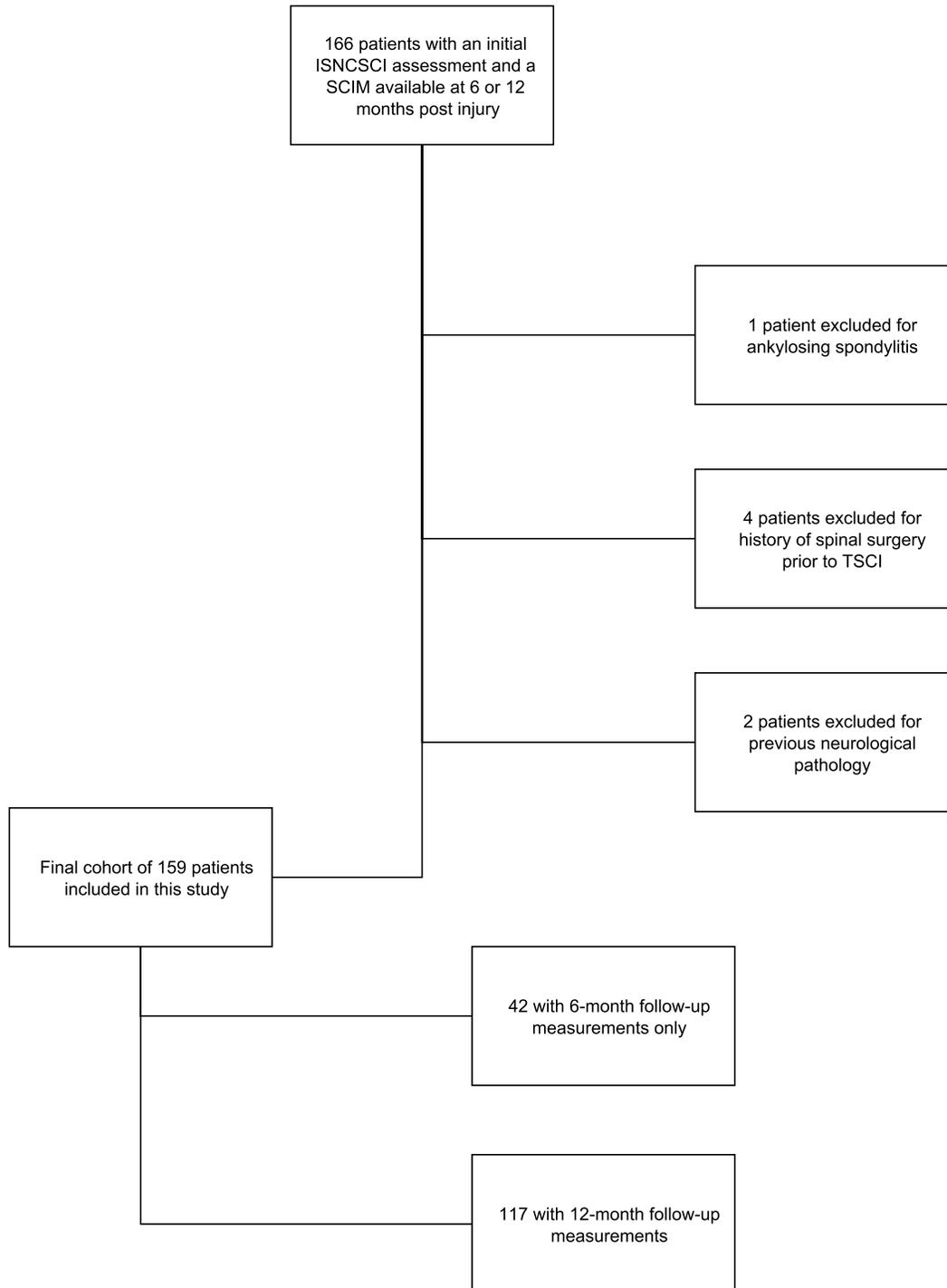


Figure 2. The three different methods of assessing motor strength using data from the ISNCSCI assessment

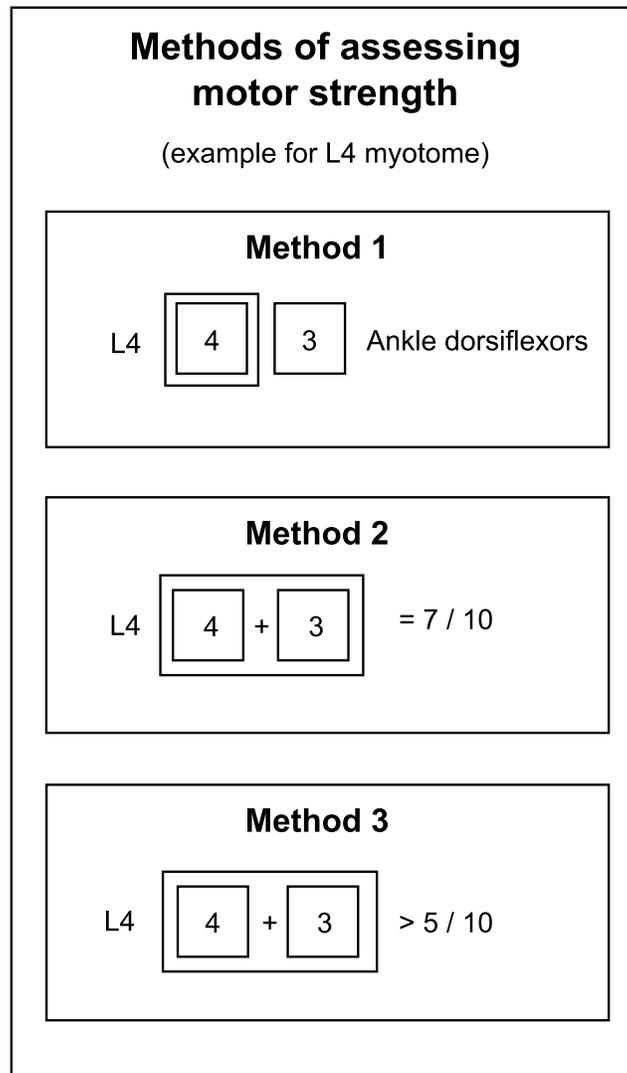


Figure 3. Prediction rule of functional walking capacity at 12 months following a TSCI (outdoor mobility on 100 meters or more with only one walking aid) for SCI AIS A to D

$$\% \text{ probability of functional walking} = 2 + (5 \times \text{motor score at L3}) + (7 \times \text{motor score at L5}) + (29 \times \text{score of sensory sensation at S1})$$

Tables' Legend

Table 1. Baseline characteristics of the study sample and comparison of groups of the TSCI individuals who had their follow-up at 6 or 12 months following the injury

Table 2. Coefficient correlations between the three motor function assessment methods derived from the ISNCSCI and functional independent walking capacity assessed by the SCIM questionnaire 6-12 months post TSCI (N=159)

Table 3. Coefficient correlations between the two sensory function assessment methods derived from the ISNCSCI (for light touch and pinprick) and functional independent walking capacity assessed by the SCIM questionnaire 6-12 months post TSCI (N=159)

Table 4. Beta coefficients for myotomes and dermatome associated with reaching an independent functional outdoor walking as assessed by the SCIM questionnaire 6-12 months post-injury: results from the multivariable linear regression model (N=159)

Table 1. Baseline characteristics of the study sample and comparison of groups of the TSCI individuals who had their follow-up at 6 or 12 months following the injury

		Final cohort N=159	SCIM 12 months N=117	SCIM 6 months N=42	p-value
Age	Mean (SD)	47.97 (18.42)	46.84 (18.67)	51.14 (17.53)	0.195
Sex	% Male	79.90	79.50	81.00	0.839
AIS grade	% A	31.40	29.10	38.10	0.421
	% B	13.80	16.20	7.10	
	% C	19.50	18.80	21.40	
	% D	35.20	35.90	33.30	
NLI	% C1-C4	40.30	37.60	47.60	0.226
	% C5-C8	18.90	18.80	19.00	
	% T1-T8	10.10	8.50	14.30	
	% T9-L2	30.80	35.00	19.00	
ISS	Mean (SD)	24.03 (9.91)	23.59 (9.60)	25.41 (10.87)	0.333
CCI**	%0	87.40	89.70	81.00	0.141
	%1	8.80	7.70	11.90	
	%2	3.80	2.60	7.10	
Timing to post-op ISNCSCI assessment (days)	Mean (SD)	10.21 (10.04)	10.32 (10.09)	9.88 (10.03)	0.807

* *p* is significant if ≤ 0.05

SCIM, Spinal Cord Independence Measure; AIS, American Spinal Injury Association Impairment Scale; ISS, Injury Severity Score; NLI, Neurological Level of Injury; ISNCSCI, International Standards for the neurological classification of spinal cord injury; CCI, Charlson Comorbidity Index

***P-value was obtained comparing the CCI scores of 0 v.s the combination of 1 and 2 given the low percentage of patients in the latter category.*

Table 2. Coefficient correlations between the three motor function assessment methods derived from the ISNCSCI and functional independent walking capacity assessed by the SCIM questionnaire 6-12 months post TSCI (N=159)

	Strongest limb (method 1)	Strength of both limbs (method 2)	Dichotomic score of both limbs' strength (method 3)
L2	.702	.683	.618
L3	.713	.703	.662
L4	.698	.695	.640
L5	.733	.706	.690
S1	.685	.688	.650

Bold typography is used to emphasize which myotomes have the strongest correlations.

All correlation coefficients were significant with a p-value of < 0.001.

Table 3. Coefficient correlations between the two sensory function assessment methods derived from the ISNCSCI (for light touch and pinprick) and functional independent walking capacity assessed by the SCIM questionnaire 6-12 months post TSCI (N=159)

	LT – preserved sensation (method 1)	LT – normal sensation (method 2)	PP – preserved sensation (method 1)	PP – normal sensation (method 2)
L2	.587	.405	.558	.432
L3	.631	.413	.610	.403
L4	.650	.427	.559	.411
L5	.653	.397	.559	.380
S1	.672	.456	.609	.375

Bold typography is used to emphasize which dermatomes have the strongest correlations.

LT, light touch; PP, pinprick

All correlation coefficients were significant with a p-value of < 0.001.

Table 4. Beta coefficients for myotomes and dermatome associated with reaching an independent functional outdoor walking as assessed by the SCIM questionnaire 6-12 months post-injury: results from the multivariable linear regression model (N=159)

	Beta	p-value
Myotome L3	.241	.036
Myotome L5	.306	.007
Dermatome S1	.282	<10 ⁻³

* *p* is significant if ≤ 0.05

SCIM, Spinal Cord Independence Measure

4.3 Article 2 : Clinical judgment is a cornerstone for validating and using clinical prediction rules: a head-to-head study on ambulation outcomes for spinal cord injured patients

Rémi Pelletier-Roy⁽¹⁻²⁾, MD.

Andréane Richard-Denis⁽¹⁻²⁾, MD, M.Sc.

Stéphanie Jean⁽¹⁻³⁾, MD.

Étienne Bourassa-Moreau⁽¹⁻²⁾, MD, M.Sc.

Jean Fleury^(1,3), MD.

Geneviève Beauchamp-Vien⁽²⁾, M.Sc., M.PT.

Jean Bégin⁽²⁾, PhD.

Jean-Marc Mac-Thiong⁽¹⁻²⁾, MD, PhD.

Affiliations

1. Université de Montréal, Faculty of Medicine, Montréal, QC, Canada
2. Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal, Montréal, QC, Canada
3. Institut de réadaptation Lindsay-Gingras de Montréal

Corresponding author

Jean-Marc Mac-Thiong, MD, PhD, FRCSC
Hôpital du Sacré-Coeur de Montréal
5400 Boulevard Gouin Ouest
Montréal, QC, H4J 1C5

Word count: 2512 words

Number of tables : 2

Abstract

Study design

Retrospective comparative study.

Objective

Clinical prediction rules (CPRs) are an effervescent topic in the medical literature. Recovering ambulation after a traumatic spinal cord injury (tSCI) is a priority for patients and multiple CPRs have been proposed for predicting ambulation outcomes. Our objective is to confront clinical judgment to an established CPR developed for patients with tSCI.

Settings

Level one trauma center specialized in tSCI and its affiliated rehabilitation center.

Method

In this retrospective comparative study, six physicians had to predict the ambulation outcome of 68 patients after a tSCI based on information from the acute hospitalization. Ambulation was also predicted according to the CPR of van Middendorp (CPR-vM). The success rate of the CPR-vM and clinicians to predict ambulation was compared using a criteria of 5% for defining clinical significance, and a level of statistical significance of 0.05 for bilateral McNemar tests.

Results

There was no statistical difference between the overall performance of physicians (success rate of 79%) and of the CPR-vM (81%) for predicting ambulation. The differences between the CPR-vM and physicians varied clinically and significantly with the level of experience, clinical setting and field of expertise.

Conclusion

Confronting CPRs with the judgment of a group of clinicians should be an integral part of the design and validation of CPRs. Head-to-head comparison of CPRs with clinicians is also a cornerstone for defining the optimal strategy for translation into the clinical practice, and for defining which clinician and specific clinical context would benefit from using the CPR.

Introduction

Clinical prediction rules (CPRs) are an effervescent topic in many medical and non-medical fields. Comparing CPRs to unstructured clinician judgment alone is often recommended to measure the impact of a CPR.¹³⁹ However, the optimal methodology for comparing CPRs to clinical judgment remains unclear such that very few CPRs have been confronted to clinical judgment.²⁰ Sanders et al.²⁰ showed that only 25 diagnostic CPRs have been compared to clinical judgment. They also underlined the high heterogeneity in the methodology used to compare CPRs to clinical judgment.²⁰ Furthermore, the TRIPOD (Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis) checklist on the development and validation of CPR only put little emphasis on comparing CPR to clinicians' performance.¹⁴⁷

These shortcomings are ubiquitous in some fields such as traumatic spinal cord injury (tSCI) where there is no report of CPR compared with unstructured clinical judgment. Prediction of long-term prognosis is of paramount importance after tSCI since it is a devastating event affecting up to 500 000 individuals annually worldwide.¹⁶² TSCI involve a heterogeneous group of patients with unpredictable outcomes with variable lifelong limitations in motor, sensory, bladder, bowel, cardiovascular and respiratory functions. Several prognostic CPRs have been proposed,^{15,47,95,103,115,163} particularly to predict ambulation outcomes since it is a main priority for patients.^{7,77} Van Middendorp et al.¹⁵ have proposed a CPR with excellent discrimination for predicting the ability of patients to walk independently one year after a tSCI. This CPR is considered as a reference model for predicting walking recovery, and its statistical performance has been further validated by independent authors.^{14,164} However, it has never been confronted to clinical judgment at any stage of its development thus limiting its translation to the medical community.

Our objective is to compare the ability of clinicians to predict independent household ambulation after severe tSCI with the CPR developed by van Middendorp et al. (CPR-vM). Our hypothesis is that the CPR-vM is more accurate than physicians, and should be used routinely in clinical practice.

Methods

Study cohort

The study cohort was derived from a prospective database of 458 tSCI patients treated at a single Level-1 trauma center specialized in acute SCI care between April 2010 and December 2018. The following inclusion criteria were used to identify eligible patients: 1) age 16 years or older, 2) severe tSCI with American Spinal Injury Association impairment scale (AIS) grade A to C, neurological level of injury between C1 and L2, and 4) household ambulatory status assessed from item 12 of the 3rd version of the Spinal Cord Independence Measure (SCIM) one year after the tSCI. Of the 152 eligible patients, a study cohort of 68 patients was randomly retrieved for analysis.

Participating clinicians

Six physicians who do not use the CPR-vM in their practice were enrolled for this study. These physicians are all involved in communicating the prognosis to tSCI patients in their practice. They practice in three different fields of expertise, two different care centers and had variable experience, thus representing a typical physician team managing severe tSCI within the first month after the injury:

1. Senior attending (>10 years of practice) in physical medicine and rehabilitation (PM&R) specialized in inpatient functional rehabilitation after tSCI,
2. Junior attending (<10 years of practice) in PM&R specialized in the acute care of tSCI prior to functional rehabilitation,
3. Postgraduate year-4 resident in PM&R with training in inpatient functional rehabilitation after tSCI, and to a lesser extent in the acute care of tSCI,
4. Senior attending (>10 years of practice) in orthopaedic surgery specialized in the surgical treatment of tSCI,
5. Junior attending (<10 years of practice) in orthopaedic surgery specialized in the surgical treatment of tSCI, and
6. Postgraduate year-2 resident in orthopaedic surgery.

Data collection

All participating physicians were consulted in order to identify the information from the acute hospitalization that they use to establish the long-term prognosis on ambulation. To reflect their actual practice, all physicians were therefore provided with all requested information from reprints of the patient's acute care medical chart, including the initial consultation notes from spine surgery, PM&R and occupational therapy (including pre-tSCI functional status), patient's age, comorbidities and past medical/surgical history, surgical protocol, preoperative and early postoperative (within one week after surgery) International Standards for Neurological Classification of SCI (ISNCSCI) worksheet detailing the initial neurological examinations, and all imaging reports pertaining to the spine and/or spinal cord (MRI, CT scans, X-rays) at admission to acute care. Medical chart reprints were collected and anonymized by a research assistant not involved in the study design, assessments nor data analyses.

Main outcomes measures

The main outcome measures consisted of the patient's ability to walk indoors independently without supervision (independent household ambulation) one year after the tSCI. The actual ability of patients to walk indoors was obtained from the patient's answer to item 12 of the SCIM (Indoors Mobility) at the one-year follow-up visit. Item 12 includes nine possible answers scored from zero (Requires total assistance) to eight (Walks without walking aids). In accordance with van Middendorp et al.,¹⁸ independent walking was defined as a score between four (Walks with a walking frame or crutches) and eight, as opposed to a score between zero and three (Requires supervision while walking) for patients unable to walk or dependent on assistance for walking.

Predicting independent walking from the CPR-vM was performed by an independent statistician based on patient's age, as well as four variables retrieved from the early postoperative ISNCSCI worksheet: motor score of the quadriceps femoris muscle (L3), motor score of the gastrocnemius muscle (S1), light touch sensation of L3 dermatome, and light touch sensation of S1 dermatome.

All participating physicians predicted the ability of patients to recover independent walking based solely on unstructured clinical judgment, using the medical chart reprints and the criteria previously described for item 12 of the SCIM.

Statistics

The performance of the CPR-vM and physicians to correctly predict independent walking was assessed from the percentage of accurate predictions ((number of true positive + number of true negative)/68 cases). The performance of physicians was calculated individually and the overall physicians' performance was obtained by averaging all individual physician's performance. Descriptive statistics were performed to characterize the study cohort as well as the performance of the CPR-vM and physicians.

We used bilateral McNemar tests to compare the performance of CPR-vM and physicians, using a statistical level of significance of 0.05. In addition, a threshold of 5% was used to define a clinically significant difference in performance between the CPR-vM and physicians' judgment. This clinical level of significance was determined by consensus among all physicians involved in this study in order to carry out the sample size calculation. This threshold of 5% was defined by clinicians as the minimal improvement in performance for which they would consider adopting a CPR in their practice.

The sample size of 68 patients was calculated to provide 80% power to detect a clinically significant difference of 5% in performance between CPR-vM and physicians' judgment, using bilateral McNemar tests and a statistical level of significance of 0.05. The sample size calculation was performed using G*Power 3.1.9.6 (Düsseldorf, Germany), while statistical tests were done using IBM SPSS (Version 25.0, NY, USA).

Results

The characteristics of the study cohort are presented in Table 1. Physicians accurately predicted ambulation status one year after tSCI in 79% of the cases. This was not statistically different from the performance of the CPR-vM of 81%. The individual performance of physicians ranged between 71% and 85% for predicting all the cases (Table 2). The orthopaedic group was clinically more accurate than the PM&R group (83% versus 76%). The performance was similar between the CPR-vM and all individual orthopaedic physicians, and there was no difference among the orthopaedic group with regard to the level of experience (junior resident vs. junior attending vs. senior attending). The CPR-vM was clinically and statistically more accurate than the PM&R physicians with predominant expertise in functional rehabilitation, who were respectively 10% and 9% less accurate than the CPR-vM (respective p-values of 0.007 and 0.04). On the contrary, the PM&R attending specialized in acute tSCI care working in a different center was statistically more accurate than the CPR-vM (84% vs. 81%, $p=0.039$), but the difference did not reach clinical significance.

The performance of the CPR-vM and physicians were also stratified based on the AIS grade of patients (Table 2). The performance was consistently highest for patients with the most severe tSCI (AIS grade A) and lowest for those with the least severe tSCI (AIS grade C), for the CPR-vM and all physicians. The largest discrepancies occurred between the CPR-vM and physicians for the prediction of AIS grade C patients, with differences ranging from a 32% increase for the CPR-vM over the PM&R attending working at the rehabilitation facility, to a 10% decrease for the CPR-vM compared to junior attendings in PM&R and orthopaedic surgery working at the acute care facility.

Discussion

Our study is the first to confront unstructured clinical judgment to a CPR intended for the tSCI population, supporting the prime importance of validating CPRs through a head-to-head comparison with clinicians to facilitate their translation into practice. While comparing with unstructured clinical judgment is generally recommended in the later stages of the development of CPRs following external statistical validation,¹³⁹ assessing unstructured clinical judgment can also be invaluable during the initial stage for identifying the need for a CPR and orienting the subsequent stages of development.

The results show that the performance of the CPR-vM was similar to the overall performance of a team of physicians involved in communicating prognosis to tSCI patients in their clinical practice. Physician performance was mainly dependent on the field of expertise and clinical setting. The contrasting performances between all physicians involved in this study strongly suggest that the CPR-vM could represent a benchmark for establishing standards of practice and tailoring the training needs of clinicians, in addition to target clinical knowledge user's best suited for the CPR-vM. Physicians with a predominant practice in a functional rehabilitation facility and thus not involved in the acute care of tSCI did not perform at the level of the CPR-vM. It is possible that the physicians specialized in functional rehabilitation and ambulation training are strongly influenced by their actual practice that predominantly involves patients with severe limitations, and are therefore less likely to follow patients with favorable outcomes in the long term. In addition, physicians from functional rehabilitation facilities are typically more concerned with community ambulation than household ambulation in their practice. Surprisingly, the experience level was not as impactful as the field of expertise in this study, since physicians working at the same institution demonstrated similar performances regardless of their experience level.

Previous studies showed that the performance of the CPR-vM was dependent on the AIS grade.¹⁷ Accordingly, we have decided to exclude patients with AIS grade D tSCI in this study because it is well known that the great majority of these patients will walk indoors without supervision (<1% AIS D not walking in our database). Our results showed a lower performance of both CPR-vM and physicians for cases with severe but incomplete tSCI, with a particular decline and variability in performance for AIS grade C lesions. Accordingly, future developments of CPR predicting

ambulation in tSCI patients should preferably target patients with sensory and non-functional motor lesions, respectively AIS grades B and C tSCI.

Strengths and Limitations

This work highlights key methodological concepts for minimizing the heterogeneity of studies assessing unstructured clinical judgment.²⁰ In summary, we propose a systematic approach comprising these three fundamental steps.

1. Build a representative study cohort with adequate sample size

As a first step, it is imperative to obtain an adequately powered sample of patients that is representative of the patient population targeted by the CPR. To achieve this task, clinicians – with existing literature if present – should be consulted in order to define the minimal performance improvement provided by the CPR (level of clinical significance) that would promote the clinical implementation of the CPR.

2. Assemble a representative group of clinicians

A representative group of clinicians prone to use the CPR should be assembled. At least these three variables need to be accounted for when selecting participating clinicians: their clinical setting (or institution), field of expertise (or prior training), and their level of experience. In addition to defining the level of clinical significance, clinicians also have a key role in identifying the information (e.g. medical chart, imaging studies, etc.) that will be given to participants to achieve the predictions in order to replicate the actual clinical practice.

3. Assess performance based on clinical and statistical significance

While comparing the CPR to the overall performance for the entire group of clinicians is required, it is also important to assess the individual performance of clinicians. This step is important for measuring the clinical validity of the CPR based on variables such as the field of expertise, clinical setting and level of experience, and thereby determining the applicability of the CPR for clinical translation. Although different metrics can be used to compare the performance of CPRs to clinical judgment, one convenient method is to assess the percentage of accurate predictions ((number of

true positive + number of true negative)/total number of cases). When using this metric, it becomes easier for clinicians to define a clinical level of significance based on the clinical needs, target population and predicted outcome. The performance of the CPR and clinicians should also be stratified according to clinically relevant subgroups of patients for identifying the optimal areas for clinical translation of the CPR.

A key weakness is the small number of physicians participating in the study, thus limiting the variability in setting, field of expertise and clinical experience. However, we were still able to draw conclusions on the need for tailored use of the CPR-vM for a specific subgroup of physicians. The small number of patients is another recognized limitation of the study although the sample size was estimated *a priori* for reaching adequate power, and was sufficient to observe significant differences between the CPR-vM and physicians' judgment. Moreover, the study cohort was randomly retrieved from our local tSCI database and was representative of the general tSCI population.¹⁶⁵ Accordingly, there was a larger number of AIS grade A patients, and a similar proportion of AIS grades B and C patients, which allowed to assess the performance of the CPR-vM and physicians based on the AIS grade.

Conclusions

Despite the excellent discriminative ability of the CPR-vM on a statistical basis, this landmark CPR developed in the field of tSCI was not consistently superior to the clinical judgment of physicians for predicting ambulation outcomes. The benefit of the CPR-vM over clinical judgment was mainly dependent on the clinical setting and field of expertise of physicians, in addition to the severity of the tSCI. The findings of this study underline the prime importance of comparing CPRs with unstructured clinical judgment using a systematic approach. While head-to-head comparison between CPR and clinicians' judgment is an integral part of the development and clinical translation of CPRs, it can also be used to establish standards of practice and tailor the training of clinicians.

Data Archiving

The datasets generated and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Acknowledgements

This research was funded by the Fonds de recherche du Québec – Santé and by the Medtronic Research Chair in Spine Trauma at Université de Montréal. The study cohort was retrieved from a prospective database previously funded by the Rick Hansen Spinal Cord Injury Registry and by the US Department of Defense Spinal Cord Injury Research Program.

Statement of Ethics

All procedures performed in this study involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional ethical research committee and with the 1964 Helsinki Declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

Conflicts of Interest

All authors have completed the revised version of the ICMJE's unified disclosure form (available on request from the corresponding author) and declare: 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., other from Medtronic, other from DePuy-Synthes, grants from Canadian Institutes of Health Research, grants from Craig H Neilsen Foundation, grants from Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, grants from Social Sciences and Humanities Research Council, grants from Canada Foundation for Innovation, grants from U.S. Department of Defense, grants from Medline Industries, grants from Vertex Pharmaceutical, outside the submitted work; Dr. Pelletier-Roy has nothing to disclose; Dr. Richard-Denis has nothing to disclose; Dr. Jean has nothing to disclose; Dr. Bourassa-Moreau reports grants from Medtronic, grants from Depuy-Synthes, outside the submitted work; Dr. Fleury has nothing to disclose; Geneviève Beauchamp-Vien has nothing to disclose; Dr. Bégin reports personal fees from

Medtronic research chair in spinal trauma at Université de Montréal, during the conduct of the study.

Author's Contributions

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 measurement, data analysis, drafting of the manuscript and revision and final acceptance of the manuscript. ARD participated in the study design, data measurement, data analysis, revision and final acceptance of the manuscript. JB participated in the study design, data collection, statistical analysis and revision and final acceptance of the manuscript. EB, JF and SJ participated in data measurement, data analysis and revision and final acceptance of the manuscript. GBV participated in data analysis and revision and final acceptance of the manuscript.

Funding

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

Tables' Legend

Table I. Baseline Characteristics of Study Cohort

Table II. Accuracy of Clinical Prediction Rule and Clinicians Stratified by AIS Grade

Table I. Baseline Characteristics of Study Cohort

	Study Cohort (n=68)
Settings	Level one trauma center specialized in tSCI
Inclusion period	April 2010 to December 2018
Sex (% male)	79%
Mean age at injury (years \pm SD)	44 (\pm 18)
Severity of initial neurological deficit (% patients)	
AIS grade A	41%
AIS grade B	31%
AIS grade C	28%
Level of initial neurological deficit (% patients)	
High cervical (C1-C4)	35%
Low cervical (C5-T1)	12%
High thoracic (T2-T10)	28%
Low thoracic (T11-L2)	25%
Outcomes measurements	
SCIM item 12 (mean score \pm SD)	3.6 (\pm 2.7)
Independent household ambulation (% patients)	37%

tSCI: traumatic spinal cord injury; AIS: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale; SD: standard deviation.

Table II. Accuracy of Clinical Prediction Rule and Clinicians Stratified by AIS Grade

Clinical prediction rule	PM&R resident	PM&R junior attending	PM&R senior attending	Orthopedic surgery resident	Orthopedic surgery junior attending	Orthopedic surgery senior attending	p-value <
AIS grade A	71%	86%	86%	89%	89%	89%	
AIS grade B	71%	81%	81%	86%	81%	86%	
AIS grade C	68%	84%	42%	63%	84%	68%	
All grades	71%*	84%*	72%*	81%	85%	82%	

0.05 for comparison with clinical prediction rule

AIS: American Spinal Injury Association (ASIA) Impairment Scale; PM&R: Physical Medicine and Rehabilitation.

4.4 Analyses et résultats complémentaires

4.4.1 Méthodologie

Tout d'abord, afin de s'assurer que la règle de prédiction construite dans le premier article présenté précédemment suivait les standards méthodologiques actuels et ne comprenait pas de biais importants, les standards TRIPOD¹⁴⁷ lui ont été appliqués rétrospectivement. Cette étape est cruciale pour démontrer la pertinence clinique de cette règle de prédiction dans la communauté scientifique afin qu'elle puisse passer aux phases de validation, d'analyse d'impact et d'implémentation.^{139,147}

Par la suite, afin de vérifier la capacité de discrimination et la précision de cette règle de prédiction dans différents sous-groupes de patients ayant subi une LMT, des analyses supplémentaires à celles déjà présentées et publiées dans le premier article ont été effectuées. Ces analyses ont toutes été réalisées grâce au logiciel IBM SPSS Statistics v.26 (Chicago, IL). La valeur de signification a été définie au seuil de 0.05 pour toutes les analyses supplémentaires. Ces analyses ont été effectuées sur la même cohorte de patients que celle incluse lors du développement de la règle de prédiction du premier article. Une première série d'analyses a été accomplie sur la cohorte de patients sous-divisée selon le grade AIS en aigu des patients. Une seconde série d'analyses a été accomplie en regroupant les patients par grade selon un pronostic de marche plus facile à établir (patients de grades AIS A et D) et ceux avec un pronostic de marche plus incertain (patients de grades AIS B et C). Dans les deux cas, ces analyses comprenaient la vérification de l'AUC (incluant sont 95% IC et sa p-value), la précision de classification globale (OCA), la sensibilité, la spécificité et le calcul de la capacité de prédiction des marcheurs et des non-marcheurs (prédit/réel).

Finalement, un processus de validation temporelle qui est une forme de validation externe a été effectué. La cohorte de patients utilisés lors de ce processus provenait de la même base de données prospective du centre de trauma de niveau 1 et a été choisie selon les mêmes critères d'inclusion et d'exclusion que lors du premier article présenté ci-haut. La seule différence entre les patients de la cohorte de validation externe et ceux de la cohorte initiale est qu'ils ont été admis au centre de soins aigus dans une seconde période, soit de septembre 2017 à juillet 2019 après leur LMT. Les variables indépendantes provenaient de l'évaluation ISNCSCI initiale de la période aiguë du traumatisme tout comme lors de l'élaboration du premier article. La variable étudiée correspondait

à la marche fonctionnelle extérieure (critère 14 du SCIM III) à 12 mois (6 mois lorsque le résultat à 12 mois n'était pas disponible), tout comme lors de l'élaboration du premier article. Une marche communautaire indépendante à l'extérieur sur plus de 100 mètres correspondait à un pointage de 6 à 8 au critère 14 du SCIM, alors qu'une marche communautaire non fonctionnelle correspondait à un pointage de 0 à 5. Des analyses descriptives ont été utilisées pour décrire et comparer la cohorte de validation externe à la cohorte de prédiction initiale. Des tests de Student T ont été effectués pour les variables continues (âge, ISS, temps entre le traumatisme et l'évaluation ISNCSCI initiale), alors que des tests du Chi-carré ont été effectués pour les variables catégorielles (genre, grade AIS, NLI, SCIM). La vérification de l'AUC de la règle de prédiction construite dans le premier article (incluant sont 95% IC et sa p-value), la précision de classification globale (OCA), la sensibilité, la spécificité et le calcul de la capacité de prédiction des marcheurs et des non-marcheurs (prédit/réel) ont été calculés sur la cohorte de patients dans son ensemble.

4.4.2 Résultats

4.4.2.1 Vérification des standards méthodologiques TRIPOD¹⁴⁷

Les standards TRIPOD^{147,148} ont été appliqués au premier article après le développement de la règle de prédiction discutée dans ce mémoire (Figure 10, page 132).

Figure 10. Application des standards méthodologiques TRIPOD¹⁴⁷ au premier article joint à ce mémoire sur le développement d'une règle de prédiction de la marche communautaire fonctionnelle chez les patients ayant subi une LMT



TRIPOD Checklist: Prediction Model Development

Section/Topic	Item	Checklist Item	Page
Title and abstract			
Title	1	Identify the study as developing and/or validating a multivariable prediction model, the target population, and the outcome to be predicted.	1
Abstract	2	Provide a summary of objectives, study design, setting, participants, sample size, predictors, outcome, statistical analysis, results, and conclusions.	3 (partially) : setting and sample size not included
Introduction			
Background and objectives	3a	Explain the medical context (including whether diagnostic or prognostic) and rationale for developing or validating the multivariable prediction model, including references to existing models.	5-6
	3b	Specify the objectives, including whether the study describes the development or validation of the model or both.	6
Methods			
Source of data	4a	Describe the study design or source of data (e.g., randomized trial, cohort, or registry data), separately for the development and validation data sets, if applicable.	7
	4b	Specify the key study dates, including start of accrual; end of accrual; and, if applicable, end of follow-up.	7
Participants	5a	Specify key elements of the study setting (e.g., primary care, secondary care, general population) including number and location of centres.	7
	5b	Describe eligibility criteria for participants.	7
	5c	Give details of treatments received, if relevant.	N/A
Outcome	6a	Clearly define the outcome that is predicted by the prediction model, including how and when assessed.	9
	6b	Report any actions to blind assessment of the outcome to be predicted.	
Predictors	7a	Clearly define all predictors used in developing or validating the multivariable prediction model, including how and when they were measured.	7-8
	7b	Report any actions to blind assessment of predictors for the outcome and other predictors.	
Sample size	8	Explain how the study size was arrived at.	7
Missing data	9	Describe how missing data were handled (e.g., complete-case analysis, single imputation, multiple imputation) with details of any imputation method.	N/A
Statistical analysis methods	10a	Describe how predictors were handled in the analyses.	9-10
	10b	Specify type of model, all model-building procedures (including any predictor selection), and method for internal validation.	10-11
	10d	Specify all measures used to assess model performance and, if relevant, to compare multiple models.	11
Risk groups	11	Provide details on how risk groups were created, if done.	N/A
Results			
Participants	13a	Describe the flow of participants through the study, including the number of participants with and without the outcome and, if applicable, a summary of the follow-up time. A diagram may be helpful.	12-13 and Figure 1
	13b	Describe the characteristics of the participants (basic demographics, clinical features, available predictors), including the number of participants with missing data for predictors and outcome.	12 and Table 1
Model development	14a	Specify the number of participants and outcome events in each analysis.	13
	14b	If done, report the unadjusted association between each candidate predictor and outcome.	N/A
Model specification	15a	Present the full prediction model to allow predictions for individuals (i.e., all regression coefficients, and model intercept or baseline survival at a given time point).	12-13, Table 4 and Figure 3
	15b	Explain how to use the prediction model.	8 and Figure 3
Model performance	16	Report performance measures (with CIs) for the prediction model.	13-14
Discussion			
Limitations	18	Discuss any limitations of the study (such as nonrepresentative sample, few events per predictor, missing data).	19
Interpretation	19b	Give an overall interpretation of the results, considering objectives, limitations, and results from similar studies, and other relevant evidence.	15-16-17
Implications	20	Discuss the potential clinical use of the model and implications for future research.	17-18
Other information			
Supplementary information	21	Provide information about the availability of supplementary resources, such as study protocol, Web calculator, and data sets.	N/A
Funding	22	Give the source of funding and the role of the funders for the present study.	2

Sur 31 critères, seulement deux n'ont pu être satisfaits et un a seulement pu être partiellement satisfait. Ces deux critères non satisfaits sont le 6b « Report any actions to blind assessment of the outcome to be predicted. » et le 7b « Report any actions to blind assessment of predictors for the outcome and other predictors. ». Ces deux critères n'ont pu être respectés en raison de la manière dont les données ont été colligées rétrospectivement. En effet, les patients qui formaient la cohorte étudiée consentaient à être inclus dans une banque de données prospectives de notre centre de trauma. La même personne (assistante de recherche) est donc responsable de faire la compilation des données de l'AIS initial et fait passer le questionnaire SCIM III à 6 et 12 mois. Il n'était donc pas possible d'utiliser un mécanisme à l'aveugle pour ce processus. Cependant, cette personne n'était pas impliquée par la suite dans l'analyse des données et des résultats, ce qui amoindrit cet impact. Le critère partiellement satisfait est le critère 2 « Provide a summary of objectives, study design, setting, participants, sample size, predictors, outcome, statistical analysis, results, and conclusions. ». En effet, dans un contexte de publication avec des restrictions importantes dans le résumé, principalement par rapport au nombre de mots, les informations sur le centre de trauma de niveau 1 et la taille de l'échantillon n'ont pas été incluses dans le résumé de l'article, mais ont plutôt été mentionnées dans la méthodologie.

4.4.2.2 Analyses par sous-groupes de la précision et de la capacité de discrimination de la règle de prédiction développée dans le premier article

La règle de prédiction simplifiée développée dans le premier article joint pour la prédiction de la marche communautaire fonctionnelle un an suivant une LMT, alors que le patient se trouve dans la phase aiguë de son traumatisme, a été utilisée pour valider sa précision et sa performance dans différents sous-groupes de patients ayant subi une LMT (Tableau 6, page 135).

La précision de classification du modèle évaluée par l'AUC a été calculée pour la cohorte totale (AUC = .916, p-value <0.001), puis pour les différents grades séparément (grade A AUC = .996, p-value <0.001; grade B AUC = .847, p-value .033; grade C AUC = .689, p-value .074; grade D AUC = .542, p-value .741). La p-value est significative pour les grades AIS A et B et l'intervalle de confiance à 95% pour ses deux grades recoupe celui de la cohorte initiale. La précision de classification du modèle a également été évaluée par l'AUC pour les grades dont le pronostic de marche est plus facile à prédire (grades AIS A+D AUC = .944, p-value <0.001) et pour ceux dont

le pronostic de marche est plus difficile à établir (grades AIS B+ C AUC = .775, p-value .001). Ces résultats sont statistiquement significatifs et dans les deux cas l'intervalle de confiance à 95% recoupe l'intervalle de confiance de la valeur pour la cohorte totale.

Des mesures de performance statistiques ont été calculées pour déterminer la probabilité de marche communautaire fonctionnelle un an après une LMT pour la cohorte totale de patients, les grades AIS individuels et pour les sous-groupes de patients de grades AIS A et D et ceux de grades AIS B et C. La précision de classification globale pour les grades AIS A, B, C et D était respectivement de 96.00%, 77.30%, 61.30% et 87.50%. La précision de classification globale pour les sous-groupes de patients de grades AIS A+D et B+C était respectivement de 91.50% et de 67.90%. La sensibilité, la spécificité et le degré d'accord en fonction des différents grades et des mêmes sous-groupes de patients pour les marcheurs et non-marcheurs sont également fournis dans le tableau 6, page 135.

TABLEAU 6. ANALYSE DE LA PRÉCISION ET DE LA PERFORMANCE DE LA RÈGLE DE PRÉDICTION DÉVELOPPÉE DANS LE PREMIER ARTICLE POUR LA COHORTE TOTALE DE PATIENTS, PAR GRADE AIS SÉPARÉMENT ET PAR GRADES AIS REGROUPÉS (A ET D COMPARÉ À B ET C)

	AUC	p-value	Intervalle de confiance 95%	OCA (%)	Sensibilité (%)	Spécificité (%)	Prédiction marcheur / nombre marcheur total (N)	Prédiction non- marcheur / nombre non- marcheur total (N)
Cohorte totale (N=159)	.916	<0.001	.870-.963	83.65	87.01	80.50	66/76	67/83
Grade AIS A (N=50)	.996	<0.001	.982-1.000	96.00	100.00	95.56	5/5	43/45
Grade AIS B (N=22)	.847	.033	.670-1.000	77.30	0.00	94.44	0/4	17/18
Grade AIS C (N=31)	.689	.074	.496-.882	61.30	70.59	33.33	12/17	7/14
Grade AIS D (N=56)	.542	.741	.280-803	87.50	98.00	0.00	49/50	0/6
Grades AIS A+D (N=106)	.944	<0.001	.892-.995	91.50	98.20	84.31	54/55	43/51
Grades AIS B+C (N=53)	.775	.001	.649-.900	67.90	57.14	75.00	12/21	24/32

AIS ASIA (American Spinal Injury Association) Impairment Scale ; AUC Area under the ROC (Receiver Operating Characteristic) Curve ; OCA Précision de classification globale

4.4.2.3 Processus de validation externe de la règle de prédiction développée dans le premier article

Les caractéristiques des patients inclus dans la cohorte de validation externe sont présentées dans le Tableau 7, page 136. La cohorte de 48 patients qui ont subi une LMT entre septembre 2017 et

juillet 2019 était en moyenne âgée de 50.26 +/- 19.46 ans et était composée à 87.50% d'hommes. Les patients inclus dans cette cohorte de validation étaient similaires en ce qui concerne les données sociodémographiques et les caractéristiques lésionnelles aux patients inclus dans la cohorte initiale utilisée pour le développement de la règle de prédiction (Tableau 7, page 136).

TABLEAU 7. CARACTÉRISTIQUES DE BASE ET COMPARAISON DE LA COHORTE DE PATIENTS AYANT SUBI UNE LMT ET UTILISÉE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA RÈGLE DE PRÉDICTION PRÉSENTÉE DANS LE PREMIER ARTICLE ET LA COHORTE DE VALIDATION EXTERNE

		Cohorte initiale N=159	Cohorte de validation N=48	p-value
Âge	Moyenne (SD)	47.97 (18.42)	50.26 (19.46)	0.465
Sexe	% Homme	79.90	87.50	0.232
SCIM*	% 12 mois	73.60	61.20	0.097
Grade AIS	% A	31.40	29.30	0.369
	% B	13.80	7.3	
	% C	19.50	14.60	
	% D	35.20	48.80	
NLI	% C1-C4	40.30	35.90	0.352
	% C5-C8	18.90	17.90	
	% T1-T8	10.10	20.50	
	% T9-L2	30.80	25.60	
ISS	Moyenne (SD)	24.03 (9.91)	21.47 (14.32)	0.338
Temps entre le traumatisme et l'évaluation ISNCSCI initiale (jours)	Moyenne (SD)	10.21 (10.04)	10.63 (13.05)	0.820

*Temps auquel le SCIM a été obtenu depuis la lésion médullaire traumatique (12 mois versus 6 mois)
LMT Lésion médullaire traumatique ; SD écart-type ; SCIM Spinal Cord Independence Measure ; AIS ASIA (American Spinal Injury Association) Impairment Scale ; NLI Niveau neurologique lésionnel ; ISS Injury Severity Score ; ISNCSCI International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury

Alors que la cohorte de patients incluse lors du développement de la règle de prédiction contenait 48% de patients qui remplissent les critères de marche communautaire indépendante fonctionnelle

sur un total de 159 patients (Tableau 6, page 135), la cohorte de validation externe contient 54% de patients qui remplissent ces mêmes critères sur 48 patients au total (Tableau 8, page 137).

La précision de classification du modèle évaluée par l'AUC a été calculée pour la cohorte de validation externe (AUC = .871 p-value <0.001). Son intervalle de confiance recoupe la valeur de l'AUC de la règle de prédiction développée et présentée dans le premier article joint à ce mémoire. Des mesures de performance statistiques ont été calculées pour déterminer la probabilité de marche communautaire fonctionnelle un an après une LMT pour la cohorte de patients disponible pour la validation externe. La précision de classification globale, la sensibilité et la spécificité étaient respectivement 87.50%, 92.31% et 81.82%. Le degré d'accord pour les marcheurs et non-marcheurs communautaires fonctionnels peut également être retrouvé dans le Tableau 8, page 137.

TABLEAU 8. ANALYSE DE LA PRÉCISION ET DE LA PERFORMANCE DE LA RÈGLE DE PRÉDICTION DÉVELOPPÉE DANS LE PREMIER ARTICLE POUR LA COHORTE TOTALE DE PATIENTS DU GROUPE DE VALIDATION EXTERNE

	AUC	p-value	Intervalle de confiance 95%	OCA (%)	Sensibilité (%)	Spécificité (%)	Prédiction marcheur / nombre marcheur total (N)	Prédiction non-marcheur / nombre non-marcheur total (N)
Cohorte totale (N=48)	.871	<0.001	.758-.983	87.50	92.31	81.82	24/26	18/22

AUC Area under the ROC (Receiver Operating Characteristic) Curve ; OCA Précision de classification globale

CHAPITRE 5 : DISCUSSION

5.1 Rappel des objectifs et résumé global des résultats

L'objectif principal de ce mémoire était de développer un outil d'aide à la décision clinique à utiliser dans la phase aiguë du traumatisme afin de pouvoir prédire plus aisément la marche communautaire fonctionnelle un an après une LMT, et ce, en prenant en considération des variables telles que la qualité de la marche et le retour à une vie communautaire active. L'outil développé est une règle de prédiction clinique de la marche communautaire fonctionnelle facilement exploitable et valide pour tous les patients ayant subi une LMT un an après leur traumatisme. Cette règle a été conçue à l'aide d'éléments identifiés à l'examen moteur et sensitif inclus dans l'évaluation standardisée de l'ISNCSCI alors que les patients se trouvent toujours dans la phase aiguë de leur traumatisme. La prédiction de ce résultat fonctionnel de haute priorité pour les patients a été peu explorée dans la littérature, alors que son impact direct pour le patient et son parcours de réadaptation après sa LMT ainsi que son importance pour les professionnels des soins de santé qui planifient son retour communautaire sont plus qu'évidents.⁸³

Plus précisément, afin d'atteindre ces objectifs, il a d'abord été nécessaire d'identifier les éléments à l'examen moteur et sensitif inclus dans l'évaluation standardisée de l'ISNCSCI de la phase aiguë suivant le traumatisme qui démontraient la meilleure corrélation avec la marche communautaire fonctionnelle un an après une LMT. Puis, une règle de prédiction simple, précise et performante permettant de répondre à cette capacité fonctionnelle de haute priorité a pu être développée. Sa validité externe ainsi que son applicabilité à différentes sous-catégories de patients ayant subi une LMT (grade AIS individuel et regroupement de grades AIS) ont par la suite pu être vérifiées *post hoc*. Finalement, l'utilité d'intégrer en clinique de telles règles de prédiction de la marche a été validée en comparant la capacité de prédiction des cliniciens à la performance d'une règle de prédiction afin de prédire correctement, dans la phase aiguë du traumatisme, le statut de marcheur de patients ayant subi une LMT à un an suivant leur traumatisme.

5.2 Identification de facteurs à l'examen physique initial (ISNCSCI) corrélés avec la marche communautaire chez les patients avec lésion médullaire traumatique

Tel que mentionné précédemment, il existe une abondance de littérature sur les déterminants de la marche, les facteurs influençant la marche chez les patients ayant subi une LMT et le pronostic neurologique et fonctionnel de la marche, mais peu de facteurs aidant à établir le potentiel de marche communautaire fonctionnel chez un patient ayant subi une LMT. Dans ce contexte, il a d'abord été primordial d'établir quelle était la façon d'analyser les données contenues dans l'évaluation en phase aiguë de l'ISNCSCI la mieux corrélée à la marche communautaire fonctionnelle. Le choix d'utiliser seulement des données tirées de l'ISNCSCI a été fait puisqu'il s'agit d'une évaluation standardisée effectuée dans tous les centres de trauma et généralement réalisée, selon les recommandations, environ 72 heures après la LMT.²² Les résultats présentés dans le premier article joint à ce mémoire sont les premiers à avoir analysé d'autres manières d'utiliser les données brutes incluses dans l'ISNCSCI afin de déterminer quelle méthode d'interprétation était la mieux corrélée à la marche.

Trois méthodes d'analyse de la force segmentaire et quatre méthodes d'analyse de la fonction sensitive ont été explorées. Pour chaque myotome pris individuellement, la force de la jambe la plus forte est la mieux corrélée à une marche communautaire fonctionnelle lorsque comparée à la force segmentaire des jambes droite et gauche additionnées, ou encore lorsque comparée à la présence d'une force segmentaire minimalement antigravitaire à l'une des deux jambes. Ce résultat est concordant avec la littérature et peut être plus probablement expliqué par la force déployée par la jambe plus forte qui compense pour la jambe plus faible.⁴⁶ Cela permettrait d'augmenter la capacité fonctionnelle et possiblement diminuer le besoin d'aide technique pour le membre inférieur le plus fort, tout en diminuant l'énergie dépensée et en augmentant la vitesse de déplacement de ce membre. Tout cela permettrait au patient ayant subi une LMT de marcher de manière plus fonctionnelle dans la communauté. Pour la fonction sensitive, malgré l'hypothèse initiale de la proximité entre les faisceaux corticospinal et spinothalamique,^{16,37,41,44,88} une sensation au toucher léger préservée (anormale ou normale) était mieux corrélée à la marche communautaire fonctionnelle que la présence d'une sensation complètement normale ou de la sensibilité à la piqûre. Par exemple, un patient qui aurait une sensation au toucher léger normale d'un côté et absente de l'autre côté aurait une sensation dite préservée (bien qu'anormale) aux

membres inférieurs. La meilleure corrélation avec la sensibilité au toucher léger est également concordante avec la plupart des choix faits dans la littérature et renforce l'idée que la complexité de l'évaluation de la sensibilité à la piqûre telle qu'elle devrait être évaluée dans l'ISNCSCI rend ces résultats moins fiables et plus difficilement transposables.^{115,136,137}

Les myotomes les plus corrélés avec la marche communautaire fonctionnelle étaient L3 et L5. Tel que soulevé précédemment, la force segmentaire au myotome L3 est particulièrement importante pour évaluer le potentiel de marche puisque ce myotome est partiellement responsable de la force du quadriceps.^{2,41-45} Cependant, le myotome L3 est également partiellement responsable de la force des fléchisseurs de hanche et des adducteurs.^{46,159} Le quadriceps et les fléchisseurs de hanche ont par le passé été démontrés comme essentiels chez les marcheurs communautaires fonctionnels.^{18,47} D'autres études ont également démontré l'importance de la force de flexion de la hanche.^{2,41,42} Étant donné que les muscles innervés par ce myotome sont des muscles déterminants pour le statut de marcheur et surtout de marcheur communautaire, il apparaît évident qu'ils ressortent dans l'analyse de cette corrélation avec le potentiel de marche fonctionnel un an après une LMT. La haute corrélation avec la force segmentaire du myotome L5 peut paraître inconséquente et basée seulement sur un résultat statistique étant donné que ce myotome représente le long extenseur de l'hallux dans l'ISNCSCI. Même, bien qu'il innerve en partie les muscles dorsifléchisseurs de la cheville, leur faiblesse peut facilement être compensée par le port d'une orthèse tibiale.^{1,166} Cependant, le myotome L5 innerve également les extenseurs de la hanche, les stabilisateurs de la cheville et les autres extenseurs des orteils.^{46,159} Tel que mentionné précédemment, l'intensité de la force des extenseurs de hanche est un facteur influençant grandement le potentiel de marche communautaire,⁴⁶ d'autant plus que la fonction de ces muscles ne peut être substituée par une orthèse. Le dermatome le plus corrélé avec la marche fonctionnelle était S1. Ce résultat est concordant à la réalité clinique, car le dermatome S1 représente la sensibilité sous le pied et implique donc une préservation de la sensation du sol et de proprioception à la marche.¹⁶⁰ Tel que discuté plus tôt, ces facteurs sont des déterminants importants pour le potentiel de marche.⁴¹

Ces résultats aideront les chercheurs et les cliniciens à mieux cibler les évaluations les plus appropriées et nécessaires avant de discuter du potentiel de marche communautaire fonctionnel avec les patients. Ils apportent des éléments supplémentaires de discussion et de prise de décision, en plus de renforcer des liens déjà connus dans la littérature. Également, ces résultats mettent un

accent particulier sur le myotome L5, qui est la variable étudiée avec le plus haut coefficient beta standardisé. Il pourrait donc être intéressant pour les cliniciens d'insister encore plus sur le renforcement des muscles innervés par L5 afin de potentialiser cette force segmentaire et d'aider les patients à atteindre plus facilement une marche communautaire fonctionnelle. Dans cette optique, il serait intéressant d'analyser si l'intensité de la force segmentaire présente aux muscles innervés par le myotome L5 permet d'avoir une marche plus fluide, une vitesse de marche plus proche de la normale et une diminution de la dépense énergétique associée. Considérant qu'une force segmentaire plus élevée que la force anti-gravitaire au quadriceps n'augmente pas la fonctionnalité de la marche, il serait plausible d'expliquer l'augmentation de la fonctionnalité de la marche communautaire par l'intensité de la force des muscles innervés par le myotome L5, étant donné l'influence importante de ces muscles sur le potentiel de marche communautaire.⁴⁶

5.3 Règle de prédiction de la marche communautaire chez les patients avec lésion médullaire traumatique

La récupération de la marche est une priorité pour les patients dès les premiers jours suivant leur LMT.⁵⁻¹⁰ Cependant, tel que défini plus tôt, une marche exerce ou une marche à l'intérieur du domicile avec une dépense énergétique extrêmement importante et/ou une quantité d'aides techniques trop encombrantes ne permettra pas aux patients d'accomplir ses activités de la vie quotidienne et apportera donc des bénéfices limités.^{9,39,45}

Dans le premier article joint à ce mémoire, il était crucial de pouvoir établir un pronostic de marche pour une capacité fonctionnelle indispensable, associée à une réintégration communautaire réussie ainsi qu'à une plus haute qualité de vie, et dont le potentiel est difficile à prédire avec les données de la littérature actuelle.^{5-7,11,46,53} Les prérequis et les déterminants d'une marche communautaire fonctionnelle diffèrent significativement de ceux étudiés pour établir le statut de marcheur, puisqu'il faut prendre en considération la qualité de la marche, le travail nécessaire pour y arriver et l'objectif à atteindre pour lequel la marche communautaire est utilisée.^{2,5,41} En effet, les déplacements en communauté sont habituellement réalisés afin d'accomplir une activité de la vie domestique ou participer à la vie communautaire et sociale, par exemple en travaillant. Un patient ayant subi une LMT qui utilise la marche communautaire pour ses déplacements ne peut donc pas se permettre d'arriver exténué à l'endroit visé et de ne plus avoir suffisamment d'énergie pour y accomplir d'autres tâches.^{9,39,46,52}

Une règle permettant de prédire la capacité des patients à un an suivant une LMT à marcher fonctionnellement dans leur communauté a pu être développée afin de répondre plus précisément dès la phase aiguë du traumatisme au questionnement par rapport à la capacité de marcher de manière indépendante. Cette règle de prédiction a d'abord été évaluée en termes de mesures de performance. Elle est précise (AUC .916, IC 95% .870-.963) et performante (OCA 84%, sensibilité 87%, spécificité 81%). Étant donné que l'objectif lors du développement de la règle de prédiction était de maximiser sa précision et sa performance, le processus de validation interne n'a pu être effectué en raison du petit nombre de patients disponibles pour l'étude. En effet, la taille de l'échantillon initial était trop petite pour pouvoir le scinder en deux et obtenir des résultats validés. La règle de prédiction développée remplit également les standards méthodologiques rigoureux TRIPOD,^{147,148} diminuant ainsi le risque de biais et permettant de maximiser l'utilisation et

l'acceptation de cette règle de prédiction par la communauté scientifique.^{139,147,148} Elle pourra donc remplir adéquatement son objectif de guider et d'appuyer le jugement des cliniciens dans leur processus de décision clinique afin d'annoncer très tôt un pronostic parfois lourd de conséquences.

Lors du développement de cette règle de prédiction, il était indispensable que les critères utilisés pour évaluer le résultat fonctionnel représentent bien la fonction de la marche communautaire et donc la réalité clinique. Dans ce contexte, le critère mesurant la capacité fonctionnelle devait correspondre à une marche communautaire qui minimisait la dépense énergétique tout en favorisant une vitesse de marche plus rapide. La dépense énergétique et la vitesse de marche sont en effet déjà significativement altérés par le niveau lésionnel, la sévérité de la LMT et ses conséquences sur l'altération du contrôle musculaire sélectif.^{2,5,6,9,39,46,51-53} Tel que mentionné dans le premier article joint à ce mémoire, le critère 14 du SCIM version III avec un pointage de six ou plus sur huit a été sélectionné afin de représenter la marche communautaire fonctionnelle. Le SCIM est une échelle d'évaluation fonctionnelle objective qui permet d'évaluer le patient dans sa vie quotidienne et non de manière ponctuelle alors qu'il fournit un effort maximal. Contrairement à d'autres règles de prédiction, l'utilisation d'une seule aide technique telle qu'une canne, d'orthèses seulement ou d'aucune aide technique a été retenue comme niveau de fonctionnalité étant donné l'utilisation nécessaire d'une aide technique dans chaque membre supérieur, la forte dépense énergétique et l'influence importante sur la vitesse de marche que les patrons de marche *swing* et de marche réciproque représentent.^{2,39,51,55} Bien que l'utilisation d'une canne simple représente une dépense énergétique légèrement plus élevée qu'une marche sans aide technique, il a été jugé que cette dépense énergétique était suffisamment basse pour permettre d'autres activités par la suite.^{51,54} L'utilisation d'une canne permet également de conserver libre un membre supérieur afin qu'il puisse servir à remplir une autre fonction (transporter, tenir, manipuler des objets par exemple).

Lors du développement de cette règle de prédiction, il était également nécessaire de s'assurer que la règle développée n'obtiendrait pas une meilleure précision de prédiction si des facteurs sociodémographiques ou liés à la lésion médullaire ayant une influence sur la marche y étaient ajoutés (nommés facteurs de confusion dans le premier article du mémoire). Pour cette raison, les effets de l'âge (analysés de manière continue et dichotomique [moins de 65 ans versus 65 ans et plus]), du sexe, du niveau lésionnel, de la sévérité de la LMT, de la lourdeur des comorbidités du patient, de la lourdeur des lésions traumatiques associées et du temps écoulé entre le traumatisme

et l'évaluation de l'ISNCSCI ont été analysés. Les résultats ont démontré que ces facteurs, bien qu'ils soient en effet associés d'une façon ou d'une autre à une marche communautaire fonctionnelle, ne permettaient pas d'atteindre un niveau de précision supérieur si conservés dans la règle de prédiction. Ceci signifie que l'information des trois variables (les myotomes L3 et L5 ainsi que le dermatome S1) obtenue lors de l'examen physique initial de l'ISNCSCI est suffisante pour prédire précisément la capacité de marche communautaire fonctionnelle un an après la LMT. Ce résultat permettra aux cliniciens de pouvoir mieux discuter de cette capacité fonctionnelle rapidement après une courte évaluation.

Un processus de validation externe a également été conduit *post hoc* pour s'assurer que la règle de prédiction obtenue était généralisable à d'autres patients que ceux sur qui la règle de prédiction a été développée initialement. La cohorte de patients disponibles pour la validation externe (temporale) comprenait 48 patients, un nombre jugé suffisant pour procéder à une validation externe (30.19% de la taille de la cohorte initiale utilisée pour le développement de la règle de prédiction). Bien qu'il existe plusieurs règles pour calculer la taille d'un échantillon nécessaire pour obtenir une certaine puissance, il existe très peu de recommandations par rapport à la taille de l'échantillon requise lors d'un processus de validation externe.¹⁶⁷ Dans ce contexte, il est recommandé que la taille de l'échantillon soit jugée adéquate si le processus pour déterminer la cohorte est bien défini et si cet échantillon permet d'établir une mesure de précision adéquate avec une mesure d'incertitude suffisamment étroite.¹⁶⁷

Il a été jugé que l'échantillon disponible pour la validation externe remplissait ces critères. En effet, la précision de classification de la règle de prédiction mesurée par l'AUC était similaire entre les résultats obtenus pour la cohorte de développement de la règle initiale (AUC .916, IC 95% .870-.963) et pour la cohorte de validation (AUC .871, IC 95% .758-.983). Ainsi, les résultats obtenus lors de la validation externe pour mesurer la performance de la règle de prédiction étaient supérieurs à ceux obtenus lors de l'évaluation de la performance sur la cohorte de patients initiale. Plus particulièrement, la performance de classification globale (OCA) est évaluée à 88% et la sensibilité à 92%, des augmentations cliniquement supérieures et significatives. Il est inhabituel d'arriver à des résultats supérieurs lors du processus de validation externe, puisqu'on s'attend généralement au contraire en raison d'un surajustement/surapprentissage lors du développement d'un modèle de prédiction avec la cohorte initiale.¹⁶⁸ Une première explication pourrait être une

prévalence plus élevée de marche extérieure fonctionnelle indépendante dans cette cohorte de validation. Cependant, le taux de marcheurs lors du développement de la règle initiale était tout de même similaire à celui observé dans la cohorte de validation (48 versus 54%). Une deuxième explication pourrait résider dans le fait qu'il s'agit d'une validation temporelle, et donc la cohorte de validation est composée de patients ayant plus récemment subi une LMT. En effet, une meilleure qualité de prédiction globale peut être observée lorsque des évaluateurs deviennent plus familiers avec des outils d'évaluation, ce qui augmente la fiabilité.¹⁶⁹ En résumé, après avoir procédé à la validation externe de la règle de prédiction de la marche communautaire fonctionnelle développée dans le premier article joint à ce mémoire, cette règle de prédiction se révèle être hautement précise et efficace. Avec les résultats obtenus, cette règle de prédiction semble donc être généralisable à d'autres patients ayant subi une LMT et pourrait être recommandée aux patients qui souhaitent savoir précocement le niveau de marche communautaire fonctionnel qu'ils pourraient atteindre.

Le développement de cette règle de prédiction de la marche communautaire chez les patients ayant subi une LMT vient également combler des besoins omis par la règle de prédiction clinique publiée en 2011 par *Van Middendorp et al.*¹⁸ Tel que décrit dans la revue de littérature, cette règle prédit le pronostic de marche d'un patient ayant subi une LMT sur une courte distance intérieure, sur des surfaces de même niveau et en utilisant possiblement des patrons de marche ayant une forte dépense énergétique et/ou de multiples aides techniques. Bien que précise et performante statistiquement, cette règle ne permet pas de prédire un résultat fonctionnel utilisable au quotidien pour les patients. La règle de prédiction développée dans le premier article présenté dans ce mémoire vient pallier ces besoins et devient donc complémentaire à celle de *Van Middendorp et al.*¹⁸ En effet, alors que la courte distance de 10 mètres à l'intérieur n'est pas suffisante pour accomplir des tâches fonctionnelles,^{9,52} la distance utilisée lors du développement de la règle de prédiction présentée dans le premier article est de 100 mètres à l'extérieur. Cela permet aux patients de marcher pour atteindre un lieu tout en naviguant sur des terrains inégaux. De plus, le faible niveau d'autonomie et de fonction exigé dans le critère de marche indépendante de l'article de *Van Middendorp et al.*¹⁸ peut impliquer un travail considérable ainsi qu'une importante dépense énergétique (liée au patron de marche et à l'utilisation des aides techniques associées qui occupent souvent les deux membres supérieurs), ce qui ne permettrait plus la réalisation parallèle d'autres activités.^{5,53} Dans l'article de *Van Middendorp et al.*, la qualité de la marche, dont la dépense énergétique et la vitesse de marche, n'avaient pas été prises en considération. Alors que le pointage

utilisé dans la règle de prédiction développée dans le premier article semble de prime abord sévère, il s'assure d'une certaine manière de contourner ces critiques. Ces choix différents ont été réalisés afin que cette règle de prédiction puisse se traduire en des activités de la vie quotidienne ainsi qu'une participation communautaire et sociale. Une manière supplémentaire et intéressante de valider que cette règle de prédiction confirme le raisonnement logique derrière son élaboration serait de mesurer dans une étude future des facteurs liés au travail requis et à la satisfaction des patients entre différents marcheurs communautaires qui utilisent la marche selon la séparation du pointage au SCIM utilisé.

Finalement, le développement de cette règle de prédiction de la capacité de marcher de manière fonctionnelle dans sa communauté à un an suivant le traumatisme d'un patient ayant subi une LMT s'insère tout à fait dans l'objectif global de ce travail de recherche. Il était essentiel de doter le clinicien d'un outil qui permet de mieux établir une capacité fonctionnelle ayant un impact sur le bien-être émotionnel, physique, la qualité de vie, les relations sociales et la fonction que le patient comme individu peut accomplir dans la société.^{5-7,11,46,53,75} Il était également important que cet outil soit basé sur des critères qui puissent se coller à la réalité clinique en minimisant la dépense énergétique des patients et en maximisant l'indépendance fonctionnelle. Ceci a été atteint grâce à une variable dépendante réfléchie qui reflète la réalité des patients, toujours dans l'optique d'améliorer leur qualité de vie.⁷⁵

5.4 Difficulté dans la prédiction de la marche pour les patients avec lésion médullaire traumatique de grades AIS B et C

En regard de l'article de *Phan et al.*,¹⁷ des analyses *post hoc* de précision et de performance par grade AIS individuel et par regroupement de grades AIS selon la facilité usuelle à prédire le pronostic de marche communautaire fonctionnel ont été calculées pour la règle de prédiction de la marche communautaire fonctionnelle un an après une LMT produite dans le premier article joint à ce mémoire.

Contrairement à ce que *Phan et al.*¹⁷ ont avancé dans leur article, la règle de prédiction développée dans le premier article de ce mémoire est excellente pour prédire la récupération des patients ayant subi une LMT de grades AIS A ou B (respectivement, AUC .996, IC 95% .982-1.000 et AUC .847, IC 95% .670-1.000). Cependant, la règle de prédiction est acceptable pour prédire la marche des patients ayant subi une LMT de grade C (AUC .689, IC 95% .496-.882) et n'est pas en mesure de faire la discrimination pour prédire la marche des patients ayant subi une LMT de grade D (AUC .542, IC 95% .280-.803).¹⁴⁰ Cette règle de prédiction a été construite pour une cohorte de patients standards ayant subi une LMT pour répondre à un dénouement fonctionnel encore plus difficile à prédire que le statut de marcheur, soit la marche communautaire indépendante. Elle a également été développée afin d'être généralisable à tous les patients ayant subi une LMT et est plus facile à utiliser en clinique étant donné qu'une seule règle est requise peu importe le niveau neurologique, la sévérité de la LMT des patients et la conversion de grades AIS si cette conversion a lieu. La performance de prédiction moindre du modèle pour les patients ayant subi une LMT de grades AIS C ou D peut s'expliquer par la moindre spécificité du modèle pour ces grades AIS (spécificité de 33% et 0% respectivement). Tel qu'énoncé dans la revue de la littérature, l'AUC est calculée grâce à l'aire sous la courbe ROC qui est construite à partir des variables sensibilité et 1-spécificité; une moindre spécificité entrainera donc une diminution directe de la valeur de l'AUC.^{140,142,143} Cela explique donc le résultat surprenant de l'AUC pour les patients ayant subi une LMT de grade AIS D qui est encore plus inférieur à celui des patients ayant subi une LMT de grade AIS C. Cependant, tel que mentionné plus tôt, l'AUC ne doit pas être analysé de manière isolée, mais plutôt globalement en prenant en considération d'autres mesures de performance.^{142,143} Pour le grade AIS D, cela se traduit par une précision de classification globale de 88% et une sensibilité de 98%, ce qui est excellent. Ceci vient appuyer la littérature actuelle déjà très pertinente pour prédire le statut

de marcheur, mais en prédisant dorénavant un niveau fonctionnel plus élevé de marche. En effet, pour les patients de grade AIS D, le potentiel de marche se situe déjà entre 80 et 100% et peut être interprété en fonction de l'âge et du moment à partir duquel la LMT a été classifiée en grade AIS D.^{11,57} Malheureusement, pour le grade AIS C, la performance de classification globale demeure peu élevée à 61%, tout comme la sensibilité qui atteint seulement 71%. Étant donné que cette règle de prédiction clinique se veut une aide à la prise de décision, elle peut facilement être combinée en clinique à d'autres indicateurs de la marche que l'on possède déjà. En effet, tel que mentionné précédemment, le potentiel de marche des patients de grade AIS C peut également être évalué en fonction de leur atteinte tétraplégique ou paraplégique et également en fonction de leur âge (plus ou moins 50 ans).^{11,41,103} Tel que démontré dans l'étude de *Phan et al.*,¹⁷ la règle de prédiction pour la marche à l'intérieur du domicile développée par *Van Middendorp et al.*¹⁸ a un excellent AUC pour ce grade de LMT (AUC .850, IC 95% .771-.928) et pourrait potentiellement être ajoutée à l'arsenal de décision clinique.

En réponse à la difficulté à donner le pronostic pour les grades AIS B et C soulevée par *Phan et al.*¹⁷, la règle de prédiction développée dans ce mémoire est tout d'abord excellente dans sa précision et sa performance pour prédire la marche communautaire chez les patients ayant subi une LMT de grades AIS A et D regroupés (AUC .944, IC 95% .892-.995; OCA 92%; sensibilité 98%; spécificité 84%). Tel qu'attendu, la précision et la performance de prédiction sont ainsi meilleures pour les patients dont le potentiel de marche après une LMT est plus facile à concevoir que pour les patients dont ce potentiel est plus difficile à établir. Toutefois, la règle de prédiction développée demeure acceptable, voire même bonne pour les patients dont le potentiel de marche est plus difficile à prédire, soit les patients ayant subi une LMT de grades AIS B et C (AUC .775, IC 95% .649-.900). Certaines mesures de performance pour ce sous-groupe de patients ne reflètent cependant pas cette précision de prédiction. Par exemple, la précision de classification globale, la sensibilité et la spécificité ont des résultats moins performants (68%, 57% et 75% respectivement). Ceci peut être plus probablement expliqué par la combinaison de patients à l'intérieur du sous-groupe pour lesquels la règle de prédiction ne performait pas de manière similaire. En effet, les patients ayant subi une LMT de grade AIS B ont de meilleurs indicateurs de performance (AUC, OCA, spécificité) que les patients ayant subi une LMT de grade AIS C. De plus, les facteurs mentionnés précédemment dans la revue de la littérature s'appliquent toujours comme par exemple le plus petit nombre de patients et la récupération neurologique variable des patients de grades AIS

B et C. Malgré tout, l'analyse des résultats pour les deux sous-groupes de patients illustre que bien que la marche communautaire fonctionnelle soit une capacité plus difficile à prédire que le statut de marcheur, la précision de la règle de prédiction développée demeure excellente ou bonne selon le groupe et donc utile. Il est possible que l'excellente capacité de prédiction pour les patients ayant subi une LMT de grades AIS A et D soit en partie due à leur représentation plus élevée dans la cohorte de patients utilisée pour développer la règle de prédiction. Il est également probable qu'avec une meilleure répartition des grades AIS lors du développement du modèle initial, il aurait été possible d'atteindre une meilleure précision de prédiction équilibrée pour tous les grades AIS de LMT.

En conclusion, la règle de prédiction développée dans le premier article présenté dans ce mémoire demeure un ajout majeur à la littérature pour permettre de prédire à un an la marche fonctionnelle communautaire chez des patients ayant subi une LMT alors qu'ils sont toujours dans la phase aiguë de leur traumatisme. Cette capacité fonctionnelle est encore plus difficile à prédire que le statut de marcheur décrit depuis plusieurs années dans la littérature. Plus particulièrement, cette règle de prédiction est excellente pour prédire la marche communautaire fonctionnelle pour les patients dont le statut de marcheur ou non-marcheur est plus facile à établir (grades AIS A et D), mais elle est également excellente pour prédire le statut de marcheur communautaire des patients ayant subi une LMT de grade AIS B. Malgré la littérature s'intéressant au potentiel de marche, ce groupe de patients demeurerait à ce jour avec une incertitude par rapport à leur propre potentiel de marche.

5.5 Importance de la comparaison des règles statistiques au jugement des cliniciens appliquée à la marche chez les patients avec lésion médullaire traumatique

Tel que mentionné dans la revue de littérature, lors du développement d'une règle de prédiction, il est plus qu'important de s'assurer que celle-ci ait une valeur ajoutée clinique à l'objectif qu'elle souhaite remplir.¹³⁹ Dans le cas contraire, même si cette règle de prédiction clinique est précise et performante, elle ne sera jamais utilisée de routine en clinique pour améliorer les soins aux patients. Une manière de vérifier qu'elle remplit bien sa fonction et apporte des informations supplémentaires est de la comparer au jugement non structuré des cliniciens qui auront à l'utiliser quotidiennement.¹³⁹ Malheureusement, tel que mentionné plus tôt, cette étape est trop peu souvent accomplie et ne l'a même jamais été pour les nombreuses règles de prédiction clinique de la marche qui existent pour les patients atteints de LMT.^{139,144}

Le deuxième article de ce mémoire a donc comparé la capacité de prédire la marche à l'intérieur du domicile des cliniciens œuvrant dans le domaine des LMT à une règle de prédiction clinique de la marche précise, performante et déjà bien établie dans le domaine des LMT depuis plusieurs années, mais peu utilisée de routine en clinique. La règle de prédiction clinique choisie qui a été comparée au jugement des cliniciens est celle de *Van Middendorp et al.*¹⁸ présentée précédemment dans la revue de la littérature. Ce choix a été fait puisque cette règle de prédiction est déjà publiée et validée dans la littérature, connue des scientifiques et disponible dans plusieurs livres de référence, en plus d'être complémentaire à la règle développée dans le premier article joint à ce mémoire. La règle développée dans ce mémoire n'a pas été choisie puisqu'elle n'est pas encore disponible dans la littérature scientifique.

Les cliniciens ayant participé à cette étude travaillent avec la population de patients ayant subi une LMT dans différentes spécialités médicales (plus précisément la médecine physique et réadaptation et la chirurgie orthopédique), possèdent différents niveaux d'expérience (médecin résident, médecin junior et médecin sénior) et prennent en charge les patients à différents moments après leur traumatisme (prise en charge en phase aiguë et prise en charge en réadaptation fonctionnelle intensive). Ils avaient accès, afin de déterminer la capacité de marcher à l'intérieur du domicile des patients à l'aide de leur jugement clinique, à toutes les informations auxquelles un clinicien a

habituellement accès lorsque le patient a subi son traumatisme depuis quelques jours, incluant notamment mais sans s'y limiter l'âge et l'évaluation initiale en aigu de l'ISNCSCI.

Les résultats obtenus dans le deuxième article présenté dans ce mémoire ont démontré que la performance globale des cliniciens est similaire (non statistiquement différente) de la performance de la règle de prédiction clinique développée par *Van Middendorp et al.*¹⁸ (capacité de prédiction de 79% et 81% respectivement). Cependant, en analysant plus en profondeur les résultats, la performance de prédiction des cliniciens varie de manière importante selon certains facteurs.

Le facteur qui semble influencer davantage la performance de prédiction est le moment et le contexte de la prise en charge par les cliniciens des patients ayant subi une LMT, soit la prise en charge dans la phase aiguë du traumatisme par rapport au moment de l'arrivée du patient en réadaptation fonctionnelle intensive. Tout d'abord, la meilleure performance de prédiction des cliniciens qui travaillent avec les patients dans la phase aiguë de leur traumatisme peut s'expliquer par le développement du flair clinique de ceux-ci dans leur pratique quotidienne. En effet, les cliniciens œuvrant dans les centres de trauma voient de manière générale les patients ayant subi une LMT dans les 14 premiers jours après leur trauma et les revoient par la suite régulièrement, incluant à un an lors des suivis. Ceci leur permet de développer, avec l'expérience, une expertise clinique supplémentaire à celle qu'ils possèdent déjà sur le sujet. En contrepartie, les cliniciens œuvrant en centre de réadaptation ne développent pas ou peu cette expertise clinique supplémentaire, puisqu'ils reçoivent les patients en centre de réadaptation en moyenne trois à quatre semaines après leur LMT. De plus, les cliniciens œuvrant en centre de réadaptation sont seulement exposés aux patients ayant subi une LMT qui ont un potentiel de récupération et de nombreux objectifs de réadaptation, dont les déplacements fonctionnels : ceci pourrait possiblement faire partie de l'explication. En effet, certains patients ne seront pas référés en réadaptation fonctionnelle intensive : ceux sans potentiel d'amélioration fonctionnelle significatif, plus particulièrement ceux ayant subi une LMT plus sévère; ceux sans capacités cognitives suffisantes pour faire des apprentissages; et ceux ayant déjà au préalable un fonctionnement précaire qui pourront même être réorientés directement en CHSLD. Ce facteur limiterait donc l'exposition des cliniciens à ce type de patients plus sévèrement atteints. Le cas contraire pourrait également survenir, c'est-à-dire que les patients ayant subi une LMT moins sévère et qui évoluent très favorablement ne sont pas référés en réadaptation fonctionnelle intensive et retournent

directement à leur domicile, entraînant à nouveau un biais d'exposition des cliniciens œuvrant en réadaptation fonctionnelle intensive.

Le deuxième facteur qui semble avoir un impact plus important sur la performance de prédiction des cliniciens est leur spécialité médicale. Cela peut possiblement s'expliquer par une manière différente d'aborder les cas de LMT qui leur sont présentés et une réflexion différente par rapport à leur évolution. En effet, les facteurs jugés importants ou même essentiels lors de l'évaluation d'une LMT peuvent légèrement différer selon la spécialité médicale. D'une part, les chirurgiens orthopédiques recueillent habituellement les informations déterminantes initialement pour la prise en charge opératoire et périopératoire, telles que le niveau et la sévérité de la LMT, les caractéristiques clinico-radiologiques de la lésion et la chirurgie effectuée. D'autre part, les physiatres ont habituellement tendance à prendre en considération de multiples et diverses informations, dont par exemple le statut psychosocial, le niveau de mobilité antérieur et la proprioception aux membres inférieurs. Il est possible que la prise en considération de toutes ces informations ait mené à une confusion dans la prédiction des cliniciens en mettant moins d'accent sur des éléments possiblement plus importants.

Indépendamment des facteurs mentionnés ci-haut, le niveau d'expérience des cliniciens a un impact variable sur la performance de prédiction alors que l'hypothèse intuitive laissait envisager qu'elle aurait suivi une augmentation proportionnelle au niveau d'expérience clinique. Les médecins juniors sont ceux ayant obtenu la meilleure performance de prédiction dans le groupe des physiatres et des chirurgiens orthopédiques. Cette meilleure performance pourrait potentiellement s'expliquer par deux facteurs. Premièrement, les médecins résidents sont des médecins en formation par rapport à la spécialité médicale qu'ils ont choisie. Ils ont une expérience clinique qui varie en général de deux à six ans selon leur progression dans leur processus de résidence. Dans ce contexte, ils ont parfois été peu exposés à l'éventail de présentations cliniques possibles pour une même pathologie. Bien que leurs connaissances fondamentales tirées des manuels et articles scientifiques puissent être excellentes, l'habileté de prise de décision clinique et le jugement clinique sont des capacités qu'ils acquièrent avec l'expérience. Il est donc possible qu'ils nécessitent une plus grande exposition pour une pathologie particulière afin de parfaire leur processus de décision clinique. Deuxièmement, les patrons juniors sont des médecins qui ont en général terminé dans les dernières années leur formation médicale. La fin de la formation médicale

accompagnée de l'examen de certification et souvent l'année subséquente de surspécialisation en *fellowship* permet aux médecins juniors de développer des connaissances de pointe dans leur domaine d'expertise. Ils sont donc au fait de la littérature la plus récente et connaissent sur le bout de leurs doigts les lignes directrices à appliquer aux différentes situations cliniques. Cela a pu les mener à une performance légèrement meilleure malgré leur expérience clinique inférieure à celle de leurs collègues seniors.

Également, tel qu'attendu et discuté plus amplement précédemment, la sévérité du grade AIS influençait également la performance de prédiction. Comme mentionné dans la revue de la littérature, les patients ayant subi une LMT de grade AIS A ont un potentiel de marche initialement plus facile à établir que les patients ayant subi une LMT de grades AIS B et C.^{37,41,47}

Il serait donc possible que certains cliniciens bénéficient plus de l'utilisation de cette règle de prédiction clinique dans leur pratique comme une aide à la décision clinique que d'autres. En effet, la pratique de certains cliniciens peut être biaisée par une prise en charge de patients ayant subi des LMT avec des déficits généralement plus lourds ou plus légers. Des cliniciens en début de pratique pourraient également se voir rassurés d'utiliser cette règle dans la discussion d'un pronostic de marche plus difficile à établir afin de pouvoir répondre avec plus d'assurance aux questions des patients et des autres professionnels de la santé, tout en s'appuyant sur une donnée concrète. Les résultats présentés dans le deuxième article de ce mémoire ont permis de définir une nouvelle valeur standard de pratique dans la performance de la prédiction de la marche de 80%. Cela permettra d'ajouter un poids supplémentaire aux arguments des cliniciens lors des discussions avec le patient ayant subi une LMT sur son pronostic de marche. De plus, cette règle de prédiction peut devenir une valeur de référence pour les cliniciens dans leur apprentissage. Le deuxième article présenté dans ce mémoire atteste donc de l'utilité d'utiliser des règles de prédiction clinique de routine pour définir le pronostic de la marche chez les patients ayant subi une LMT.

5.6 Limitations

Les articles et résultats supplémentaires présentés dans ce mémoire ont permis de remplir les objectifs fixés à l'intérieur de celui-ci. Malheureusement, comme mentionné précédemment, tous les résultats n'ont pas confirmé les hypothèses initiales et cela pourrait être entre autres secondaire à certaines limitations rencontrées.

Tout d'abord, malgré que la règle de prédiction de la marche communautaire fonctionnelle un an après une LMT présentée dans le premier article de ce mémoire démontre une bonne performance et précision de prédiction et qu'elle ait obtenu des résultats positifs lors du processus de validation externe, sa généralisation demeure un peu limitée puisque la cohorte de patients utilisée provenait d'un seul centre spécialisé dans la prise en charge des LMT.

Également, tel que mentionné dans la discussion sur la difficulté de prédiction de la marche pour les patients ayant subi des LMT de grades AIS B et C et soulevé par l'équipe de *Phan et al.*¹⁷, la règle de prédiction développée pour la marche communautaire fonctionnelle à un an suivant une LMT ne permet pas de prédire avec la même précision et performance le résultat fonctionnel pour tous les grades de lésions. Sa plus grande faiblesse réside dans la prédiction du potentiel de marche communautaire fonctionnelle des patients ayant subi une LMT de grade AIS C. Tel que mentionné précédemment, la règle de prédiction développée dans le premier article joint à ce mémoire se voulait être une aide à la décision clinique pour les équipes de soins aigus qui doivent très précocement discuter d'une question importante avec les patients ayant subi une LMT. Dans ce contexte, il était primordial que cette règle de prédiction soit utile en répondant à une question pour laquelle il existe peu de données actuellement pour guider le pronostic de marche communautaire fonctionnelle. Il était également essentiel que cette règle de prédiction puisse être utilisée dans la phase aiguë du traumatisme pour tous les patients, quel que soit le niveau lésionnel ou la sévérité de leur LMT. La conversion de grade AIS après une LMT est fréquente et il était important que cette règle de prédiction ne soit pas dépendante du grade AIS, alors qu'il peut changer dans les mois suivants le traumatisme.^{2,37}

Finalement, il était également indispensable que cette règle soit facilement utilisable en clinique pour faciliter son implantation. Dans ce contexte, il n'était pas envisageable de développer une règle de prédiction différente pour chaque grade AIS de patients. Cela aurait diminué la

généralisation, compliqué l'utilisation, limité le transfert dans la prise en charge clinique et augmenté la lourdeur des soins aux patients. Il aurait été possible de développer un outil technologique (système d'exploitation disponible sur un ordinateur ou un appareil intelligent) permettant les calculs complexes nécessaires pour prendre en considération de nombreuses variables propres à un patient. Cependant, il a été choisi de simplifier au maximum la règle de prédiction clinique, car la complexité d'un outil technologique nécessite du temps et des compétences supplémentaires pour pouvoir l'utiliser de manière appropriée et sécuritaire.¹⁷⁰ Encore aujourd'hui, plusieurs barrières existent à l'utilisation d'outils technologiques en médecine: le nombre d'outils disponibles, puisqu'un clinicien ne peut connaître la meilleure méthode d'utilisation de tous les outils existants; les *design* souvent inappropriés pour la réalité clinique visée; les ressources nécessaires pour mettre en place les outils et les maintenir à jour; l'entraînement nécessaire pour en faire une utilisation adéquate; etc.¹⁶² Un outil plus simple permet de présenter les résultats de façon claire,¹⁷¹ protège mieux l'information confidentielle,¹⁷² soutient une meilleure relation médecin-patient¹⁷² et assure que les cliniciens aient accès à l'information peu importe l'environnement socioéconomique dans lequel ils pratiquent.^{162,172} Sur un autre ordre d'idée, il aurait toutefois pu être intéressant de tenter de développer une règle de prédiction clinique de la marche communautaire fonctionnelle à un an suivant le traumatisme avec un nombre équivalent de patients de chaque grade AIS dans la cohorte. Bien que cela ne représenterait pas une cohorte standard de patients ayant subi une LMT,¹⁴¹ il serait possible qu'une telle règle de prédiction ait une performance et une précision de prédiction plus globalement équilibrées pour tous les grades AIS de patients ayant subi une LMT.

Le deuxième article présenté dans ce mémoire a pour la première fois comparé une règle de prédiction pour les patients ayant subi une LMT au jugement clinique non structuré afin de vérifier la valeur ajoutée d'une telle règle dans la pratique clinique courante. Cet article a permis d'établir une valeur de référence quant au pourcentage de prédiction de cohorte à rencontrer minimalement pour les cliniciens lorsqu'ils établissent le pronostic de marche des patients. L'hypothèse à vérifier était que la performance de la règle de prédiction serait supérieure au jugement non structuré des cliniciens. Cependant, la performance de la règle de prédiction a été équivalente statistiquement au jugement non structuré des cliniciens dans la prédiction de la marche à l'intérieur du domicile. Tel que discuté plus tôt, les résultats entre les différents cliniciens ont été hautement variables en fonction de multiples facteurs. Une des faiblesses mentionnées dans le deuxième article qui aurait

pu limiter l'obtention d'une différence statistiquement significative lors de la prise des résultats est le nombre peu élevé de cliniciens ayant participé à l'étude. Lors de la planification de la méthodologie, les cliniciens participants ont été choisis afin d'avoir une représentation globale de chaque discipline médicale, des différents niveaux d'expérience et de chaque moment de prise en charge. Cependant, un seul clinicien ayant participé à l'étude remplissait chaque combinaison de critères : ainsi, si ceux-ci se démarquaient particulièrement parmi leurs pairs en ce qui a trait à la connaissance des facteurs influençant la marche et le pronostic fonctionnel chez les patients ayant subi une LMT, un biais d'échantillonnage pourrait possiblement avoir influencé les résultats.

De plus, toujours par rapport au deuxième article, tous les cliniciens inclus dans l'étude provenaient du même centre de référence en traumatologie pour les patients ayant subi une LMT ainsi que du même centre de réadaptation affilié. Dans ce contexte, il est possible que certains cliniciens participants aient eu à évaluer certains dossiers de patients pour lesquels ils avaient déjà participé aux soins et à la prise en charge. Afin de limiter la reconnaissance des patients via leur dossier, les informations sensibles ont été anonymisées. Cependant, certaines parties des dossiers, telles que par exemple le mécanisme du traumatisme, la chirurgie pratiquée ou encore la calligraphie possiblement reconnaissable des dossiers papier numérisés, n'ont pu être masquées ou changées dans les dossiers remis aux cliniciens participants. Dans ce contexte, il est possible que certains cliniciens participants aient eu un avantage par rapport à d'autres puisque leur prédiction a possiblement été influencée par leur connaissance du statut de marcheur à 12 mois de certains patients. Cela aurait donc pu entraîner un biais favorable envers certains cliniciens participants et surestimer leur capacité de prédiction. Bien que cette limitation soit possible, il apparaît cependant peu probable qu'elle ait joué un rôle important dans la performance globale de prédiction des cliniciens. Il serait tout de même important de contrôler ce biais dans une étude future similaire si elle venait à être réalisée.

Finalement, toujours par rapport au deuxième article, tel que mentionné, tous les cliniciens inclus dans l'étude provenaient du même centre de référence en traumatologie pour les patients ayant subi une LMT et du même centre de réadaptation affilié. Il serait donc possible que la performance de prédiction de cliniciens provenant d'autres centres nationaux et internationaux spécialisés dans la prise en charge de patients avec LMT soit discordante par rapport aux résultats obtenus en fonction d'approches différentes dans la manière d'établir le pronostic fonctionnel, de différences

culturelles, de différences dans la population standard de patients (ex. : patients plus jeunes) ou de facteurs de risque de subir une LMT différents (ex. : plus de blessures liées à des actes de violence). Une manière de vérifier cette hypothèse et de contrôler ce possible biais serait de compléter une étude similaire à celle présentée dans le deuxième article, mais à plus grand déploiement. Cette future étude pourrait impliquer plusieurs cliniciens qui rencontrent les mêmes caractéristiques en termes de spécialité médicale, niveau d'expérience et moment de prise en charge du patient, en plus de provenir de différents centres de trauma spécialisés dans la prise en charge de patients ayant subi une LMT et des centres de réadaptation affiliés.

5.7 Applications cliniques et directions futures

En raison des priorités des patients ayant subi une LMT, il est d'une importance capitale de pouvoir déterminer très précocement dans la phase aiguë le niveau de marche communautaire fonctionnelle que ceux-ci atteindront un an après leur traumatisme.⁵⁻¹⁰ Cela permettra aux patients d'ajuster de façon plus réaliste leurs attentes par rapport à leur réintégration communautaire et permettra également aux professionnels des soins de santé qui les accompagnent dans leur récupération de mieux estimer la quantité et le type de ressources dont les patients auront besoin à plus long terme. Globalement, ce projet visait à développer un outil simple, utile et accessible pour les cliniciens qui pourrait les aider à prédire, très précocement après le traumatisme, le pronostic de marche communautaire fonctionnel à un an des patients ayant subi une LMT. En effet, la marche communautaire est un élément essentiel à une réintégration communautaire et sociale réussie et est fortement associée à une plus haute qualité de vie en plus d'être un déterminant de santé.^{5-7,11,46}

Les résultats présentés dans ce mémoire viennent combler plusieurs besoins non satisfaits par la littérature actuelle. En effet, ils ont permis d'identifier deux méthodes d'évaluation simple déjà intégrées à l'évaluation standardisée ISNCSCI réalisée dans la phase aiguë chez les patients ayant subi une LMT et fortement corrélées à une marche communautaire fonctionnelle. Ces méthodes d'évaluation pourront s'ajouter à la boîte à outils des cliniciens pour discuter du pronostic fonctionnel à long terme des patients. Les myotomes L3 et L5 ont également été identifiés comme des myotomes innervant des muscles clés à cibler lors de la réadaptation afin d'y augmenter la force segmentaire et potentialiser la marche communautaire. De plus, une première règle de prédiction permettant d'évaluer le pronostic de marche communautaire fonctionnel a également été développée et permettra dorénavant aux cliniciens d'utiliser une aide à la décision clinique lorsqu'ils aborderont l'utilisation quotidienne de la marche communautaire comme méthode de déplacement chez la clientèle. Finalement, une valeur de prédiction de cohorte standard pour la prédiction de la marche à l'intérieur du domicile a été établie. Cette valeur de référence permettra aux cliniciens d'illustrer un ordre de grandeur des probabilités lors de leurs discussions avec les patients sur ce dénouement fonctionnel. Elle leur permettra également de se remettre en question par rapport à leur propre pratique et d'améliorer leur jugement clinique lorsqu'ils rencontreront un cas pour lequel le pronostic est d'emblée plus difficile à établir.

À la lumière de ces résultats, il apparaît donc évident qu'améliorer la capacité de prédiction d'une capacité fonctionnelle aussi importante mais difficile à établir qu'est la marche fonctionnelle en communauté apporte des bénéfices non négligeables pour la communauté scientifique. Dans ce contexte, de multiples étapes pourraient être entreprises à la suite de ces recherches afin de continuer à améliorer la capacité de prédiction de ce résultat fonctionnel, et par le fait même de la règle de prédiction clinique développée dans le premier article joint à ce mémoire. Tout d'abord, une direction intéressante à explorer serait de retravailler la règle de prédiction publiée afin de s'assurer qu'elle puisse combler de manière équitable le besoin de prédiction pour tous les patients ayant subi une LMT, quel que soit leur grade AIS. Dans cette optique, il est souhaitable de développer une seule règle de prédiction qui puisse être généralisée à tous les patients ayant subi une LMT et que celle-ci demeure simple, accessible et facile à utiliser. Ainsi, une avenue à explorer pourrait être de tenter de modifier la règle actuelle en donnant un poids équivalent aux patients de tous les grades AIS plutôt que d'avoir une règle de prédiction différente pour chaque grade AIS ou seulement une règle pour une sous-catégorie de patients pour lesquels le pronostic de marche est plus difficile à établir.^{14,17} Étant donné que la plus grande faiblesse de la règle de prédiction produite réside dans la prédiction du potentiel de marche communautaire fonctionnelle des patients ayant subi une LMT de grade AIS C, il serait intéressant d'intégrer l'évaluation de d'autres variables indépendantes telles que l'équilibre du tronc et la présence de spasticité en extension dans les membres inférieurs qui permettraient possiblement d'améliorer la précision de la prédiction pour ces patients. Ceci pourrait possiblement permettre d'avoir une règle de prédiction globalement et individuellement plus performante pour tous les patients ayant subi une LMT. Une autre avenue d'amélioration potentielle future, spécifique aux LMT de grade AIS C cette fois, serait de tenter de vérifier s'il n'y a pas des sous-groupes de patients dans cette catégorie aux caractéristiques hétérogènes qui expliqueraient pourquoi il est plus difficile de prédire le pronostic fonctionnel de ce groupe de patients.

Par la suite, afin de maximiser l'acceptation, l'utilisation et la diffusion de cette règle de prédiction par la communauté scientifique, plusieurs autres études répondant à des objectifs distincts pourraient être entreprises. Tel que mentionné dans ce mémoire, il est nécessaire très tôt dans le développement d'une règle de prédiction de s'assurer de l'utilité et de la valeur ajoutée de celle-ci par rapport à la pratique standard contemporaine des cliniciens du domaine. Dans ce contexte, une avenue à explorer serait de confronter la règle de prédiction de la marche communautaire

développée dans ce mémoire au jugement non structuré des cliniciens, tel que cela a été accompli pour une autre règle de prédiction de la marche dans le deuxième article joint. Ceci permettrait de mettre à l'avant-plan la valeur ajoutée de cette règle de prédiction en termes de précision et de performance. Il serait également intéressant d'évaluer la tendance des cliniciens participants à surestimer ou sous-estimer le pronostic de marche, ce qui n'a pas été réalisé dans le cadre de ce projet de recherche. Étant donné que cette règle de prédiction se veut une aide à la décision et un outil supplémentaire pour guider le jugement des cliniciens, il serait encore plus intéressant par la suite de comparer la capacité de prédire la marche communautaire fonctionnelle chez des cliniciens avant et après l'incorporation de cette règle dans leur pratique. Des variables telles que le confort dans la prise de décision des cliniciens, la réceptivité des patients après l'annonce du pronostic et l'impact de l'utilisation de la règle sur l'établissement du pronostic pourraient également être évalués dans cette étude, en plus de la capacité d'établir adéquatement le pronostic de marche communautaire. Ceci permettrait de démontrer l'impact positif de cette règle de prédiction dans la pratique de tous les jours pour les patients et les professionnels de la santé, en mettant l'accent sur son apport pour l'amélioration des soins aux patients.

Toujours dans l'optique de pouvoir parvenir à une implantation réussie de cette règle de prédiction clinique, il serait également intéressant de compléter la phase de validation afin que les cliniciens puissent utiliser avec confiance cette règle de prédiction sur d'autres patients que ceux qui ont servi à son développement.¹³⁹ En vue d'atteindre cet objectif, il serait intéressant que des études dans d'autres centres nationaux ou internationaux s'intéressent au processus de validation externe de cette règle avec différentes cohortes de patients ayant subi une LMT.¹³⁹ En effet, bien que cette recherche ait été réalisée dans un centre d'expertise pour les personnes ayant subi une lésion médullaire, le pronostic fonctionnel de marche communautaire pourrait varier selon des facteurs sociodémographiques dont l'impact n'a pas encore été découvert. Ceci permettrait d'assurer à la communauté scientifique que cette règle de prédiction soit hautement généralisable.

Finalement, cette recherche n'avait pas pour objectif d'examiner l'impact qu'une règle de prédiction peut avoir sur les différents acteurs qui en bénéficieront, même s'il est possible d'en déduire une certaine partie. Il serait donc particulièrement intéressant de tenter de mesurer l'impact qu'une telle règle de prédiction qui s'intéresse à une capacité fonctionnelle aussi importante peut avoir sur de nombreux facteurs.¹³⁹ Pour n'en nommer que quelques-uns, il serait possible d'évaluer

l'influence de l'utilisation de la règle développée par rapport à l'utilisation des ressources humaines et matérielles dans la phase aiguë, subaiguë ou chronique; ou encore de considérer la qualité de vie des patients en fonction, par exemple, de la satisfaction d'avoir reçu un pronostic précoce basé sur une règle dont l'efficacité est démontrée. Une autre piste intéressante pourrait être d'explorer la satisfaction des cliniciens par rapport à l'utilisation de la règle développée et de la règle de *Van Middendorp et al.*¹⁸ par exemple, puisqu'elles sont complémentaires.

Cette recherche n'avait pas non plus pour objectif d'évaluer l'aspect éthique de l'utilisation des règles de prédiction, bien que cet élément soit essentiel à leur utilisation. Il est en effet très important de considérer l'effet qu'aura un pronostic établi et annoncé très précocement après un diagnostic, comme par exemple les conséquences d'une LMT sur un patient et ses proches.¹⁷³ La littérature actuelle n'a cependant jamais examiné l'effet d'une révélation précoce du pronostic après une LMT sur le patient et son évolution ainsi que sur ses proches. Les règles de prédiction sont une manière systématique de générer une prédiction clinique.¹⁷³ Il ne faut cependant pas oublier que ces règles sont des représentations mathématiques de résultats qui sont encore à venir.¹⁷⁴ Ainsi, bien que le résultat obtenu d'une règle de prédiction soit habituellement corrélé avec l'atteinte vérifiée de la capacité fonctionnelle, établir un pronostic demeure un art à parfaire qui devrait toujours tenir compte d'un jugement clinique individualisé.¹⁷³ En effet, les règles de prédiction ne prennent pas en considération le profil biopsychosocial des patients, lequel peut évoluer entre le moment du traumatisme, du diagnostic, de l'établissement du pronostic et de l'atteinte de la capacité fonctionnelle à long terme. Pour cette raison, faire appel à une équipe interdisciplinaire pour établir un pronostic est souvent plus précis et plus avisé.¹⁷³ De plus, tel que mentionné, plusieurs règles de prédiction de la littérature médicale sont produites avec différents taux de précision de prédiction. Même, il n'existe pas de taux de prédiction clairement établi comme seuil approprié pour utiliser une règle de prédiction en clinique au chevet des patients. Une règle de prédiction devrait être jugée adéquate pour une utilisation clinique seulement lorsque celle-ci se montre supérieure au jugement clinique ou apporte des éléments supplémentaires à l'évaluation.¹⁷³ Ainsi, pour débiter la réflexion par rapport à l'aspect éthique, il serait d'abord intéressant de faire une étude qualitative chez les patients ayant subi une LMT en les questionnant ouvertement à différents moments après leur traumatisme par rapport à l'influence de l'annonce d'un pronostic précoce de marche sur différents aspects de leur vie (fonctionnement, retour à domicile, retour au travail, relation avec leurs proches, qualité de vie, etc.).

Chapitre 6 : Conclusion

Une LMT a des conséquences neurologiques et fonctionnelles majeures et le plus souvent permanentes sur le fonctionnement de la vie quotidienne, la participation communautaire et sociale ainsi que sur la qualité de vie des patients. Ces conséquences incluent également le plus souvent une altération de la capacité de marcher, un des déterminants majeurs de la santé. Les patients souhaitent habituellement savoir s'ils auront la capacité de marcher à nouveau alors qu'ils sont encore dans la phase aiguë de leur traumatisme. Cette recherche vient donc combler des besoins incontestables dans la littérature des LMT. Tel que présenté dans ce mémoire, l'aboutissement de cette recherche aura des répercussions importantes. Les résultats de cette recherche permettront en effet d'aider les patients en établissant des attentes réalistes par rapport à un objectif fonctionnel de première importance et en les aidant à cibler leurs objectifs de réadaptation. Ils permettront également au personnel des soins de santé de mieux orienter les ressources de réadaptation en fonction du niveau de marche communautaire indépendante prédit et de mieux planifier le retour et la participation à une vie active des patients atteints d'une LMT. Finalement, ces résultats assisteront les cliniciens dans leur processus de décision clinique en instaurant un niveau de référence standard sur lequel s'appuyer.

Le premier article présenté dans ce mémoire est la première étude dans la littérature actuelle qui comble le besoin de prédire la marche fonctionnelle communautaire à un an après une LMT alors que les patients se trouvent encore dans la phase aiguë de leur traumatisme. La règle de prédiction développée dans cet article est utile, précise, facilement accessible en clinique et permet de prédire la marche extérieure sur une longue distance tout en considérant la qualité de la marche utilisée chez les patients avec LMT. Cet article est également le premier dans la littérature à ce jour à identifier quelles sont les meilleures variables qui peuvent prédire la marche fonctionnelle indépendante dans l'évaluation de l'ISNCSCI initiale.

Le deuxième article présenté dans ce mémoire est également la première étude dans la littérature actuelle qui compare une règle de prédiction clinique au jugement non structuré des cliniciens dans le domaine des LMT. Cette étude établit que la performance globale d'une règle de prédiction statistiquement précise est similaire à la performance globale des cliniciens lorsque l'on veut

prédire la capacité de marche sur une courte distance intérieure à un an après une LMT. Les résultats de cet article distinguent cependant aussi que la capacité de prédiction des cliniciens varie selon leur niveau d'expérience, leur centre d'exposition et leur champ d'expertise, entre autres. Dans ce contexte, une règle de prédiction clinique peut permettre d'établir une valeur de référence standard en prédiction de cohorte et d'instaurer un objectif à atteindre dans la pratique des cliniciens du domaine. Ce deuxième article vient finalement souligner l'importance de comparer les règles de prédiction à la pratique clinique très tôt afin de mettre à l'avant-plan leur valeur clinique ajoutée.

Références bibliographiques

1. Cifu DX. *Braddom's Physical Medicine and Rehabilitation*. Fifth ed: Elsevier; 2016.
2. Steven Kirshblum DIC. *Spinal Cord Medicine*. Vol 1. 2nd ed. USA: Wolters Kluwer; 2011.
3. Praxis Spinal Cord Institute. Rick Hansen Spinal Cord Injury Registry - A look at traumatic spinal cord injury in Canada in 2018. Vancouver, BC: Praxis; 2020.
4. Praxis Spinal Cord Institute. Rick Hansen SCI Registry Community Report. Vancouver, BC: Praxis; 2019.
5. Lapointe R, Lajoie Y, Serresse O, Barbeau H. Functional community ambulation requirements in incomplete spinal cord injured subjects. *Spinal cord*. 2001;39(6):327-335.
6. Amatachaya S, Amatachaya P, Keawsutthi M, Siritaratiwat W. External cues benefit walking ability of ambulatory patients with spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine*. 2013;36(6):638-644.
7. Goulet J, Richard-Denis A, Thompson C, Mac-Thiong JM. Relationships Between Specific Functional Abilities and Health-Related Quality of Life in Chronic Traumatic Spinal Cord Injury. *Am J Phys Med Rehabil*. 2019;98(1):14-19.
8. Ditunno PL, Patrick M, Stineman M, Ditunno JF. Who wants to walk? Preferences for recovery after SCI: a longitudinal and cross-sectional study. *Spinal cord*. 2008;46(7):500-506.
9. Ulkar B, Yavuzer G, Guner R, Ergin S. Energy expenditure of the paraplegic gait: comparison between different walking aids and normal subjects. *International journal of rehabilitation research Internationale Zeitschrift fur Rehabilitationsforschung Revue internationale de recherches de readaptation*. 2003;26(3):213-217.
10. Scivoletto G, Romanelli A, Mariotti A, et al. Clinical factors that affect walking level and performance in chronic spinal cord lesion patients. *Spine*. 2008;33(3):259-264.
11. Burns SP, Golding DG, Rolle WA, Jr., Graziani V, Ditunno JF, Jr. Recovery of ambulation in motor-incomplete tetraplegia. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1997;78(11):1169-1172.

12. Charlson ME, Charlson RE, Peterson JC, Marinopoulos SS, Briggs WM, Hollenberg JP. The Charlson comorbidity index is adapted to predict costs of chronic disease in primary care patients. *Journal of clinical epidemiology*. 2008;61(12):1234-1240.
13. Ditunno JF, Jr., Barbeau H, Dobkin BH, et al. Validity of the walking scale for spinal cord injury and other domains of function in a multicenter clinical trial. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2007;21(6):539-550.
14. Hicks KE, Zhao Y, Fallah N, et al. A simplified clinical prediction rule for prognosticating independent walking after spinal cord injury: a prospective study from a Canadian multicenter spinal cord injury registry. *The Spine Journal*. 2017;17(10):1383-1392.
15. van Middendorp JJ, Hosman AJ, Donders AR, et al. A clinical prediction rule for ambulation outcomes after traumatic spinal cord injury: a longitudinal cohort study. *Lancet (London, England)*. 2011;377(9770):1004-1010.
16. van Middendorp JJ, Hosman AJ, Pouw MH, Van de Meent H. Is determination between complete and incomplete traumatic spinal cord injury clinically relevant? Validation of the ASIA sacral sparing criteria in a prospective cohort of 432 patients. *Spinal cord*. 2009;47(11):809-816.
17. Phan P, Budhram B, Zhang Q, et al. Highlighting discrepancies in walking prediction accuracy for patients with traumatic spinal cord injury: an evaluation of validated prediction models using a Canadian Multicenter Spinal Cord Injury Registry. *The Spine Journal*. 2019;19(4):703-710.
18. van Middendorp JJ, Hosman AJF, Donders ART, et al. A clinical prediction rule for ambulation outcomes after traumatic spinal cord injury: a longitudinal cohort study. *The Lancet*. 2011;377(9770):1004-1010.
19. Kilgore KL, Scherer M, Bobblitt R, et al. Neuroprosthesis consumers' forum: consumer priorities for research directions. *Journal of rehabilitation research and development*. 2001;38(6):655-660.
20. Sanders S, Doust J, Glasziou P. A systematic review of studies comparing diagnostic clinical prediction rules with clinical judgment. *PLoS One*. 2015;10(6):e0128233.
21. Larousse : Dictionnaire de la langue française; Expression : Moelle épinière. Accessed 09/2020.
22. Steven Kirshblum VWL. *Spinal Cord Medicine*. Vol 1. Third Edition ed. United States of America: Springer Publishing; 2019.

23. Cuccurullo SJ. *Physical Medicine and Rehabilitation Board Review*. Fourth ed: Srpinger Publishing 2020.
24. Blumenfeld H. *Neuroanatomy through clinical Cases*. Vol 1. 2nd ed. Yale Univeristy School of Medicine: Sinauer Associates, Inc.; 2010.
25. Minassian K, Hofstoetter US, Dzeladini F, Guertin PA, Ijspeert A. The Human Central Pattern Generator for Locomotion: Does It Exist and Contribute to Walking? *Neuroscientist*. 2017;23(6):649-663.
26. Dimitrijevic MR, Gerasimenko Y, Pinter MM. Evidence for a spinal central pattern generator in humans. *Ann N Y Acad Sci*. 1998;860:360-376.
27. Ijspeert AJ. Central pattern generators for locomotion control in animals and robots: a review. *Neural Netw*. 2008;21(4):642-653.
28. Moutquin J-m. Lésions médullaires traumatiques et non-traumatiques: analyse comparative des caractéristiques et de l'organisation des soins et services de réadaptation au Québec. In: (INESSS) Indeeseess, editor. Québec, Canada: Bibliothèque et archives nationales du Québec, ETMIS; 2013. p. 1-44.
29. Conforti L, Gilley J, Coleman MP. Wallerian degeneration: an emerging axon death pathway linking injury and disease. *Nat Rev Neurosci*. 2014;15(6):394-409.
30. Chen P, Piao X, Bonaldo P. Role of macrophages in Wallerian degeneration and axonal regeneration after peripheral nerve injury. *Acta Neuropathol*. 2015;130(5):605-618.
31. Dvorak MF, Noonan VK, Fallah N, et al. Minimizing errors in acute traumatic spinal cord injury trials by acknowledging the heterogeneity of spinal cord anatomy and injury severity: an observational Canadian cohort analysis. *Journal of Neurotrauma*. 2014;31(18):1540-1547.
32. Association ASI. International Standard Diagram Worksheet. https://asia-spinalinjury.org/wp-content/uploads/2016/02/International_Std_Diagram_Worksheet.pdf. Published 2016. Accessed 2020.
33. Michael Fehlings AR, Boakye M, Rossignol S, Ditunno JF, Jr, Anthony S. Burns Essentials of Spinal Cord Injury Basic Research to Clinical Practice. Denver, CO: Thieme Medical Publishers Inc. (2013).
34. Québec MÊeM. Le parcours d'un nouveau blessé médullaire – Continuum de services dans les Centres d'expertise pour blessés médullaires de l'Est et de l'Ouest du Québec:

Moelle Épinière et Motricité Québec; 2018 [Available from: <http://www.moelleepiniere.com/our-services/social-integration/le-parcours-dun-nouveau-blesse-medullaire/>].

35. Alizadeh A, Dyck SM, Karimi-Abdolrezaee S. Traumatic Spinal Cord Injury: An Overview of Pathophysiology, Models and Acute Injury Mechanisms. *Front Neurol.* 2019;10:282.
36. Kakulas BA. Neuropathology: the foundation for new treatments in spinal cord injury. *Spinal cord.* 2004;42(10):549-563.
37. Fawcett JW, Curt A, Steeves JD, et al. Guidelines for the conduct of clinical trials for spinal cord injury as developed by the ICCP panel: spontaneous recovery after spinal cord injury and statistical power needed for therapeutic clinical trials. *Spinal cord.* 2007;45(3):190-205.
38. Satkunam L. Normal Gait, Gait Analysis and Pathological Gait March 2020:61, 11th Canadian Comprehensive Review Course in PM&R.
39. Waters RL, Mulroy S. The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait Posture.* 1999;9(3):207-231.
40. Stevens SL, Fuller DK, Morgan DW. Leg strength, preferred walking speed, and daily step activity in adults with incomplete spinal cord injuries. *Topics in spinal cord injury rehabilitation.* 2013;19(1):47-53.
41. Scivoletto G, Di Donna V. Prediction of walking recovery after spinal cord injury. *Brain research bulletin.* 2009;78(1):43-51.
42. Hussey RW, Stauffer ES. Spinal cord injury: requirements for ambulation. *Archives of physical medicine and rehabilitation.* 1973;54(12):544-547.
43. Wilson JR, Cadotte DW, Fehlings MG. Clinical predictors of neurological outcome, functional status, and survival after traumatic spinal cord injury: a systematic review. *Journal of neurosurgery Spine.* 2012;17(1 Suppl):11-26.
44. Crozier KS, Graziani V, Ditunno JF, Jr., Herbison GJ. Spinal cord injury: prognosis for ambulation based on sensory examination in patients who are initially motor complete. *Archives of physical medicine and rehabilitation.* 1991;72(2):119-121.
45. Crozier KS, Cheng LL, Graziani V, Zorn G, Herbison G, Ditunno JF, Jr. Spinal cord injury: prognosis for ambulation based on quadriceps recovery. *Paraplegia.* 1992;30(11):762-767.

46. Kim CM. Level walking and ambulatory capacity in persons with incomplete spinal cord injury: relationship with muscle strength. 2004;42(3):156-162.
47. Belliveau T, Jette AM, Seetharama S, et al. Developing Artificial Neural Network Models to Predict Functioning One Year After Traumatic Spinal Cord Injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2016;97(10):1663-1668.e1663.
48. Arvind, D. & Mukherjee, Debadri. (2015). Muscle Strength Testing using Wearable Wireless Sensors. *EAI Endorsed Transactions on Ambient Systems*. 3. 10.4108/eai.28-9-2015.2261461. .
49. Kendall FP. *Muscles Testing and Function with Posture and Pain*. 5th ed. United States 2005.
50. Magee, David J., author. (2014). *Orthopedic physical assessment*. St. Louis, Missouri :Elsevier,.
51. McBeath AA, Bahrke M, Balke B. Efficiency of assisted ambulation determined by oxygen consumption measurement. *J Bone Joint Surg Am*. 1974;56(5):994-1000.
52. Vosloo J, Ntsiea MV, Becker P. The energy expenditure of people with spinal cord injury whilst walking compared to an able-bodied population. *S Afr J Physiother*. 2016;72(1):255.
53. Riggins MS, Kankipati P, Oyster ML, Cooper RA, Boninger ML. The relationship between quality of life and change in mobility 1 year postinjury in individuals with spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2011;92(7):1027-1033.
54. Faruqui SR, Jaebon T. Ambulatory assistive devices in orthopaedics: uses and modifications. *J Am Acad Orthop Surg*. 2010;18(1):41-50.
55. Winchester P, Carollo JJ, Habasevich R. Physiologic costs of reciprocal gait in FES assisted walking. *Paraplegia*. 1994;32(10):680-686.
56. The Free Dictionary : Medical Dictionary. Crutches. <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/crutches>. Accessed October, 2020.
57. Scivoletto G, Morganti B, Ditunno P, Ditunno JF, Molinari M. Effects on age on spinal cord lesion patients' rehabilitation. *Spinal cord*. 2003;41(8):457-464.
58. Ahn H, Bailey CS, Rivers CS, et al. Effect of older age on treatment decisions and outcomes among patients with traumatic spinal cord injury. *CMAJ : Canadian Medical*

Association journal = journal de l'Association medicale canadienne. 2015;187(12):873-880.

59. Clinical Predictors of Recovery after Blunt Spinal Cord Trauma: Systematic Review. *Journal of Neurotrauma.* 2011;28(8):1431-1443.
60. Aito S, D'Andrea M, Werhagen L, et al. Neurological and functional outcome in traumatic central cord syndrome. *Spinal cord.* 2007;45(4):292-297.
61. Cifu DX, Seel RT, Kreutzer JS, McKinley WO. A multicenter investigation of age-related differences in lengths of stay, hospitalization charges, and outcomes for a matched tetraplegia sample. *Archives of physical medicine and rehabilitation.* 1999;80(7):733-740.
62. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie CR. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *J Chronic Dis.* 1987;40(5):373-383.
63. Yamakawa K, Tsai CK, Haig AJ, Miner JA, Harris MJ. Relationship between ambulation and obesity in older persons with and without low back pain. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2004;28(1):137-143.
64. Greenwald BD, Seel RT, Cifu DX, Shah AN. Gender-related differences in acute rehabilitation lengths of stay, charges, and functional outcomes for a matched sample with spinal cord injury: a multicenter investigation. *Archives of physical medicine and rehabilitation.* 2001;82(9):1181-1187.
65. Scivoletto G, Morganti B, Molinari M. Sex-related differences of rehabilitation outcomes of spinal cord lesion patients. *Clin Rehabil.* 2004;18(6):709-713.
66. Jackson AB, Carnel CT, Ditunno JF, et al. Outcome measures for gait and ambulation in the spinal cord injury population. *The journal of spinal cord medicine.* 2008;31(5):487-499.
67. Kawashima N, Nozaki D, Abe MO, Akai M, Nakazawa K. Alternate leg movement amplifies locomotor-like muscle activity in spinal cord injured persons. *J Neurophysiol.* 2005;93(2):777-785.
68. Kawashima N, Taguchi D, Nakazawa K, Akai M. Effect of lesion level on the orthotic gait performance in individuals with complete paraplegia. *Spinal cord.* 2006;44(8):487-494.

69. Mahoney JS, Engebretson JC, Cook KF, Hart KA, Robinson-Whelen S, Sherwood AM. Spasticity experience domains in persons with spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2007;88(3):287-294.
70. Baker SP, O'Neill B, Haddon W, Jr., Long WB. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma*. 1974;14(3):187-196.
71. Waters RL, Adkins R, Yakura J, Vigil D. Prediction of ambulatory performance based on motor scores derived from standards of the American Spinal Injury Association. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1994;75(7):756-760.
72. Musselman KE, Lemay JF, Walden K, Harris A, Gagnon DH, Verrier MC. The standing and walking assessment tool for individuals with spinal cord injury: A qualitative study of validity and clinical use. *The journal of spinal cord medicine*. 2019;42(sup1):108-118.
73. Hicks AL, Ginis KA. Treadmill training after spinal cord injury: it's not just about the walking. *Journal of rehabilitation research and development*. 2008;45(2):241-248.
74. Hicks AL, Adams MM, Martin Ginis K, et al. Long-term body-weight-supported treadmill training and subsequent follow-up in persons with chronic SCI: effects on functional walking ability and measures of subjective well-being. *Spinal cord*. 2005;43(5):291-298.
75. Manns PJ, Chad KE. Components of quality of life for persons with a quadriplegic and paraplegic spinal cord injury. *Qual Health Res*. 2001;11(6):795-811.
76. Donnelly C, Eng JJ, Hall J, et al. Client-centred assessment and the identification of meaningful treatment goals for individuals with a spinal cord injury. *Spinal cord*. 2004;42(5):302-307.
77. Simpson LA, Eng JJ, Hsieh JT, Wolfe DL. The health and life priorities of individuals with spinal cord injury: a systematic review. *Journal of Neurotrauma*. 2012;29(8):1548-1555.
78. Richard-Denis A, Benazet D, Thompson C, Mac-Thiong JM. Determining priorities in functional rehabilitation related to quality of life one-year following a traumatic spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine*. 2020;43(2):241-246.
79. Brown-Triolo DL, Roach MJ, Nelson K, Triolo RJ. Consumer perspectives on mobility: implications for neuroprosthesis design. *Journal of rehabilitation research and development*. 2002;39(6):659-669.

80. Lo C, Tran Y, Anderson K, Craig A, Middleton J. Functional Priorities in Persons with Spinal Cord Injury: Using Discrete Choice Experiments To Determine Preferences. *Journal of Neurotrauma*. 2016;33(21):1958-1968.
81. Estores IM. The consumer's perspective and the professional literature: what do persons with spinal cord injury want? *Journal of rehabilitation research and development*. 2003;40(4 Suppl 1):93-98.
82. Anderson K, Aito S, Atkins M, et al. Functional recovery measures for spinal cord injury: an evidence-based review for clinical practice and research. *The journal of spinal cord medicine*. 2008;31(2):133-144.
83. Kirshblum S, Millis S, McKinley W, Tulskey D. Late neurologic recovery after traumatic spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2004;85(11):1811-1817.
84. Cheung WY, Arvinte D, Wong YW, Luk KD, Cheung KM. Neurological recovery after surgical decompression in patients with cervical spondylotic myelopathy - a prospective study. *Int Orthop*. 2008;32(2):273-278.
85. Ditunno JF, Jr. The John Stanley Coulter Lecture. Predicting recovery after spinal cord injury: a rehabilitation imperative. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1999;80(4):361-364.
86. Ditunno JF, Jr., Cohen ME, Hauck WW, Jackson AB, Sipski ML. Recovery of upper-extremity strength in complete and incomplete tetraplegia: a multicenter study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2000;81(4):389-393.
87. Poynton AR, O'Farrell DA, Shannon F, Murray P, McManus F, Walsh MG. An evaluation of the factors affecting neurological recovery following spinal cord injury. *Injury*. 1997;28(8):545-548.
88. Oleson CV, Burns AS, Ditunno JF, Geisler FH, Coleman WP. Prognostic value of pinprick preservation in motor complete, sensory incomplete spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2005;86(5):988-992.
89. Burns AS, Marino RJ, Flanders AE, Flett H. Chapter 3 - Clinical diagnosis and prognosis following spinal cord injury. In: Verhaagen J, McDonald JW, eds. *Handbook of Clinical Neurology*. Vol 109. Elsevier; 2012:47-62.
90. Aimetti AA, Kirshblum S, Curt A, Mobley J, Grossman RG, Guest JD. Natural history of neurological improvement following complete (AIS A) thoracic spinal cord injury across three registries to guide acute clinical trial design and interpretation. *Spinal cord*. 2019;57(9):753-762.

91. Khorasanizadeh M, Yousefifard M, Eskian M, et al. Neurological recovery following traumatic spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *Journal of neurosurgery Spine*. 2019:1-17.
92. Lee BA, Leiby BE, Marino RJ. Neurological and functional recovery after thoracic spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine*. 2016;39(1):67-76.
93. Marino RJ, Burns S, Graves DE, Leiby BE, Kirshblum S, Lammertse DP. Upper- and lower-extremity motor recovery after traumatic cervical spinal cord injury: an update from the national spinal cord injury database. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2011;92(3):369-375.
94. Marino RJ, Ditunno JF, Jr., Donovan WH, Maynard F, Jr. Neurologic recovery after traumatic spinal cord injury: data from the Model Spinal Cord Injury Systems. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1999;80(11):1391-1396.
95. Dalkilic T, Fallah N, Noonan VK, et al. Predicting Injury Severity and Neurological Recovery after Acute Cervical Spinal Cord Injury: A Comparison of Cerebrospinal Fluid and Magnetic Resonance Imaging Biomarkers. *Journal of Neurotrauma*. 2018;35(3):435-445.
96. Ziu E, Mesfin FB. Spinal Shock. [Updated 2020 Nov 20]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448163/>.
97. Tisherman SA, Stein DM. ICU Management of Trauma Patients. *Crit Care Med*. 2018;46(12):1991-1997.
98. Herbison GJ, Zerby SA, Cohen ME, Marino RJ, Ditunno JF, Jr. Motor power differences within the first two weeks post-SCI in cervical spinal cord-injured quadriplegic subjects. *Journal of Neurotrauma*. 1992;9(4):373-380.
99. Steeves JD, Kramer JK, Fawcett JW, et al. Extent of spontaneous motor recovery after traumatic cervical sensorimotor complete spinal cord injury. *Spinal cord*. 2011;49(2):257-265.
100. Bluvshstein V, Front L, Itzkovich M, et al. SCIM III is reliable and valid in a separate analysis for traumatic spinal cord lesions. *Spinal cord*. 2011;49(2):292-296.
101. Wirth B, van Hedel HJ, Kometer B, Dietz V, Curt A. Changes in activity after a complete spinal cord injury as measured by the Spinal Cord Independence Measure II (SCIM II). *Neurorehabilitation and neural repair*. 2008;22(3):279-287.

102. Curt A, Dietz V. Ambulatory capacity in spinal cord injury: Significance of somatosensory evoked potentials and ASIA protocol in predicting outcome. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1997;78(1):39-43.
103. Wilson JR, Grossman RG, Frankowski RF, et al. A clinical prediction model for long-term functional outcome after traumatic spinal cord injury based on acute clinical and imaging factors. *Journal of Neurotrauma*. 2012;29(13):2263-2271.
104. Waters RL, Yakura JS, Adkins RH, Sie I. Recovery following complete paraplegia. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1992;73(9):784-789.
105. Pollard ME, Apple DF. Factors associated with improved neurologic outcomes in patients with incomplete tetraplegia. *Spine*. 2003;28(1):33-39.
106. Penrod LE, Hegde SK, Ditunno JF, Jr. Age effect on prognosis for functional recovery in acute, traumatic central cord syndrome. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1990;71(12):963-968.
107. Scivoletto G, Farchi S, Laurenza L, Molinari M. Traumatic and non-traumatic spinal cord lesions: an Italian comparison of neurological and functional outcomes. *Spinal cord*. 2011;49(3):391-396.
108. Ones K, Yilmaz E, Beydogan A, Gultekin O, Caglar N. Comparison of functional results in non-traumatic and traumatic spinal cord injury. *Disabil Rehabil*. 2007;29(15):1185-1191.
109. Marinho AR, Flett HM, Craven C, Ottensmeyer CA, Parsons D, Verrier MC. Walking-related outcomes for individuals with traumatic and non-traumatic spinal cord injury inform physical therapy practice. *The journal of spinal cord medicine*. 2012;35(5):371-381.
110. Sturt RN, Holland AE, New PW. Walking ability at discharge from inpatient rehabilitation in a cohort of non-traumatic spinal cord injury patients. *Spinal cord*. 2009;47(10):763-768.
111. New PW. Functional outcomes and disability after nontraumatic spinal cord injury rehabilitation: Results from a retrospective study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2005;86(2):250-261.
112. van Hedel HJ, Dietz V. Walking during daily life can be validly and responsively assessed in subjects with a spinal cord injury. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2009;23(2):117-124.

113. Itzkovich M, Gelernter I, Biering-Sorensen F, et al. The Spinal Cord Independence Measure (SCIM) version III: reliability and validity in a multi-center international study. *Disabil Rehabil.* 2007;29(24):1926-1933.
114. Ackerman P, Morrison SA, McDowell S, Vazquez L. Using the Spinal Cord Independence Measure III to measure functional recovery in a post-acute spinal cord injury program. *Spinal cord.* 2010;48(5):380-387.
115. Kaminski L, Cordemans V, Cernat E, M'Bra KI, Mac-Thiong JM. Functional Outcome Prediction after Traumatic Spinal Cord Injury Based on Acute Clinical Factors. *Journal of Neurotrauma.* 2017;34(12):2027-2033.
116. Mittmann N, Hitzig SL, Catharine Craven B. Predicting health preference in chronic spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine.* 2014;37(5):548-555.
117. Tramonti F, Gerini A, Stampacchia G. Individualised and health-related quality of life of persons with spinal cord injury. *Spinal cord.* 2014;52(3):231-235.
118. William Miller CC, Risa Fox. Functional Independence Measure (FIM). SCIRE Spinal Cord Injury Research Evidence. <http://scireproject.com/outcome-measures/outcome-measure-tool/functional-independence-measure-fim/#1467983894080-2c29ca8d-88af>. Published August 22, 2020. Accessed 2020.
119. Bluvshstein V, Front L, Itzkovich M, et al. SCIM III is reliable and valid in a separate analysis for traumatic spinal cord lesions. *Spinal cord.* 2011;49(2):292-296.
120. Anderson KD, Acuff ME, Arp BG, et al. United States (US) multi-center study to assess the validity and reliability of the Spinal Cord Independence Measure (SCIM III). *Spinal cord.* 2011;49(8):880-885.
121. Saberi H, Vosoughi F, Derakhshanrad N, et al. Development of Persian version of the Spinal Cord Independence Measure III assessed by interview: a psychometric study. *Spinal cord.* 2018;56(10):980-986.
122. Catz A, Itzkovich M, Agranov E, Ring H, Tamir A. SCIM--spinal cord independence measure: a new disability scale for patients with spinal cord lesions. *Spinal cord.* 1997;35(12):850-856.
123. Catz A, Itzkovich M, Tamir A, et al. [SCIM--spinal cord independence measure (version II): sensitivity to functional changes]. *Harefuah.* 2002;141(12):1025-1031, 1091.
124. Lam T, Noonan VK, Eng JJ. A systematic review of functional ambulation outcome measures in spinal cord injury. *Spinal cord.* 2008;46(4):246-254.

125. Aigner A, Curt A, Tanadini LG, Maathuis MH. Concurrent validity of single and groups of walking assessments following acute spinal cord injury. *Spinal cord*. 2017;55(5):435-440.
126. Morganti B, Scivoletto G, Ditunno P, Ditunno JF, Molinari M. Walking index for spinal cord injury (WISCI): criterion validation. *Spinal cord*. 2005;43(1):27-33.
127. van Hedel HJ. Gait speed in relation to categories of functional ambulation after spinal cord injury. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2009;23(4):343-350.
128. Forrest GF, Hutchinson K, Lorenz DJ, et al. Are the 10 meter and 6 minute walk tests redundant in patients with spinal cord injury? *PLoS One*. 2014;9(5):e94108.
129. Field-Fote EC, Fluet GG, Schafer SD, et al. The Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI). *J Rehabil Med*. 2001;33(4):177-181.
130. Keeney T, Slavin M, Kisala P, et al. Sensitivity of the SCI-FI/AT in Individuals With Traumatic Spinal Cord Injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2018;99(9):1783-1788.
131. Tulsy DS, Jette AM, Kisala PA, et al. Spinal cord injury-functional index: item banks to measure physical functioning in individuals with spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2012;93(10):1722-1732.
132. Heinemann AW, Dijkers MP, Ni P, Tulsy DS, Jette A. Measurement properties of the Spinal Cord Injury-Functional Index (SCI-FI) short forms. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2014;95(7):1289-1297.e1285.
133. Jette AM, Slavin MD, Ni P, et al. Development and initial evaluation of the SCI-FI/AT. *The journal of spinal cord medicine*. 2015;38(3):409-418.
134. Moore CA, Nejad B, Novak RA, Dias LS. Energy cost of walking in low lumbar myelomeningocele. *Journal of pediatric orthopedics*. 2001;21(3):388-391.
135. Capelari TV, Borin JS, Grigol M, Saccani R, Zardo F, Cechetti F. EVALUATION OF MUSCLE STRENGTH IN MEDULLAR INJURY: A LITERATURE REVIEW. *Coluna/Columna*. 2017;16:323-329.
136. Vlahovitch B, Fuentes JM, Choucair Y, Verger AC. [Inseparable prognostic value of spinothalamic and corticospinal functions in severe spinal cord injuries]. *Neuro-Chirurgie*. 1977;23(1):55-72.

137. Lin SKaVW. Sinal Cord Medicine In: Edward C. Benzel SPB, Edelle C. Field-Fote, Pter H. Gorman, Suzanne L. Groah, Sunil Sabharwal, ed. Vol 1. Third Edition ed. United States of America: Springer Publishing; December 28, 2018:1068.
138. Linacre JM, Heinemann AW, Wright BD, Granger CV, Hamilton BB. The structure and stability of the Functional Independence Measure. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1994;75(2):127-132.
139. Cowley LE, Farewell DM, Maguire S, Kemp AM. Methodological standards for the development and evaluation of clinical prediction rules: a review of the literature. *Diagn Progn Res*. 2019;3:16.
140. Mandrekar JN. Receiver operating characteristic curve in diagnostic test assessment. *J Thorac Oncol*. 2010;5(9):1315-1316.
141. Sekhon LH, Fehlings MG. Epidemiology, demographics, and pathophysiology of acute spinal cord injury. *Spine*. 2001;26(24 Suppl):S2-12.
142. JM Lobo, A Jiménez-valverde, R Real. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Glob Ecol Biogeogr*, 17 (2008), pp. 145-151, 10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x.
143. DeVries Z, Hoda M, Rivers CS, et al. Development of an unsupervised machine learning algorithm for the prognostication of walking ability in spinal cord injury patients. *Spine J*. 2020;20(2):213-224.
144. Nater A, Fehlings MG. Clinical prediction rules: the importance of the validation phase. *Spine J*. 2017;17(10):1393-1396.
145. van Silfhout L, Peters AEJ, Graco M, Schembri R, Nunn AK, Berlowitz DJ. Validation of the Dutch clinical prediction rule for ambulation outcomes in an inpatient setting following traumatic spinal cord injury. *Spinal cord*. 2015;54:614.
146. 2013. RMEvsoacprfaoatsciAATUoTSoPH.
147. Collins GS, Reitsma JB, Altman DG, Moons KG. Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): the TRIPOD statement. *Bmj*. 2015;350:g7594.
148. Moons KG, Altman DG, Reitsma JB, et al. Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis or Diagnosis (TRIPOD): explanation and elaboration. *Ann Intern Med*. 2015;162(1):W1-73.

149. Tran D. Cardiopulmonary Exercise Testing. *Methods Mol Biol.* 2018;1735:285-295.
150. Herdy AH, Ritt LE, Stein R, et al. Cardiopulmonary Exercise Test: Background, Applicability and Interpretation. *Arq Bras Cardiol.* 2016;107(5):467-481.
151. Alamro RA, Chisholm AE, Williams AMM, Carpenter MG, Lam T. Overground walking with a robotic exoskeleton elicits trunk muscle activity in people with high-thoracic motor-complete spinal cord injury. *J Neuroeng Rehabil.* 2018;15(1):109.
152. Roth R, Donath L, Zahner L, Faude O. Muscle Activation and Performance During Trunk Strength Testing in High-Level Female and Male Football Players. *J Appl Biomech.* 2016;32(3):241-247.
153. Campbell G, Skubic MA. Balance and Gait Impairment: Sensor-Based Assessment for Patients With Peripheral Neuropathy. *Clin J Oncol Nurs.* 2018;22(3):316-325.
154. Santos SM, da Silva RA, Terra MB, Almeida IA, de Melo LB, Ferraz HB. Balance versus resistance training on postural control in patients with Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *European journal of physical and rehabilitation medicine.* 2017;53(2):173-183.
155. Levy SS, Thralls KJ, Kviatkovsky SA. Validity and Reliability of a Portable Balance Tracking System, BTrackS, in Older Adults. *J Geriatr Phys Ther.* 2018;41(2):102-107.
156. Almeida Cd, Coelho JN, Riberto M. Applicability, validation and reproducibility of the Spinal Cord Independence Measure version III (SCIM III) in patients with non-traumatic spinal cord lesions. *Disability and Rehabilitation.* 2016;38(22):2229-2234.
157. Richard-Denis A, Chatta R, Thompson C, Mac-Thiong JM. Patterns and predictors of functional recovery from the subacute to the chronic phase following a traumatic spinal cord injury: a prospective study. *Spinal cord.* 2020;58(1):43-52.
158. Aldrich JHeN, F. D. (1984). Linear probability, logit, and probit models. Sage University papers: Quantitative applications in the social sciences, 07-045. Beverly Hills: Sage.
159. Simonsen EB. Contributions to the understanding of gait control. *Dan Med J.* 2014;61(4):B4823.
160. Meyer PF, Oddsson LI, De Luca CJ. The role of plantar cutaneous sensation in unperturbed stance. *Exp Brain Res.* 2004;156(4):505-512.

161. Halvorsen A, Pettersen AL, Nilsen SM, Halle KK, Schaanning EE, Rekan T. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Norway in 2012-2016: a registry-based cross-sectional study. *Spinal cord*. 2019;57(4):331-338.
162. World Health Organization, International Spinal Cord Society, eds. International Perspectives on Spinal Cord Injury. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2013.
163. Facchinello Y, Beauséjour M, Richard-Denis A, Thompson C, Mac-Thiong JM. The use of regression tree analysis for predicting the functional outcome following traumatic spinal cord injury. *Journal of Neurotrauma*. 2017.
164. van Silfhout L, Peters AE, Graco M, Schembri R, Nunn AK, Berlowitz DJ. Validation of the Dutch clinical prediction rule for ambulation outcomes in an inpatient setting following traumatic spinal cord injury. *Spinal cord*. 2016;54(8):614-618.
165. NSCISC National Spinal Cord Injury Statistical Center. Spinal Cord Injury Model Systems. 2019 Annual Report – Complete Public Version.
166. Preston, D. C., & Shapiro, B. E. (2013). Electromyography and neuromuscular disorders: Clinical-electrophysiological correlations. London: Elsevier Saunders.
167. Collins GS, Ogundimu EO, Altman DG. Sample size considerations for the external validation of a multivariable prognostic model: a resampling study. *Stat Med*. 2016;35(2):214-226.
168. Han K, Song K, Choi BW. How to Develop, Validate, and Compare Clinical Prediction Models Involving Radiological Parameters: Study Design and Statistical Methods. *Korean J Radiol*. 2016;17(3):339-350.
169. Larochelle J-L. Analyse critique des instruments de mesure. In. Montreal2017:35.
170. Senders JW. On the complexity of medical devices and systems. *Qual Saf Health Care*. 2006;15 Suppl 1(Suppl 1):i41-43.
171. Powell AC, Landman AB, Bates DW. In search of a few good apps. *Jama*. 2014;311(18):1851-1852.
172. Wang FY, Airan-Javia S. Addressing Patient Concerns of Resident Mobile Application Use in Clinical Settings. *J Grad Med Educ*. 2018;10(2):232.
173. Chu C, Anderson R, White N, Stone P. Prognosticating for Adult Patients With Advanced Incurable Cancer: a Needed Oncologist Skill. *Curr Treat Options Oncol*. 2020;21(1):5.

174. Beauséjour M, Mac-Thiong JM. Building models for prediction: are we good at it? *Spinal cord*. 2020;58(11):1147-1149.

ANNEXES

Annexe A : International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI) Assessment Scale³²



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



INTERNATIONAL SPINAL CORD SOCIETY

Patient Name _____ Date/Time of Exam _____

Examiner Name _____ Signature _____

RIGHT

MOTOR KEY MUSCLES

UER (Upper Extremity Right)

- Elbow flexors **C5**
- Wrist extensors **C6**
- Elbow extensors **C7**
- Finger flexors **C8**
- Finger abductors (little finger) **T1**

LER (Lower Extremity Right)

- Hip flexors **L2**
- Knee extensors **L3**
- Ankle dorsiflexors **L4**
- Long toe extensors **L5**
- Ankle plantar flexors **S1**

(VAC) Voluntary Anal Contraction (Yes/No)

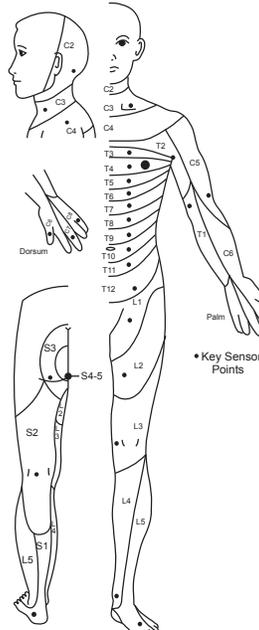
RIGHT TOTALS (MAXIMUM)

LTR (50) LTL (56) PPR (56)

SENSORY KEY SENSORY POINTS

Light Touch (LTR) Pin Prick (PPR)

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



*** Key Sensory Points**

SENSORY KEY SENSORY POINTS

Light Touch (LTL) Pin Prick (PPL)

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

LEFT TOTALS (MAXIMUM)

LTR (56) LTL (56) PPR (56)

LEFT

MOTOR KEY MUSCLES

UEL (Upper Extremity Left)

- Elbow flexors **C5**
- Wrist extensors **C6**
- Elbow extensors **C7**
- Finger flexors **C8**
- Finger abductors (little finger) **T1**

LEL (Lower Extremity Left)

- Hip flexors **L2**
- Knee extensors **L3**
- Ankle dorsiflexors **L4**
- Long toe extensors **L5**
- Ankle plantar flexors **S1**

(DAP) Deep Anal Pressure (Yes/No)

LEFT TOTALS (MAXIMUM)

LTR (56) LTL (56) PPR (56)

Comments (Non-key Muscle? Reason for NT? Pain? Non-SCI condition?):

MOTOR SUBSCORES

UER + UEL = **UEMS TOTAL** (MAX 25)

LER + LEL = **LEMS TOTAL** (MAX 25)

SENSORY SUBSCORES

LTR + LTL = **LT TOTAL** (MAX 56)

PPR + PPL = **PP TOTAL** (MAX 56)

NEUROLOGICAL LEVELS Steps 1-6 for classification as on reverse

1. SENSORY **R** **L**

2. MOTOR **R** **L**

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI)

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

Incomplete = Any sensory or motor function in S4-5

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)

6. ZONE OF PARTIAL PRESERVATION (ZIPP) **R** **L**

SENSORY MOTOR

Page 12 This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. REV 04/19

Muscle Function Grading

- 0 = Total paralysis
 1 = Palpable or visible contraction
 2 = Active movement, full range of motion (ROM) with gravity eliminated
 3 = Active movement, full ROM against gravity
 4 = Active movement, full ROM against gravity and moderate resistance in a muscle specific position
 5 = (Normal) active movement, full ROM against gravity and full resistance in a functional muscle position expected from an otherwise unimpaired person
NT = Not testable (i.e. due to immobilization, severe pain such that the patient cannot be graded, amputation of limb, or contracture of > 50% of the normal ROM)
0*, 1*, 2*, 3*, 4*, NT* = Non-SCI condition present *

Sensory Grading

- 0 = Absent 1 = Altered, either decreased/impaired sensation or hypersensitivity
 2 = Normal **NT** = Not testable
0*, 1*, NT* = Non-SCI condition present *

Note: Abnormal motor and sensory scores should be tagged with a "" to indicate an impairment due to a non-SCI condition. The non-SCI condition should be explained in the comments box together with information about how the score is rated for classification purposes (at least normal / not normal for classification).

When to Test Non-Key Muscles:

In a patient with an apparent AIS B classification, non-key muscle functions more than 3 levels below the motor level on each side should be tested to most accurately classify the injury (differentiate between AIS B and C).

Movement	Root level
Shoulder: Flexion, extension, abduction, adduction, internal and external rotation Elbow: Supination	C5
Elbow: Pronation Wrist: Flexion	C6
Finger: Flexion at proximal joint, extension Thumb: Flexion, extension and abduction in plane of thumb	C7
Finger: Flexion at MCP joint Thumb: Opposition, adduction and abduction perpendicular to palm	C8
Finger: Abduction of the index finger	T1
Hip: Adduction	L2
Hip: External rotation	L3
Hip: Extension, abduction, internal rotation Knee: Flexion Ankle: Inversion and eversion Toe: MP and IP extension	L4
Hallux and Toe: DIP and PIP flexion and abduction	L5
Hallux: Adduction	S1

ASIA Impairment Scale (AIS)

A = Complete. No sensory or motor function is preserved in the sacral segments S4-5.

B = Sensory Incomplete. Sensory but not motor function is preserved below the neurological level and includes the sacral segments S4-5 (light touch or pin prick at S4-5 or deep anal pressure) AND no motor function is preserved more than three levels below the motor level on either side of the body.

C = Motor Incomplete. Motor function is preserved at the most caudal sacral segments for voluntary anal contraction (VAC) OR the patient meets the criteria for sensory incomplete status (sensory function preserved at the most caudal sacral segments S4-5 by LT, PP or DAP), and has some sparing of motor function more than three levels below the ipsilateral motor level on either side of the body. (This includes key or non-key muscle functions to determine motor incomplete status.) For AIS C – less than half of key muscle functions below the single NLI have a muscle grade ≥ 3 .

D = Motor Incomplete. Motor incomplete status as defined above, with at least half (half or more) of key muscle functions below the single NLI having a muscle grade ≥ 3 .

E = Normal. If sensation and motor function as tested with the ISNCSCI are graded as normal in all segments, and the patient had prior deficits, then the AIS grade is E. Someone without an initial SCI does not receive an AIS grade.

Using ND: To document the sensory, motor and NLI levels, the ASIA Impairment Scale grade, and/or the zone of partial preservation (ZPP) when they are unable to be determined based on the examination results.



Steps in Classification

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

1. Determine sensory levels for right and left sides.

The sensory level is the most caudal, intact dermatome for both pin prick and light touch sensation.

2. Determine motor levels for right and left sides.

Defined by the lowest key muscle function that has a grade of at least 3 (on supine testing), providing the key muscle functions represented by segments above that level are judged to be intact (graded as a 5).

Note: in regions where there is no myotome to test, the motor level is presumed to be the same as the sensory level, if testable motor function above that level is also normal.

3. Determine the neurological level of injury (NLI).

This refers to the most caudal segment of the cord with intact sensation and antigravity (3 or more) muscle function strength, provided that there is normal (intact) sensory and motor function rostrally respectively.

The NLI is the most cephalad of the sensory and motor levels determined in steps 1 and 2.

4. Determine whether the injury is Complete or Incomplete.

(i.e. absence or presence of sacral sparing)

If voluntary anal contraction = No AND all S4-5 sensory scores = 0

AND deep anal pressure = No, then injury is Complete.

Otherwise, injury is Incomplete.

5. Determine ASIA Impairment Scale (AIS) Grade.

Is injury **Complete**? If YES, AIS=A

NO ↓

Is injury **Motor Complete**? If YES, AIS=B

NO ↓

(No=voluntary anal contraction OR motor function more than three levels below the motor level) on a given side, if the patient has sensory incomplete classification)

Are at least half (half or more) of the key muscles below the neurological level of injury graded 3 or better?

NO ↓

AIS=C

YES ↓

AIS=D

If sensation and motor function is normal in all segments, AIS=E

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

6. Determine the zone of partial preservation (ZPP).

The ZPP is used only in injuries with absent motor (no VAC) OR sensory function (no DAP, no LT and no PP sensation) in the lowest sacral segments S4-5, and refers to those dermatomes and myotomes caudal to the sensory and motor levels that remain partially innervated. With sacral sparing of sensory function, the sensory ZPP is not applicable and therefore "NA" is recorded in the block of the worksheet. Accordingly, if VAC is present, the motor ZPP is not applicable and is noted as "NA".



2020/10/16

Université de Montréal

Stephanie Jean

Faculty of Medicine, Department of medicine, University of Montreal, Pavillon Roger-Gaudry, S-749, C.P. 6128, succ. Centre-ville, Montreal, Quebec, H3C 3J7, Canada

Permission To Reprint

In consideration of publication with the appropriate credit line, American Spinal Injury Association (“ASIA”) hereby gives Stephanie Jean, Université de Montréal/Faculté de Médecine its successors and assigns, and those acting under its permission or upon its authority, the right and permission to reproduce, publish, circulate, otherwise use the work described below. This permission also encompasses electronic distribution of the work. ASIA warrants that it owns all legal rights and copyrights to the work. ASIA further warrants that it has full authority to enter into this agreement.

Name of copyright holder: **American Spinal Injury Association**

Title of Work: **Prédiction de la capacité de marche à un an lors de la phase aiguë du traumatisme chez les patients blessés médullaires traumatiques – MSc thesis**

The dermatome chart that is contained in the ASIA publication “International Standard for Neurological Classification of Spinal Cord Injury” may be freely copied but not changed in any way without prior permission from the American Spinal Injury Association.

Credit Line to appear as follows: © 2020 American Spinal Injury Association. Reprinted with permission.

Patricia Duncan
Executive Director

Website: <http://asia-spinalinjury.org> | Phone: 877-274-2724 | Email: <mailto:asiaoffice@asia-spinalinjury.org>

Annexe B : SCIM (Spinal Cord Independence Measure), version III¹¹³

SCIM-SPINAL CORD INDEPENDENCE MEASURE

Version III, Sept 14, 2002
EXam 1 2 3 4 5 6

Self-Care

DATE

\ / \ / \ / \ / \ / \ /

1. Feeding (cutting, opening containers, pouring, bringing food to mouth, holding cup with fluid)

--	--	--	--	--	--	--	--

- 0. Needs parenteral, gastrostomy, or fully assisted oral feeding
- 1. Needs partial assistance for eating and/or drinking, or for wearing adaptive devices
- 2. Eats independently; needs adaptive devices or assistance only for cutting food and/or pouring and/or opening containers
- 3. Eats and drinks independently; does not require assistance or adaptive devices

2. Bathing (soaping, washing, drying body and head, manipulating water tap). A-upper body; B-lower body

- A. 0. Requires total assistance
- | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

- 1. Requires partial assistance
- 2. Washes independently with adaptive devices or in a specific setting (e.g., bars, chair)
- 3. Washes independently; does not require adaptive devices or specific setting (not customary for healthy people) (adss)

- B. 0. Requires total assistance
- | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

- 1. Requires partial assistance
- 2. Washes independently with adaptive devices or in a specific setting (adss)
- 3. Washes independently; does not require adaptive devices (adss) or specific setting

3. Dressing (clothes, shoes, permanent orthoses: dressing, wearing, undressing). A-upper body; B-lower body

- A. 0. Requires total assistance
- | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

- 1. Requires partial assistance with clothes without buttons, zippers or laces (cwobzl)
- 2. Independent with cwobzl; requires adaptive devices and/or specific settings (adss)
- 3. Independent with cwobzl; does not require adss; needs assistance or adss only for bzl
- 4. Dresses (any cloth) independently; does not require adaptive devices or specific setting

- B. 0. Requires total assistance
- | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

- 1. Requires partial assistance with clothes without buttons, zipps or laces (cwobzl)
- 2. Independent with cwobzl; requires adaptive devices and/or specific settings (adss)
- 3. Independent with cwobzl without adss; needs assistance or adss only for bzl
- 4. Dresses (any cloth) independently; does not require adaptive devices or specific setting

4. Grooming (washing hands and face, brushing teeth, combing hair, shaving, applying makeup)

--	--	--	--	--	--	--	--

- 0. Requires total assistance
- 1. Requires partial assistance
- 2. Grooms independently with adaptive devices
- 3. Grooms independently without adaptive devices

SUBTOTAL (0-20)

--	--	--	--	--	--	--	--

Respiration and Sphincter Management

5. Respiration

--	--	--	--	--	--	--	--

- 0. Requires tracheal tube (TT) and permanent or intermittent assisted ventilation (IAV)
- 2. Breathes independently with TT; requires oxygen, much assistance in coughing or TT management
- 4. Breathes independently with TT; requires little assistance in coughing or TT management
- 6. Breathes independently without TT; requires oxygen, much assistance in coughing, a mask (e.g., peep) or IAV (bipap)
- 8. Breathes independently without TT; requires little assistance or stimulation for coughing
- 10. Breathes independently without assistance or device

6. Sphincter Management - Bladder

--	--	--	--	--	--	--	--

- 0. Indwelling catheter
- 3. Residual urine volume (RUV) > 100cc; no regular catheterization or assisted intermittent catheterization
- 6. RUV < 100cc or intermittent self-catheterization; needs assistance for applying drainage instrument
- 9. Intermittent self-catheterization; uses external drainage instrument; does not need assistance for applying
- 11. Intermittent self-catheterization; continent between catheterizations; does not use external drainage instrument
- 13. RUV < 100cc; needs only external urine drainage; no assistance is required for drainage
- 15. RUV < 100cc; continent; does not use external drainage instrument

7. Sphincter Management - Bowel

--	--	--	--	--	--	--	--

- 0. Irregular timing or very low frequency (less than once in 3 days) of bowel movements
- 5. Regular timing, but requires assistance (e.g., for applying suppository); rare accidents (less than twice a month)
- 8. Regular bowel movements, without assistance; rare accidents (less than twice a month)
- 10. Regular bowel movements, without assistance; no accidents

8. Use of Toilet (perineal hygiene, adjustment of clothes before/after, use of napkins or diapers).

--	--	--	--	--	--	--	--

- 0. Requires total assistance
- 1. Requires partial assistance; does not clean self
- 2. Requires partial assistance; cleans self independently
- 4. Uses toilet independently in all tasks but needs adaptive devices or special setting (e.g., bars)
- 5. Uses toilet independently; does not require adaptive devices or special setting)

SUBTOTAL (0-40)

--	--	--	--	--	--	--	--

Mobility (room and toilet)

DATE

\ \ \ \ \ \ \ \

--	--	--	--	--	--	--	--

9. Mobility in Bed and Action to Prevent Pressure Sores

- 0. Needs assistance in all activities: turning upper body in bed, turning lower body in bed, sitting up in bed, doing push-ups in wheelchair, with or without adaptive devices, but not with electric aids
- 2. Performs one of the activities without assistance
- 4. Performs two or three of the activities without assistance
- 6. Performs all the bed mobility and pressure release activities independently

--	--	--	--	--	--	--	--

10. Transfers: bed-wheelchair (locking wheelchair, lifting footrests, removing and adjusting arm rests, transferring, lifting feet).

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs partial assistance and/or supervision, and/or adaptive devices (e.g., sliding board)
- 2. Independent (or does not require wheelchair)

--	--	--	--	--	--	--	--

11. Transfers: wheelchair-toilet-tub (if uses toilet wheelchair: transfers to and from; if uses regular wheelchair: locking wheelchair, lifting footrests, removing and adjusting armrests, transferring, lifting feet)

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs partial assistance and/or supervision, and/or adaptive devices (e.g., grab-bars)
- 2. Independent (or does not require wheelchair)

--	--	--	--	--	--	--	--

Mobility (indoors and outdoors, on even surface)

12. Mobility Indoors

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs electric wheelchair or partial assistance to operate manual wheelchair
- 2. Moves independently in manual wheelchair
- 3. Requires supervision while walking (with or without devices)
- 4. Walks with a walking frame or crutches (swing)
- 5. Walks with crutches or two canes (reciprocal walking)
- 6. Walks with one cane
- 7. Needs leg orthosis only
- 8. Walks without walking aids

--	--	--	--	--	--	--	--

13. Mobility for Moderate Distances (10-100 meters)

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs electric wheelchair or partial assistance to operate manual wheelchair
- 2. Moves independently in manual wheelchair
- 3. Requires supervision while walking (with or without devices)
- 4. Walks with a walking frame or crutches (swing)
- 5. Walks with crutches or two canes (reciprocal walking)
- 6. Walks with one cane
- 7. Needs leg orthosis only
- 8. Walks without walking aids

--	--	--	--	--	--	--	--

14. Mobility Outdoors (more than 100 meters)

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs electric wheelchair or partial assistance to operate manual wheelchair
- 2. Moves independently in manual wheelchair
- 3. Requires supervision while walking (with or without devices)
- 4. Walks with a walking frame or crutches (swing)
- 5. Walks with crutches or two canes (reciprocal walking)
- 6. Walks with one cane
- 7. Needs leg orthosis only
- 8. Walks without walking aids

--	--	--	--	--	--	--	--

15. Stair Management

- 0. Unable to ascend or descend stairs
- 1. Ascends and descends at least 3 steps with support or supervision of another person
- 2. Ascends and descends at least 3 steps with support of handrail and/or crutch or cane
- 3. Ascends and descends at least 3 steps without any support or supervision

--	--	--	--	--	--	--	--

16. Transfers: wheelchair-car (approaching car, locking wheelchair, removing arm- and footrests, transferring to and from car, bringing wheelchair into and out of car)

- 0. Requires total assistance
- 1. Needs partial assistance and/or supervision and/or adaptive devices
- 2. Transfers independent; does not require adaptive devices (or does not require wheelchair)

--	--	--	--	--	--	--	--

17. Transfers: ground-wheelchair

- 0. Requires assistance
- 1. Transfers independent with or without adaptive devices (or does not require wheelchair)

--	--	--	--	--	--	--	--

SUBTOTAL (0-40)

--	--	--	--	--	--	--	--

TOTAL SCIM SCORE (0-100)

--	--	--	--	--	--	--	--